

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 34 (73) № 2 2023

Частина 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 15 від 02.06.2023 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2023

ЗМІСТ

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Глуховський В.В., Глуховський І.В.

ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ СТІНОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ НИЗЬКОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ.....1

Дорогань Н.О.

ПИТАННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЦЕМЕНТУ.....8

Єфімова В.Г.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІТАМІНІЗОВАНОЇ КОСМЕТИЧНОЇ ОЛІЇ.....15

Лебедєв В.В., Мірошніченко Д.В., Савченко Д.О., Литвиненко Є.І., Соловей Л.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІБРИДНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ
ГУМІНОВИХ КИСЛОТ ТА РЕЧОВИН БУРОГО ВУГІЛЛЯ..... 20

Майзеліс А.О., Славова А.А.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СПІВОСАДЖЕННЯ ЦИНКУ З НІКЕЛЕМ
В ПІРОФОСФАТНО-ЦИТРАТНОМУ ЕЛЕКТРОЛІТІ25

Мовчанюк О.М., Пономаренко Є.В.

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЛУГУ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ
ПАКОВАННЯ ТЕТРА ПАК.....30

Татар Л.В., Соколова Є.Б.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН
У ШИШКАХ ХМЕЛЮ ТА ХВОЇ СОСНИ..... 35

Trembus I.V., Mykhailenko N.V., Hondovska A.S.

MEMBRANES BASED ON MODIFIED CELLULOSE FIBERS. A REVIEW.....40

Ущатовський Д.Ю., Забалуєв А.С., Воробйова В.І., Васильєв Г.С., Лінючева О.В.

ВПЛИВ ПРИРОДИ РОЗЧИННИКА НА ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ NI ТА NI-W ПОКРИТТІВ.....46

Черняк Л.П., Мельник Л.І., Пахомова В.М., Шнирук О.М.

КЕРАМІЧНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ ВУЛКАНІЧНИХ ПОРІД..... 52

Черьопкіна Р.І., Яценко С.Ю., Денисенко А.М.

ОТРИМАННЯ КАРТОНУ ІЗ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ..... 58

Чигиринець О.Е.

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ ШКАРАЛУПИ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА
НА ЇЇ ЕКСТРАКТИВНІСТЬ ТА АНТИКОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ.....67

Якименко І.К., Солодовник Т.В.

АДСОРБЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД СПОЛУК ЗАЛІЗА
ТА МАНГАНУ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ..... 72

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Карбівнича Т.В., Сподар К.В., Лісніченко О.О., Татар Л.В.

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ
ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЇХ ТОВАРОЗНАВЧОЇ ОЦІНКИ.....78

Любич В.В., Лещенко І.А.

ВМІСТ ВІТАМІНІВ У ЦІЛІЙ КРУПІ З ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЗАЛЕЖНО
ВІД ТРИВАЛОСТІ ЛУЩЕННЯ.....84

Ушкало М.М.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА КРЕМ-СУПУ.....88

ТРАНСПОРТ

Бойко С.О., Якусевич Ю.Г., Дорофєєва З.Я., Бажак О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ГАЛУЗІ СУДНОБУДУВАННЯ..... 94

Ватуля Г.Л., Герліці Ю., Ловська А.О. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРА З УРАХУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОЇ СХЕМИ ЗАКРІПЛЕННЯ В НАПІВВАГОНІ.....	100
Вишневський Д.О., Вишневська О.Д. ФАКТОРИ УСПІШНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....	106
Волянська Я.Б., Волянський С.М., Баланський В.П., Ковальчук М.С., Волянський Ю.С. ОЦІНКА РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ.....	115
Дакі О.А., Маннапова О.В., Тришин В.В., Рященко О.І. ПОБУДОВА КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМУ РЕЖИМІ ПЛИНУ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ НАНОРІДИНИ.....	120
Кірсанова В.В., Биковець Н.П., Бражник І.Д. ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ ЯК СПОСІБ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СУДОХОДСТВА.....	125
Кунда Н.Т., Петрушенко Н.С. ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ «РІЧКА-МОРЕ» В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ.....	132
Ловська А.О., Рибін А.В., Агапов Є.Д., Гусак Д.О. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З ПІДЛОГОЮ ІЗ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ	141
Маннапова О.В., Бойко С.О., Урум Н.С., Рященко О.І. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМИХ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ АЗОТУ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ.....	146
Мельник О.М. БЕЗПЛОТНЕ СУДНОПЛАВСТВО ЯК РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ У МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ.....	152
Михайлова Ю.В., Доля О.Є., Вільшанюк М.С., Стеба А.А. ОСОБЛИВОСТІ АГЕНТУВАННЯ МОРСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН НА РИНКУ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ.....	158
Мурад'ян А.О., Демидюков О.В. НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПОРТОВИХ ЗБОРІВ.....	167
Павловська Л.А., Кириллова О.В., Коробкова О.М., Шпак Н.Г. ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРНОГО КАРКАСУ СХЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	172
Petrov L.M., Kishianus I.V., Petryk Yu.M., Nikishyn V.A. ELEMENTS OF THE THEORY OF A MILITARY VEHICLE WITH A PERMANENTLY DEVELOPED WHEEL DRIVE.....	180
Petrov L.M., Kishianus I.V., Petryk Yu.M., Nikishyn V.A., Rudenko A.V. THE INTERACTION OF POTENTIAL AND KINETIC ENERGY ON THE WHEEL WITH THE POTENTIAL AND KINETIC LOAD OF THE TRUCK.....	185
Прокудін Г.С., Назарова А.П. МОДЕЛІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ.....	189
Решетков Д.М., Онищенко С.П., Павлова Н.Л., Кириллова В.Ю. СУТНІСТЬ, ПЕРЕВАГИ ТА ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ ТЕРМІНАЛІВ МОРСЬКИХ ПОРТІВ.....	194
Тихонін В.І., Тихоніна І.І., Ромах В.Л. МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ПАКЕТІВ МЕТАЛОВАНТАЖІВ ПРИ ЇХ ФОРМУВАННІ.....	203
Трофименко І.В., Іваненко В.М., Федунов В.М., Дорофєєва З.Я. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗГЛАДЖУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПРИ ОБРОБЦІ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ РУХУ СУДНА.....	209

Трюхан О.М., Осьмак В.Є., Докієнко Л.М. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ КОМЕРЦІЙНІ ПОЛЬОТИ З ВИСОКИМ СТУПЕНЕМ РИЗИКУ – ПРОБЛЕМИ ТА МОЖЛИВІ НАПРЯМИ ВИРІШЕННЯ.....	215
Урум Н.С., Майданевич С.Б., Іваненко В.М., Трофименко І.В. МОРСЬКИЙ СЕКСТАНТ: ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ, ЕТАПИ І ШЛЯХИ РОЗВИТКУ, КРАЩІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.....	221
Фомін О.В., Баранов І.О., Мірошникова М.В. АНАЛІЗ ВІДМОВ ВУЗЛІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ В ІСНУЮЧИХ СИСТЕМАХ ОЦІНКИ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РЕМОНТУ.....	230
Шпак Н.Г., Павловська Л.А., Коробкова О.М. ДОСЛІДЖЕННЯ МИТНО-ТРАНСПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ ПРИ ЕКСПОРТІ ЗЕРНА З УКРАЇНИ....	238
БУДІВНИЦТВО	
Богінська Л.О. ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ....	243
Семичаєвський С.В., Присяжнюк В.В., Осадчук М.В., Якіменко М.Л., Свірський В.В., Бенедюк В.С. ЩОДО НЕОБХІДНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНИХ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ГОЛОВОК.....	248
ГЕОДЕЗІЯ	
Лю Чан, Мамонов К.А., Коваленко Л.Б. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ КОНТИНГЕНТУ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ НА РОЗВИТОК НАУКОВОЇ СФЕРИ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ.....	254
ЕЛЕКТРОНІКА	
М'яновський В.В., Корнєв В.П. СХЕМА ІМПУЛЬСНОГО НЕЙРОНА З ВИХІДНИМ БУФЕРОМ НА ДЗЕРКАЛАХ СТРУМУ.....	258
Осадчук Я.О. МІКРОЕЛЕКТРОННІ АВТОГЕНЕРАТОРНІ СЕНСОРИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ.....	266
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	276

CONTENTS

CHEMICAL TECHNOLOGY

Glukhovskiy V.V., Glukhovskiy I.V.

HEAT-INSULATING WALL STRUCTURAL ELEMENTS OF LOW ENERGY INTENSITY.....1

Dorogan N.O.

ISSUES OF INDUSTRY WASTE DISPOSAL IN THE CHEMICAL TECHNOLOGY OF CEMENT.....8

Yefimova V.G.

DEVELOPMENT OF VITAMINIZED COSMETIC OIL PRODUCTION TECHNOLOGY..... 15

Lebedev V.V., Miroshnichenko D.V., Savchenko D.O., Litvinenko I.I., Solovey L.V.

STUDY OF THE FEATURES OF THE HYBRID FUNCTIONALITY OF HUMIC ACIDS
AND BROWN COAL SUBSTANCES.....20

Maizelis A.O., Slavova A.A.

ELECTROCHEMICAL REGULARITIES OF ZINC AND NICKEL CODEPOSITION
IN PYROPHOSPHATE-CITRATE ELECTROLYTE.....25

Movchaniuk O.M., Ponomarenko Ye.V.

INFLUENCE OF ALKALI CONCENTRATION ON THE RATE OF IMPREGNATION
OF TETRA PAK PACKAGING WASTE.....30

Tatar L.V., Sokolova Ye.B.

STUDY OF THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
IN HOP CONES AND PINE NEEDLES.....35

Trembus I.V., Mykhailenko N.V., Hondovska A.S.

MEMBRANES BASED ON MODIFIED CELLULOSE FIBERS. A REVIEW.....40

Uschapovskiy D.Yu., Zabaluyev A.S., Vorobyova V.I., Vasiliev G.S., Linyucheva O.V.

INFLUENCE OF THE SOLVENT NATURE ON THE ELECTRODEPOSITION
OF NI AND NI-W COATINGS.....46

Chernyak L.P., Melnyk L.I., Pakhomova V.M., Shnyruk O.M.

CERAMIC COMPOSITE BASED ON VOLCANIC ROCKS.....52

Cheropkina R.I., Yatsenko S.Yu., Denysenko A.M.

RECEIVING CARDBOARD FROM SEMI-FINISHED PAULOWNIA WOOD.....58

Chyhyrynets O.E.

INFLUENCE OF ULTRASONIC TREATMENT OF COMBINED MIXTURES BASED
ON WALNUT SHELL AND TITANIUM DIOXIDE ON THEIR EXTRACTIVENESS..... 67

Yakymenko I.K., Solodovnik T.V.

ADSORPTION MATERIALS FOR ADDITIONAL CLEANING OF DRINKING WATER
FROM IRON AND MANGANESE COMPOUNDS IN DECENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS...72

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Karbivnycha T.V., Spodar K.V., Lisnichenko O.O., Tatar L.V.

EXPANDING THE RANGE OF ENHANCED FOOD VALUE DAIRY PRODUCTS
AND CARRYING OUT THEIR MARKET ASSESSMENT.....78

Liubych V.V., Leshchenko I.A.

VITAMIN CONTENT IN EMMER WHOLE GRAIN CEREAL DEPENDING ON HUSKING DURATION.84

Ushkalo M.M.

DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR CREAM SOUP PRODUCTION..... 88

TRANSPORT

Boiko S.O., Yakusevych Yu.H., Dorofieieva Z.Ya., Bazhak O.V.

RESEARCHING WAYS TO EFFECTIVELY USE COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS
IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY.....94

Vatulia G.L., Gerlici Yu., Lovska A.O. RESEARCH OF THE STRESS STATE OF THE CONTAINER TAKING INTO ACCOUNT THE IMPROVED FASTENING SCHEME IN THE OPEN WAGON.....	100
Vyshnevskiy D.O., Vyshnevskaya O.D. FACTORS OF SUCCESSFUL FUNCTIONING OF MARITIME TRANSPORT.....	106
Volianska Ya.B., Volyanskyy S.M., Balanskiy V.P., Kovalchuk M.S., Volianskiy Ju.S. ESTIMATION OF RESERVES FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF WATER-CARRIAGE'S OBJECTS BY TO OPTIMIZING OF THE SHIP SYSTEMS.....	115
Daki O.A., Mannapova O.V., Tryshyn V.V., Riashchenko O.I. CONSTRUCTION OF A CRITERION EQUATION FOR HEAT TRANSFER IN MARINE DIESEL ENGINE COOLING SYSTEMS UNDER TURBULENT FLOW OF COOLING NANOFLUID.....	120
Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Brazhnik I.D. GREEN HYDROGEN AS A METHOD OF DECARBONIZATION OF SHIPSHIPS.....	125
Kunda N.T., Petrushenko N.S. FEATURES OF THE FUNCTIONING OF "RIVER-SEA" CARGO TRANSPORTATION SYSTEM IN THE INTERNATIONAL TRAFFIC.....	132
Lovska A.O., Rybin A.V., Agapov E.D., Husak D.O. MATHEMATICAL MODELING OF THE VERTICAL LOADING OF A FLAT WAGON WITH A FLOOR OF SANDWICH PANELS.....	141
Mannapova O.V., Boiko S.O., Urum N.S., Riashchenko O.I. RESEARCH OF METHODS FOR TIME SERIES SMOOTHING WHEN PROCESSING NAVIGATIONAL DATA OF SHIP MOTION.....	146
Melnyk O.M. CREWLESS SHIPPING AS A DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN MARITIME TRANSPORTATION.....	152
Mykhailova Iu.V., Dolia O.E., Vil'shaniuk M.S., Steba A.A. FEATURES OF AGENCIES OF MARINE PASSENGER SHIPS.....	158
Muradian A.O., Demydiukov O.V. DIRECTIONS FOR IMPROVING THE SYSTEM OF PORT DUES FORMATION.....	167
Pavlovska L.A., Kirillova O.V., Korobkova O.M., Shpak N.G. FEATURES OF MODELING THE INFRASTRUCTURAL FRAMEWORK OF CARGO DELIVERY SCHEMES IN MODERN CONDITIONS.....	172
Petrov L.M., Kishianus I.V., Petryk Yu.M., Nikishyn V.A. ELEMENTS OF THE THEORY OF A MILITARY VEHICLE WITH A PERMANENTLY DEVELOPED WHEEL DRIVE.....	180
Petrov L.M., Kishianus I.V., Petryk Yu.M., Nikishyn V.A., Rudenko A.V. THE INTERACTION OF POTENTIAL AND KINETIC ENERGY ON THE WHEEL WITH THE POTENTIAL AND KINETIC LOAD OF THE TRUCK.....	185
Prokudin G.S., Nazarova A.P. MODELS OF ALTERNATIVE OPTIONS OF LOGISTICS CHAINS OF CARGO DELIVERY.....	189
Reshetkov D.M., Onyshchenko S.P., Pavlova N.L., Kirillova V.Yu. ESSENCE, ADVANTAGES AND PROBLEMS OF THE SEA PORTS CONTAINER TERMINALS AUTOMATION.....	194
Tykhonin V.I., Tykhonina I.I., Romakh V.L. THE METHOD OF OPTI-MIZING THE SIZES OF PACKAGES OF METAL CARGO DURING THEIR FORMATION.....	203
Trofymenko I.V., Ivanenko V.M., Fedunov V.M., Dorofieieva Z.Ya. STUDY OF TIME SERIES SMOOTHING METHODS FOR PROCESSING SHIP NAVIGATION DATA.....	209
Trukhan O.M., Osmak V.Ye., Dokiyyenko L.M. SPECIALIZED COMMERCIAL FLIGHTS WITH A HIGH DEGREE OF RISK – PROBLEMS AND POSSIBLE DIRECTIONS OF SOLUTIONS.....	215

Urum N.S., Maidaneych S.B., Ivanenko V.M., Trofymenko I.V. SEA SEXTANT: HISTORY, STAGES AND WAYS OF DEVELOPMENT, BEST TECHNICAL SOLUTIONS.....	221
Fomin O.V., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. ANALYSIS OF FAILURES OF RAILWAY ROLLING STOCK UNITS IN THE EXISTING SYSTEMS OF ASSESSMENT OF THEIR TECHNICAL CONDITION AND REPAIR.....	230
Shpak N.G., Pavlovska L.A., Korobkova O.M. STUDY OF CUSTOMS AND TRANSPORT OPERATIONS WHEN EXPORTING GRAIN FROM UKRAINE.....	238
CONSTRUCTION	
Boghinska L.O. GREEN BUILDING AS A COMPONENT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE BUILDING COMPLEX.....	243
Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Osadchuk M.V., Yakimenko M.L., Svirskiy V.V., Benedyuk V.S. CONCERNING THE NEED TO RESEARCH THE TECHNICAL AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF FIRE CONNECTING HEADS.....	248
GEODESY	
Liu Chang, Mamonov K.A., Kovalenko L.B. STUDY OF THE INFLUENCE OF FACTORS FORMING THE CONTINGENT OF STUDENTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS ON THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC SPHERE AT THE REGIONAL LEVEL.....	254
ELECTRONICS	
Mianovskyi V.V., Korniev V.P. SCHEME OF IMPULSE NEURON WITH OUTPUT BUFFER ON CURRENT MIRRORS.....	258
Osadchuk I.O. MICROELECTRONIC AUTOGENERATOR GAS CONCENTRATION SENSORS WITH FREQUENCY OUTPUT.....	266
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	276

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 666.973.6

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/01>

Глуховський В.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Глуховський І.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ СТІНОВІ КОНСТРУКЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ НИЗЬКОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ

Наведено результати дослідження основних фізико-механічних властивостей безавтоклавних пористих бетонів на основі портландцементу та великотоннажних промислових відходів (доменного гранульованого шлаку та кам'яновугільної золи).

Для реалізації цілей досліджень з розробки технології виготовлення високоміцних безавтоклавних газобетонів на основі великотоннажних відходів промисловості були використані лужні цементы. Особливістю зазначеного виду цементів є те, що вони виготовляються на основі великотоннажного відходу металургії – доменного гранульованого шлаку і характеризуються високою міцністю, довговічністю та корозійною стійкістю.

Встановлено основні механічні та теплофізичні характеристики бетонів, що виробляються за розробленими технологіями. Доведено, що такі стінові елементи відповідають вимогам діючих нормативних документів і характеризуються зростанням міцності в часі на відміну від пористих бетонів автоклавного твердіння та пінобетонів. Марочна міцність пропонує композицій у віці 28 діб, у всіх випадках, перевищує вимоги національного стандарту, а вологість газобетону знаходиться в межах значень відпускної вологості, що нормуються, тобто не більше 25%. Відмінною особливістю безавтоклавних газобетонів від аналогічних композицій автоклавного твердіння полягає у збільшенні межі міцності при стиску при подальшому твердінні протягом 90 діб.

Отримані результати випробування безавтоклавних газобетонів показують, що розроблені композиції характеризуються рівнями міцності в межах показників, що регламентують характеристики міцності газобетонів стандартами, не тільки в області безавтоклавних композицій, але і в області автоклавного газобетону. Високі фізико-механічні характеристики безавтоклавного газобетону були реалізовані під час випуску дослідно-промислової партії стінових газобетонних панелей розміром 3,3×1,5×0,5м.

Ключові слова: безавтоклавні ніздрюваті бетони, лужні цементы, міцність при стиску, доменний гранульований шлак, кварцовий пісок.

Постановка проблеми. Виходячи з основних положень концепції сталого розвитку, газобетон можна розглядати як один з найбільш перспективних конструкційних матеріалів, що забезпечують суттєве скорочення енергетичних витрат на опалення приміщень при низьких витратах стінового матеріалу на квадратний метр поверхні стінової конструкції.

Але, дозволяючи суттєво скоротити теплові втрати будівель, традиційний газобетон, у своєму виробництві передбачає наявність високотемпературних процесів (автоклавування) та викорис-

тання сировинних продуктів, виробництво яких супроводжується утворенням великої кількості CO₂ (парникового газу). До складу сировинної суміші автоклавного газобетону входить до 40% за масою портландцементу та вапна. Виробництво цих в'язучих супроводжується виділення в атмосферу великої кількості CO₂. Парниковий газ утворюється не тільки при декарбонізації вапняку (до 300 кг на тонну портландцементу та до 780 кг на тонну вапна), а й при спалюванні палива, яке використовується для випалу сировинних сумішей.

Фахівці вважають, що з урахуванням вуглекислого газу, який утворюється під час транспортування готового продукту, виробництво однієї тони цементу супроводжується викидом у атмосферу однієї тони вуглекислого газу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з особливостей сучасного періоду розвитку будівельного виробництва є підвищення вимог до теплозахисних характеристик огороджуючих конструкцій будівель [2], що обумовлює тенденцію до збільшення долі ніздрюватого бетону у загальному обсязі стінових огорожуючих конструкцій.

Технологія виробництва автоклавного ніздрюватого бетону характеризується високою енергоємністю, оскільки передбачає наявність у технологічному процесі високотемпературної обробки кінцевого продукту при температурах до 200°C та тиску до 1,2 МПа, що складає більш ніж 30% від загальної собівартості [3, 4], щільний помел кремнеземного компонента та використання до 120 кг на кубічний метр портландцементу, що додатково збільшує енергоємність автоклавного ніздрюватого бетону.

Одним із шляхів зниження енергоємності виробництва конструкційних теплоізоляційних матеріалів є використання безавтоклавного газобетону, що твердіє в нормальних умовах [5]. Цей матеріал володіє всіма основними властивостями, що відповідають сучасним вимогам до будівельних матеріалів по теплозахисним характеристикам.

Крім цього, технологія виробництва автоклавного газобетону, яка включає високотемпературну обробку, обмежує максимальний розмір готового виробу, що обумовлено утворенням тріщин у виробках великого розміру при швидкому зменшенні тиску на останній стадії автоклавної обробки. Ці обмеження відсутні у технології виробництва газобетону, що твердіє у нормальних умовах, що дозволяє виготовляти елементи стінової конструкції більших розмірів при умові виготовлення газобетону з необхідними фізико-механічними характеристиками, які забезпечують можливість сприймати навантаження, що виникають при транспортуванні та монтажу конструкційних елементів великих розмірів, що буде сприяти інтенсифікації будівельного процесу, скороченню витрат основних та допоміжних будівельних матеріалів на будівельному майданчику та створенню умов для постачання на будівництво конструкцій та виробів повної виробничої готовності.

Постановка завдання. Метою дослідження було розроблення наукових засад формування

структури ніздрюватих композицій, що твердіють в нормальних умовах, в залежності від виду в'язучого, інтенсивності процесів взаємодії в зоні контакту в'язучого та заповнювача (або наповнювача) і швидкості процесів структуроутворення матеріалу матриці.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою реалізації зазначених цілей у роботі були досліджені безавтоклавні ніздрюваті бетони на основі портландцементу з добавками доменного гранульованого шлаку, кам'яновугільної золи і кварцового піску та бетони на основі лужного цементу [6] добавкою немеленого доменного гранульованого шлаку та кварцового піску.

Базовий склад робочої суміші газобетону на основі портландцементу підбирався за умови досягнення оптимальної текучості суміші при мінімальному значенні В/Ц. На основі результатів оптимізації складу бетонів були виготовлені дослідні зразки, результати випробування яких наведені у таблиці 1.

Максимальне значення міцності у віці 28 діб для ніздрюватих бетонів за класом по середній густині D500 складає 3,41 МПа, що у 2,3 рази вище значення, що регламентоване діючим нормативним документом для ніздрюватих бетонів вказаного класу. Аналогічно, перевищення за вказаним показником для бетонів класу за середньою густиною D600 складає 1,8 рази, для D700 – 1,6 рази та для D800 – 1,5 рази.

Також встановлено, що після 28 діб твердіння, термін при якому визначається марка ніздрюватого бетону, що твердіє в нормальних умовах, міцність усіх композицій продовжує збільшуватися (табл. 1).

На основі отриманих результатів було встановлено, що міцність ніздрюватого бетону при однаковому значенні середньої густини (рис. 1) визначається значенням робочого водоцементного відношення та збільшується зі зниженням цього показника.

При постійному значенні робочого водоцементного відношення (рис. 2) міцність композиції зростає зі збільшенням середньої густини ніздрюватої композиції. Встановлена залежність також зберігається на протязі всього терміну твердіння за який були виконані випробування.

Введення до складу твердіючого цементного каменю наповнювачів або заповнювачів, що здійснюється з метою зниження витрати цементу, визначає необхідність врахування, при проектуванні складів таких композицій, процесів, що відбуваються в зоні контакту в'язучого та наповню-

Таблиця 1

**Фізико-механічні характеристики ніздрюватих бетонів на основі портландцементу
(зведені результати)**

№	Максимальна марка за ДСТУ, МПа	Середня густина, кг/м ³	В/Ц	Міцність при стиску, МПа, у віці, дб				
				3	7	28	90	360
1	1,5	470	0,376	1,54	1,63	1,82	2,03	2,20
2		490	0,300	1,83	2,09	2,50	2,64	2,89
3		500	0,320	1,94	2,14	2,46	2,68	2,84
4		510	0,376	1,83	1,92	2,08	2,24	2,38
5		510	0,298	2,46	3,12	3,41	3,54	3,71
6	2,5	600	0,298	2,84	3,00	3,57	4,10	4,31
7		630	0,376	3,03	3,43	3,81	3,80	4,14
8		640	0,297	2,83	3,52	4,46	5,03	5,06
9	3,5	700	0,376	4,88	5,18	5,57	5,68	5,91
10	5,0	800	0,376	6,62	7,17	7,74	7,83	8,13

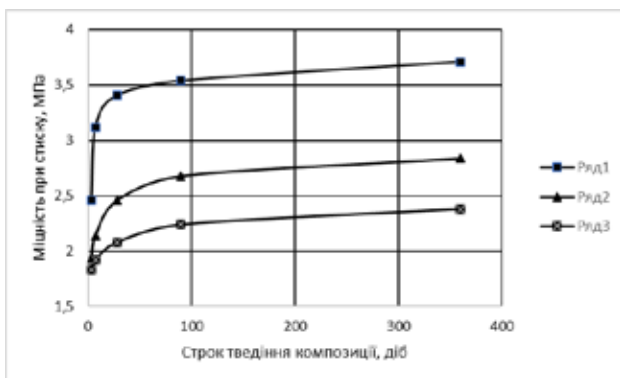


Рис. 1. Змінення міцності ніздрюватого бетону з часом в залежності від значення водоцементного відношення: 1 – В/Ц=0,298 (середня густина 510 кг/м³); 2 – В/Ц=0,32 (середня густина 500 кг/м³); 3 – В/Ц=0,376 (середня густина 510 кг/м³)

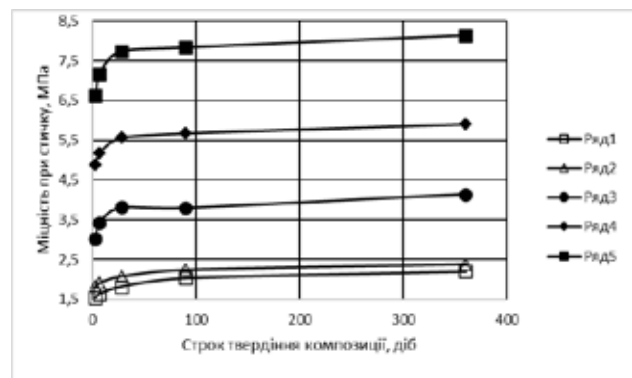


Рис. 2. Змінення міцності ніздрюватого бетону з часом при постійному значенні водоцементного відношення (В/Ц = 0,376) при значенні середньої густини 470 кг/м³ (1), 510 кг/м³ (2), 630 кг/м³ (3), 700 кг/м³ (4) и 800 кг/м³ (5)

Таблиця 2

Результати підбору складів ніздрюватих бетонів

№ складу	Вид добавки	Кількість добавки, мас. % від маси цементу	Середня густина бетону, кг/м ³	В/Т
8	без добавки	0	640	0,297
11	зола	67	630	0,278
12	шлак	100	630	0,298
13	пісок	25	630	0,246
14	пісок	43	640	0,226
15	пісок	67	650	0,216

вача або заповнювача. В якості наповнювачів була використовувалася суха кам'яновугільна Ладизинської ТЕС з питомою поверхнею 2656 см²/г та шлак мелений доменний гранульований ЗАТ «Дніпропетровський цементний завод» з питомою поверхнею 3159 см²/г, а в якості заповнювача немелений кварцовий пісок з модулем крупності 1,43.

Результати підбору складів ніздрюватих бетонів та результати випробування дослідних зразків наведені у таблицях 2 та 3.

Аналізом залежностей, що характеризують кінетику набору міцності ніздрюватим бетоном який виготовлений на основі базового складу (зразок 8) та з добавками в якості наповнювача золи (зразок 11) та меленого шлаку (зразок 12) встановлено, що характер кривої яка характеризує кінетику зміни міцності ніздрюватого бетону з добавкою золи відрізняється від аналогічних залежностей для базового складу та складу з добавкою шлаку.

Фізико-механічні характеристики ніздрюватих бетонів на основі портландцементу з добавками золи, меленого доменного гранульованого шлаку та кварцового піску

№ складу	Міцність при стиску, МПа	Міцність при стиску, МПа, у віці, діб				
		3	7	28	90	360
8	ніздрюватого бетону	2,83	3,52	4,46	5,03	5,06
	матеріалу матриці	43,0	44,5	46,5	48,9	52,0
11	ніздрюватого бетону	1,71	2,34	3,22	4,81	5,06
	матеріалу матриці	17,1	19,8	27,7	35,5	38,1
12	ніздрюватого бетону	1,92	2,09	3,38	3,58	3,84
	матеріалу матриці	15,8	17,9	40,9	43,3	45,1
13	ніздрюватого бетону	2,22	2,64	3,05	3,61	4,02
	матеріалу матриці	31,4	35,2	44,4	47,7	51,1
14	ніздрюватого бетону	2,05	2,29	2,93	3,31	3,88
	матеріалу матриці	18,3	20,8	31,3	36,7	46,5
15	ніздрюватого бетону	1,79	1,93	2,41	2,64	3,31
	матеріалу матриці	19,8	21,2	33,3	38,0	44,6

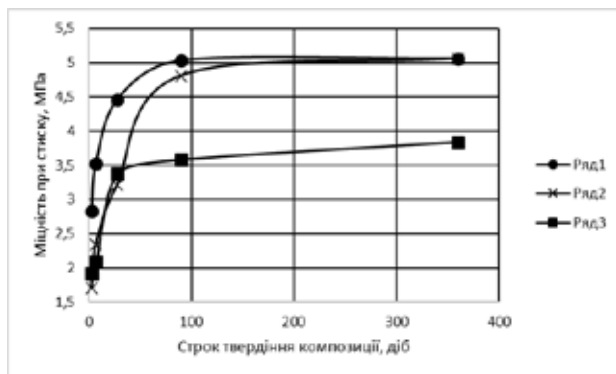


Рис. 3. Кінетика зміни міцності при стиску ніздрюватого бетону при твердінні у нормальних умовах: 1 – склад 8 (без добавки); 2 – склад 11 (з добавкою золи); 3 – склад 12 (з добавкою шлаку)

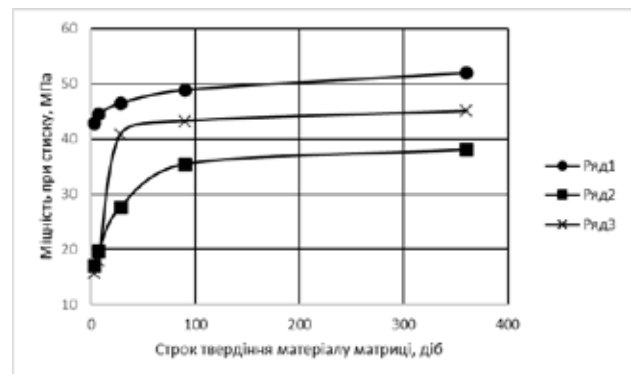


Рис. 4. Кінетика зміни міцності при стиску матеріалу матриці бетону при твердінні у нормальних умовах: 1 – склад 8 (без добавки); 2 – склад 11 (з добавкою золи); 3 – склад 12 (з добавкою шлаку)

Значення втрат маси за результатами диференційно-термічного аналізу матеріалу матриці

№ складу	Кількість добавки, мас. %, від цементу	Втрата маси, мас. %, в температурному інтервалі			
		20-200°C	500-580°C	700-800°C	в. п. п.
8	без добавки	5,5	1,75	5,75	20,0
11	зола – 67	4,5 (7,5)*	0,75 (1,25)	2,5 (4,2)	31,7
12	шлак – 100	5,0 (10,0)	1,5 (3,0)	2,25 (4,5)	40,0

*примітка – в дужках наведені показники у перерахунку на 100 мас. % цементу в складі композиції.

На протязі 28 діб нормального твердіння рівень міцності ніздрюватого бетону з добавкою золи та меленого шлаку (рис. 3) знаходився практично на однаковому рівні 3,22 та 3,38 МПа відповідно. Але при подальшому твердінні відмічається різке збільшення міцності ніздрюватого бетону з добавкою золи у віці 90 діб до рівня 4,81 МПа, тобто майже на 50%, тоді як рівень міцності ніздрюватого бетону з добавкою меленого шлаку за той же період збільшився всього на 6%.

Аналогічна залежність, яка характеризує кінетику набору міцності матеріалу матриці (рис. 4) свідчить про те, що рівень міцності матеріалу матриці зразків з добавкою шлаку у віці 28 діб складає 40,9 МПа, тоді як аналогічний показник матеріалу матриці з добавкою золи характеризується значенням 27,7 МПа. При подальшому твердінні рівень міцності матеріалу матриці зразків з добавкою шлаку практично не змінюється і у віці 90 діб складає 43,3 МПа, а аналогічний показник

Таблиця 5

Основні показники лужного цементу

Вид лужного компоненту	густина розчину, кг/м ³	Строки тужавлення, хвилин		Марка лужного цементу, МПа, у віці	
		початок	кінець	7 суток	28 суток
метасилікат натрію	1200	36	45	63,0 (5,6)*	107,8 (7,6)
	1250	37	48	59,2 (7,1)	93,0 (6,5)
дисилікат натрію	1300	56	70	48,3 (4,6)	77,3 (6,3)

* примітка – у дужках наведена межа міцності на розтяг при згині

Таблиця 6

Фізико-механічні характеристики безавтоклавних газобетонів на основі лужного цементу

Марка бетону за середньою густиною	Середня густина зразка, кг/м ³	Вологість зразка мас. %	Міцність при стиску, МПа, у віці		
			7 діб	28 діб	90 діб
без заповнювача					
D500	520	18,7	2,54	4,07	4,32
D600	610	16,9	3,74	4,75	5,10
D700	680	17,6	5,02	6,09	6,46
заповнювач – кварцовий пісок (фракція 0,25-0,5 мм) 50 % від маси шлаку					
D500	510	15,5	2,29	2,97	3,16
D600	620	15,7	3,87	4,36	4,55
D700	690	16,1	4,84	5,78	6,17
заповнювач – кварцовий пісок (фракція 0,25-0,5 мм) 100 % від маси шлаку					
D500	530	12,1	2,38	2,67	2,86
D600	610	13,7	3,74	3,82	4,02
D700	710	13,9	4,86	5,04	5,31
заповнювач – шлак немелений (фракція 0,25-0,5 мм) 50 % від маси шлаку					
D500	500	19,7	2,54	2,87	3,03
D600	620	18,5	4,03	4,47	4,67
D700	700	18,4	4,93	5,14	5,38
заповнювач – шлак немелений (фракція 0,25-0,5 мм) 100 % від маси шлаку					
D500	510	17,4	2,17	2,54	2,61
D600	590	17,5	3,02	3,75	3,90
D700	690	18,0	4,09	4,43	4,57

для зразків з добавкою золи дорівнює 35,5 МПа, тобто збільшився на 28%.

З метою визначення причин зазначеного протиріччя у роботі було виконано диференційно-термічний аналіз зразків матеріалу матриці базового складу та складів з добавками золи і меленого шлаку у віці 90 діб (табл. 4).

Наведені результати вказують на те, що у разі використання в якості добавки золи, в процесі структуроутворення цементного каменю відбувається взаємодія золи з гідроксидом кальцію, який утворюється при гідратації портландцементу. В разі використання в якості добавки меленого шлаку, кількість гідратних новоутворень збільшується за рахунок гідратації шлаку.

Тобто на основі вказаних результатів диференційно-термічного аналізу може бути пояснено суттєве підвищення міцності ніздрюватого бетону з добавкою золи у віці 90 діб, тим, що у вказаній

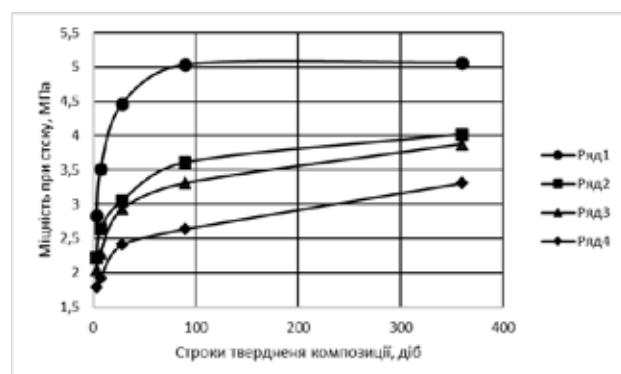


Рис. 5. Кінетика зміни міцності при стиску ніздрюватого бетону при твердінні у нормальних умовах: 1 – склад 8 (без добавки); 2 – склад 13 (з добавкою піску 25%); 3 – склад 14 (з добавкою піску 25%); 4 – склад 15 (з добавкою піску 67%)

композиції саме в цей час протікають процеси хімічної взаємодії новоутворень цементного каменю та добавки. В разі відсутності такої хіміч-

ної взаємодії добавка наповнювача практично не впливає на міцність ніздрюватого бетону.

Про це також свідчать залежності, що характеризують кінетику набору міцності ніздрюватим бетоном який виготовлений з добавкою в якості заповнювача немеленого кварцового піску в кількості 25 мас. % (зразок 12), 43 мас. % (зразок 13) та 67 мас. % (зразок 14), які вказують на те, що зі збільшенням кількості заповнювача, міцність ніздрюватого бетону знижується (рис. 5). При чому характер залежностей не змінюється з часом та відповідає характеру зміни у часі міцності матеріалу матриці (табл. 3).

Для реалізації цілей досліджень з розробки технології виготовлення високоміцних безавтоклавних газобетонів на основі великотоннажних відходів промисловості були використані лужні цементы [7], які виготовляються на основі доменного гранульованого шлаку та характеризуються високою міцністю (до 100 МПа), довговічністю (F1000) та корозійною стійкістю.

Характеристики лужного цементу, використаного для розробки безавтоклавного газобетону на основі меленого доменного шлаку, представлені в таблиці 5.

Результати випробування зразків безавтоклавного газобетону (табл. 6), які були виготовлені на основі лужного цементу без заповнювача та з композицій на основі лужного цементу з заповнювачем у вигляді фракціонованого кварцового піску та немолотого доменного гранульованого

шлаку, вказують на те, що представлені безавтоклавні газобетони у віці 7 діб характеризуються високими рівнями міцності при стиску на рівні вимог національного стандарту для безавтоклавних газобетонів у віці 28 діб (табл. 8). Марочна міцність досліджуваних композицій у віці 28 діб, у всіх випадках, перевищує вимоги до марки національного стандарту, а вологість газобетону знаходиться в межах значень відпускнуї вологості, що нормуються, тобто не більше 25%.

Лужне середовище лужного цементу забезпечує хімічну взаємодію продуктів його гідратації з поверхнею наповнювача – кварцового піску. Відсутність такої взаємодії у композиціях на основі портландцементу обумовлює помітне зниження міцності при стисканні композицій газобетону (табл. 7). При введенні до складу газобетону кварцового піску в кількості 25% від маси портландцементу міцність знижується до 68% від міцності композицій без заповнювача. Зі збільшенням частки заповнювача до 43 і 67%, міцність знижується до 66 і 54% відповідно. У той же час при введенні кварцового піску до складу композицій на основі лужного цементу в кількості 50 і 100% від маси шлаку, зниження міцності становить 10 і 20% відповідно.

Отримані результати випробування безавтоклавних газобетонів на основі лужного цементу показують, що розроблені композиції характеризуються рівнями міцності в межах показників, що регламентують характеристики міцності

Таблиця 7

Міцність безавтоклавного газобетону D600 на основі портландцементу та лужного цементу без заповнювача та із заповнювачем, кварцовим піском, у віці 28 діб

Вид цементу	Кількість заповнювача, %, від маси цементу	Міцність при стиску, МПа, у віці 28 діб	Міцність у % від міцності зразків без заповнювача
Портландцемент	0	4,46	100
	25	3,05	68,4
	43	2,93	65,7
	67	2,41	54,0
Лужний цемент	0	4,75	100
	50	4,36	91,8
	100	3,82	80,4

Таблиця 8

Вимоги стандарту та характеристики міцності безавтоклавного газобетону на основі лужного цементу

Марка бетону за середньою густиною	Рівні міцності при стиску газобетону, МПа, у відповідності до ДСТУ [8]		Міцність при стиску, МПа, безавтоклавного газобетону на основі лужного цементу		
	автоклавного	безавтоклавного	без заповнювача	з заповнювачем, немелений шлак у кількості	
				50 %	100 %
D500	2,17 – 3,62	1,45 – 2,90	4,07	2,87	2,56
D600	2,90 – 3,62	2,17 – 2,90	4,75	4,47	3,75
D700	3,62 – 7,23	2,90 – 3,62	6,09	5,14	4,43

газобетонів національними стандартами, не тільки в області безавтоклавних композицій, але і в області автоклавного газобетону (табл. 8).

Високі фізико-механічні характеристики безавтоклавного газобетону D600 були реалізовані під час випуску дослідно-промислової партії стінових газобетонних панелей розміром 3300×1500×500 мм.

Висновки.

1 Максимальним значенням міцності при стиску у віці 28 діб характеризується безавтоклавний ніздрюватий бетон марки D600 на основі портландцементу без мінеральних добавок – 4,5 МПа. Аналогічна характеристика для ніздрюватого бетону з добавкою золи та меленого шлаку складає 3,2 та 3,4 МПа, а мінімальними значеннями міцності у віці 28 діб характеризуються

бетони з добавкою немеленого піску 3,1, 2,9 та 2,4 МПа при кількості піску 25, 43 та 67 мас. % відповідно. Проте, ніздрюваті бетони всіх названих складів за міцністю при стиску, перевищують значення, що регламентується діючим нормативним документом для безавтоклавних ніздрюватих бетонів.

2 Максимальним значенням міцності при стиску у віці 28 діб характеризується безавтоклавний ніздрюватий бетон марки D600 на основі лужного цементу без мінеральних добавок – 4,75 МПа. Аналогічна характеристика для ніздрюватого бетону з добавкою немеленого доменного гранульованого шлаку складає 4,5 МПа (при кількості добавки 50 мас. %) та 3,8 МПа (при кількості добавки 100 мас. %).

Список літератури:

1. U.S. Concrete, Inc. Cement and CO₂ emissions. Communications Department 331 N. Main Street Euless, TX 76039. URL: <https://www.us-concrete.com/low-co2-concrete> (дата звернення: 08.12.2022).
2. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Конструкції будинків і споруд. Державні будівельні норми України. Київ, 2006. 36 с.
3. Захарченко П.В., Плиська Є.І. Стан та перспективи розвитку ринку газобетонних виробів в Україні та світі. Строительные материалы и изделия. 2013. № 5-6. С. 80-81.
4. Страхук С.В., Багаєва Т.Ю., Щепещенко Т.А. Газобетон неавтоклавного твердження – технологія та перспективи виробництва в Україні. Строительные материалы и изделия. 2013. № 4. С. 48-51.
5. Сахаров Г.П. Альтернативные теплоизоляционные материалы для ограждающих конструкций зданий. Строительные материалы и изделия. 2005. № 3. С. 2-7.
6. Raw mixture and method for producing gas concrete: пат. 9487442 США: U.S.Cl. C04B 7/1535 (2013.01) V. Glukhovskiy, I. Glukhovskiy, заявл. 03.02.2016, опубл. 08.10.2016.
7. ДСТУ Б В.2.7-181:2009. Будівельні матеріали. Лужні цементи. Технічні умови. Київ, 2009. 11 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-45:2010. Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Загальні технічні умови. Київ, 2010. 15 с.

Glukhovskiy V.V., Glukhovskiy I.V. HEAT-INSULATING WALL STRUCTURAL ELEMENTS OF LOW ENERGY INTENSITY

The results of a study of the main physical and mechanical properties of non-autoclaved cellular concrete based on Portland cement and large-tonnage industrial waste (granulated blast-furnace slag and coal ash) are presented.

To implement the research objectives for the development of manufacturing technology for high-strength non-autoclaved aerated concretes on the basis of large industrial waste, alkaline cements. The peculiarity of this type of cement, is that they are made on the basis of large-scale wastes of metallurgy – blast furnace granulated slag and are characterized by a high branding strength, durability and corrosion resistance.

The main mechanical and thermophysical characteristics of concretes produced according to the developed technologies have been established. It has been proven that such wall elements meet the requirements of the current regulatory documents and are characterized by an increase in strength over time, in contrast to autoclaved cellular concrete and foam concrete. The brand strength of the proposed compositions at the age of 28 days, in all cases, exceeds the requirements for the brand of the national standard, and the moisture content of aerated concrete is within the normalized values of the release moisture content, that is, no more than 25%. A distinctive feature of non-autoclaved aerated concrete from similar compositions of autoclaved hardening is an increase in compressive strength during subsequent hardening for 90 days.

The obtained results of testing non-autoclaved aerated concrete show that the developed compositions are characterized by strength levels within the parameters that regulate the strength characteristics of aerated concrete standards, not only in the field of non-autoclaved compositions, but also in the field of autoclaved aerated concrete. High physical and mechanical characteristics of non-autoclaved aerated concrete were realized during the production of a pilot batch of aerated concrete wall panels with a size of 3300 × 1500 × 500 mm.

Key words: non-autoclaved cellular concrete, alkaline cements, compressive strength, blast furnace granulated slag, quartz sand.

Дорогань Н.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПИТАННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЦЕМЕНТУ

Стаття містить результати досліджень по застосуванню відходів промисловості як основної сировини в складі вихідних сумішей для виготовлення цементу відповідно до сучасних вимог ресурсозбереження. В експериментальній роботі комплексно застосовано методи фізико – хімічного аналізу силікатів та стандартизованого тестування властивостей мінеральних в'язучих матеріалів. Об'єктом дослідження стали сировинні суміші для виготовлення цементу низькотемпературного випалу ($\leq 1200^{\circ}\text{C}$) на основі системи карбонатна порода (вапняк) – багатотоннажні відходи промисловості (рисова лузга та зола виносу ТЕС). Із застосуванням комп'ютерної програми «РоманЦемент» виконано розрахунки та аналіз вірогідних складів сировинних сумішей з максимально можливим вмістом досліджуваних відходів промисловості як техногенної сировини. Визначено нові складі вихідних сировинних сумішей з загальним вмістом 52–61 мас. % вказаних відходів агропромисловості та теплоенергетики. При максимальній температурі випалу $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ виготовлені швидкоотжувачіючі та нормальнотжувачіючі мінеральні в'язучі матеріали середньої міцності (30–35 МПа на стиск). Показано особливості формування фазового складу та властивостей мінерального в'язучого при випалі з вказаною максимальною температурою та варіюванні кількісного співвідношення компонентів у складі вихідної суміші. Відзначено зв'язок властивостей цементу із розроблених сумішей із формуванням при випалі системи типових клінкерних кристалічних фаз (силікатів кальцію CS , C_2S , алюмосилікату C_2AS і алюмінатів кальцію) та анортиту і муліту, пов'язаних з особливостями складу рисової лузги та золи виносу ТЕС. Зроблено висновок про можливість ефективної утилізації досліджуваних багатотоннажних відходів промисловості як техногенної сировини для виготовлення мінеральних в'язучих низькотемпературного випалу для комплексного вирішення питань ресурсозбереження і хімічної технології виробництва силікатних будівельних матеріалів.

Ключові слова: цемент, лузга рисова, зола виносу, суміш сировинна, склад, випал, фази кристалічні, властивості.

Вступ. Збільшення обсягів практичного використання багатотоннажних відходів промисловості відповідає комплексному вирішенню задач екології, ресурсозбереження та розвитку силікатних виробництв [1-3]. Вирішення цього проблемного питання потребує відповідного розвитку науково-технічних засад хімічної технології силікатів із визначенням закономірностей щодо впливу концентрації різновидів техногенної сировини на структуроутворення та властивості силікатних матеріалів [4, 5].

Питання розширення сировинної бази виробництва силікатних матеріалів є предметом численних досліджень, при цьому наголос робиться на залученні в технологічні процеси відходів інших галузей промисловості як техногенної сировини [6-8]. Найбільшим практичним досягненням в цьому напрямку стало використання відходів чорної металургії – доменних гранульованих шлаків і відходів теплоенергетики – золи виносу ТЕС як компонентів шлакопортландцементу, композиційних цементів і бетонів [9, 10].

Серед інших багатотоннажних відходів привертає увагу рисова лузга [11]. Вказується, що при виготовленні 1 кг білого рису утворюється 0.28 кг рисової лузги як побічний продукт виробництва рису в процесі помелу. Як наслідок, при річному виробництві рису в світі 750 млн. т утворюється понад 150 млн. т відходів.

Великі обсяги утворення та накопичення відходів виробництва створюють екологічну небезпеку, що підкреслює актуальність розробок по їх утилізації з урахуванням фізико-хімічних властивостей та впливу на характеристики різновидів можливого продукту. З погляду на кінцеву ефективність вирішення вказаної задачі перспективним є застосування рисової лузги та золи виносу в масоємних силікатних виробництвах. При цьому рисова лузга може стати джерелом аморфного діоксиду кремнію як активатору фізико-хімічних процесів структуроутворення силікатних систем [12]. Експериментальним підтвердженням в цьому напрямку стали роботи щодо впливу добавок рисової лузги

на властивості цегли [13], фарфору [14] та бетону [15]. Щодо окремих розробок по використанню рисової лузги та золи виносу в технології цементу, то вони вказують на можливість підвищення окремих показників властивостей в'язучого матеріалу [16-18], проте не торкаються питання збільшення об'єму утилізації лузги шляхом створення та використання нових складів сировинних сумішей.

Результати аналізу приводять до висновку, що більшість розробок щодо утилізації багатотоннажних відходів різних галузей господарства в виробництві силікатних матеріалів спрямовані на її використанні як добавки до сировинних складів діючих технологічних процесів. Очевидно, вибір найбільш прийняттого технічного рішення щодо суттєвого збільшення кількості відходів як техногенної сировини має базуватися на розробці та впровадженні нових складів сировинних сумішей з відповідними змінами технологічного регламенту виробництва.

Мета роботи. Метою даної роботи став аналіз можливості застосування гранично великої кількості багатотоннажних відходів промисловості як основної сировини в складі вихідних сумішей для виготовлення цементу при зменшенні максимальної температури випалу.

Експериментальна частина.

Об'єктом дослідження стали сировинні суміші для виготовлення цементу на основі системи крейда – рисова лузга – зола виносу ТЕС.

Сировинні суміші готували шляхом дозування компонентів за масою, змішування та гомогенізації в кульовому млині, випалу та подрібнення кінцевого продукту відповідно до сучасної технології цементу.

Зразки сировинних сумішей випалювали в печі протягом 15 годин при максимальній температурі 1400°C, витримуючи при максимумі 1,5 години. Всі зразки сумішей, які порівнювали, випалювали одночасно, щоб виключити можливість різниці в ступені термічної обробки.

Методи фізико-хімічного аналізу силікатної сировини та випробування властивостей в'язучого, які використовувались у цій роботі, включали:

– аналіз хімічного складу із застосуванням стандартизованих процедур;

– рентгенівський дифракційний аналіз (порошкоподібні препарати) за допомогою дифрактометра ДРОН-4-0, підключеного через інтерфейс до комп'ютера;

– визначення показників властивостей цементу відповідно до діючих стандартів, дозволило проводити зйомку дифрактограм в чисельному вигляді в діапазоні 2–70 2 θ ; час експонування кожної точки – 6 секунд. При розшифровці фазового складу використовували базу даних Міжнародного комітету порошкових дифракцій.

Для визначення раціональних складів вихідної суміші було застосовано різновиди сировини:

– вапняк Дубінецького родовища Івано-Франківської області;

– лузга – відходи переробки рису ТОВ «Рис України» Херсонської області;

– зола виносу – відходи виробництва Бурштинської ТЕС Івано-Франківської області.

Проби вихідної сировини суттєво відрізняються за генезисом і складом.

Крейда є природною сировиною осадового походження, рисова лузга та зола виносу є техногенною сировиною – відходами промисловості.

За хімічним складом проба вапняку характеризується переважним вмістом CaO (52,8 мас. %), проба рисової лузги – більшим вмістом SiO₂ (15,6 мас. %) при великому кількісному співвідношенні SiO₂ : Al₂O₃ = 65,2 та малою кількістю лужноземельних і лужних оксидів (табл. 1).

Проба золи виносу відрізняється від лузги значно більшою кількістю оксидів кремнію та алюмінію при кількісному співвідношенні SiO₂ : Al₂O₃ = 2,6. При цьому мають місце кількісні співвідношення оксидів CaO : SiO₂ = 0,1, CaO : Al₂O₃ = 0,2, CaO : SiO₂ : Al₂O₃ = 1 : 11,5 : 4,5, що визначають вірогідні фазоутворення при випалі.

За мінералогічним складом крейда характеризується переважним вмістом кальциту; основним породоутворюючим мінералом рисової лузги є аморфний кремнезем; зола виносу відзначається наявністю кристалічних фаз, розподілених у розвиненій склофазі (рис. 1, 2).

Таблиця 1

Хімічний склад сировини

Проба	Вміст оксидів, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п
вапняк	3,13	0,06	1,05	-	52,82	0,52	0,10	-	-	42,32
лузга	15,64	0,24	0,12	-	0,61	0,45	0,18	0,48	0,28	82,00
зола виносу	46,12	18,00	22,17	1,78	4,03	1,46	0,21	-	2,10	1,49

Розрахунки та аналіз складу сировинних сумішей для виготовлення цементу низькотемпературного випалу проводили з використанням створеної комп'ютерної програми «РоманЦемент» [19]. Це дозволило оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші за рекомендованими значеннями гідралічного та кремнеземного модулів.

За результатами комп'ютерних розрахунків у бінарних сумішах на основі вапняку в інтервалі значень гідралічного модулю

НМ = 1,1–1,7 можливий вміст рисової лузги становить мас. %, а золи виносу – 23,0–33,1 мас. %, проте при цьому числа кремнеземного і глиноземного модулів не відповідають, рекомендованим $n = 1,9–3,0$ і $p = 0,90–2,0$ для цементного клінкеру (табл. 2).

При використанні 3-компонентних сумішей на основі системи вапняк – рисова лузга – зола виносу можливий загальний вміст техногенної сировини становить від 29,4 до 71,7 мас. % із зміною кремнеземного модулю від 1,4 до 10,1 (рис. 3).

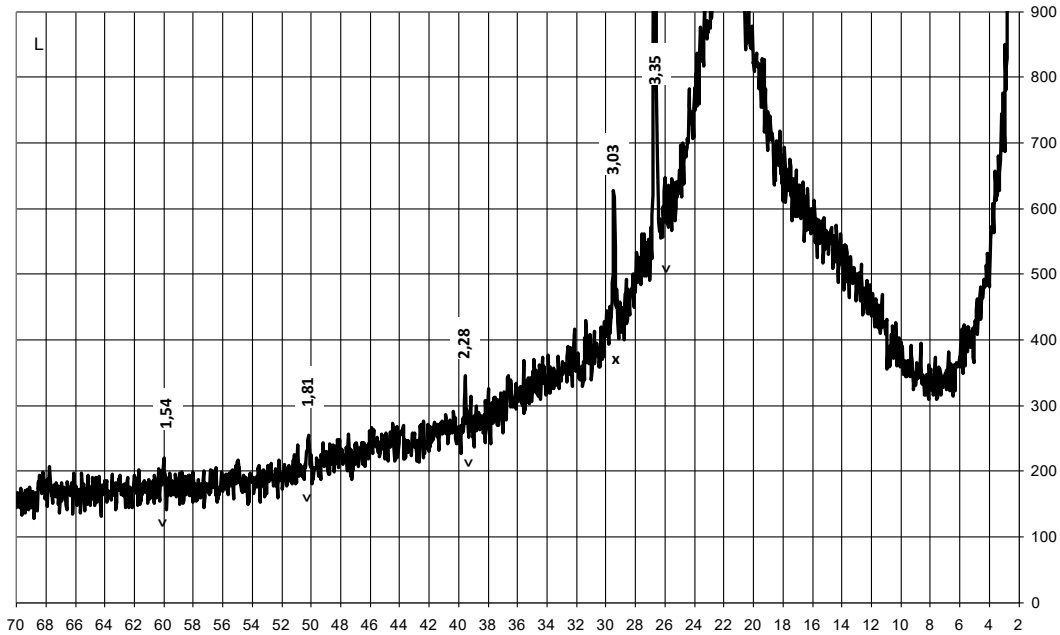


Рис. 1. Дифрактограма проби рисової лузги: v – кварц; x – кальцит

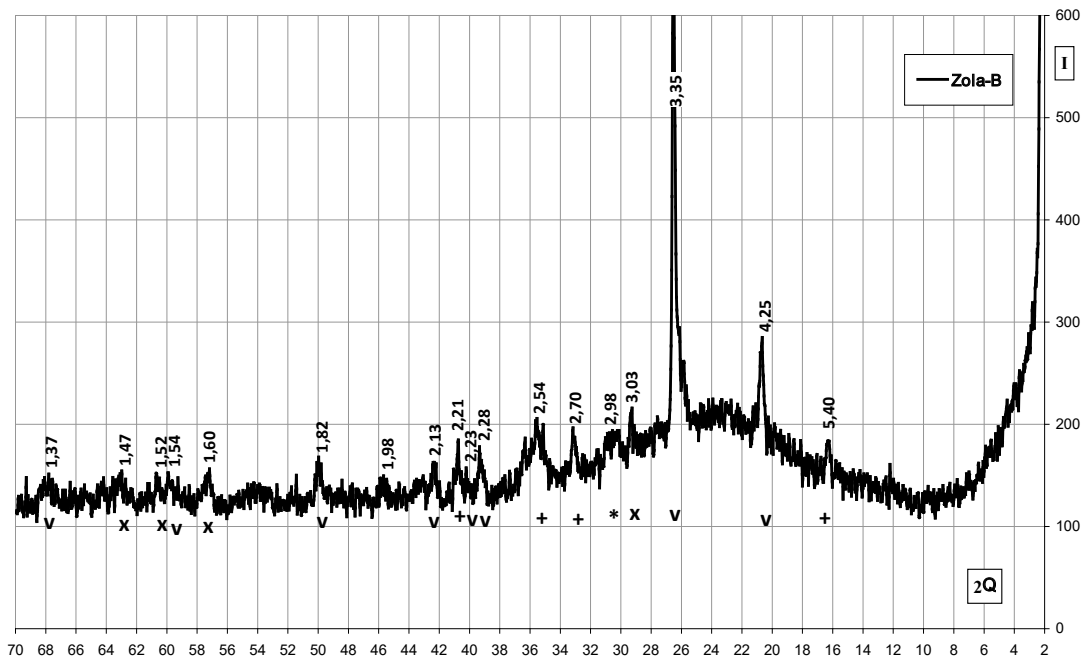


Рис. 2. Дифрактограма проби золи виносу: v – кварц; x – кальцит, + муліт

Склад бінарних сумішей і характеристика клінкеру

Система	Склад вихідної суміші, мас. %			Характеристики клінкеру		
	вапняк	лузга	зола виносу	НМ	n	p
вапняк-лузга	26,2-32,0	63,0-73,8	-	1,10-1,70	17,4-21,8	0,36-0,54
вапняк-зола виносу	66,9-77,0	-	23,0-33,1	1,10-1,70	1,2-1,3	0,71-0,75

Для подальшого дослідження було обрано сировинні суміші 23L–24L, що при значеннях гідравлічних модулів НМ = 1,1–1,7 характеризуються рекомендованими значеннями кремнеземного модуля n = 1,9–2,8 (табл. 3). При цьому вони відрізняються загальним вмістом техногенної сировини 52,4–60,7 мас. % при кількісному співвідношенні рисова лузга: зола виносу від 2 до 5.

Таблиця 3

Склад сировинних сумішей

Код суміші	Вапняк	Лузга	Зола виносу
23L	47,6	35,0	17,4
24L	39,3	50,0	10,7

За хімічним складом досліджувані суміші характеризуються кількісними співвідношеннями $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ від 4,5 до 6,5, при вмісті оксидів заліза 3,0–4,7 $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ від 1,5 до 1,7, $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3$ від 7,5 до 9,8 при вмісті оксидів заліза 3,0–4,7% (табл. 4). При цьому очевидно, що у порівнянні з наведеними вище даними по окремим компонентам хімічний склад сумішей відзначається значно

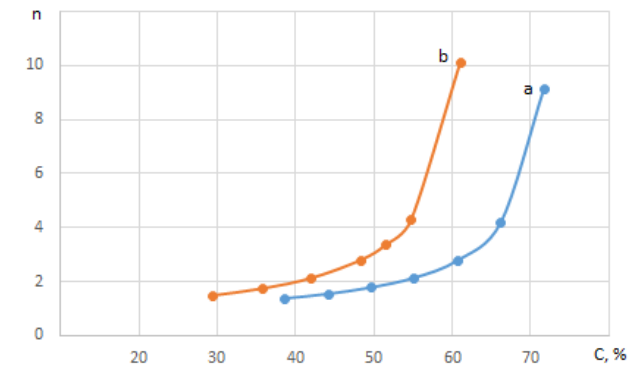


Рис. 3. Залежність кремнеземного модуля (n) від концентрації техногенної сировини (C) при НМ=1,1 (a) і НМ=1,7 (b)

більшими співвідношеннями вказаних оксидів та відповідно більшою вірогідністю утворення необхідних фаз клінкеру.

Отримані результати хімічного (табл. 5) та рентгенофазового аналізу (рис. 4, 5) дозволив виявити певні особливості складу та фазоутворення цементного клінкеру з досліджуваних сировинних сумішей при випалі.

Таблиця 4

Хімічний склад сировинної суміші

Код суміші	Вміст оксидів, мас. %						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	в.п.п
23L	15,60	3,46	4,67	26,10	0,67	0,15	49,35
24L	14,38	2,20	3,00	21,54	0,60	0,15	58,13

Таблиця 5

Хімічний склад клінкеру

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
23L	30,80	6,83	9,22	51,53	1,32	0,30
24L	34,34	5,26	7,16	51,45	1,43	,36

Встановлено, що склад клінкеру з досліджуваних вихідних сумішей характеризується розвитком типових для цементу кристалічних фаз силікатів кальцію типу CS , C_2S , алюмінатів кальцію типу CA , C_{12}A_7 , алюмосилікатів типу C_2AS , алюмофериту кальцію типу C_4AF . Разом з тим, відзна-

чається наявність кристалічних фаз муліту типу A_3S_2 , пов'язаної із складом золи виносу, та анортиту типу $\text{S}_2\text{A}_2\text{C}$, синтез якого пов'язується з підвищеною реакційною здатністю кремнезему, що утворюється при термічній обробці рисової лузги.

За результатами технологічних тестувань після випалу на максимальну температуру 1100–1200°C згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 «В'яжучі мінеральні» проби отриманого матеріалу відносяться до групи середньої міцності (30–50 МПа), при певних відмінностях за швидкістю тужавлення (табл. 6). Так, після випалу на 1100°C проби

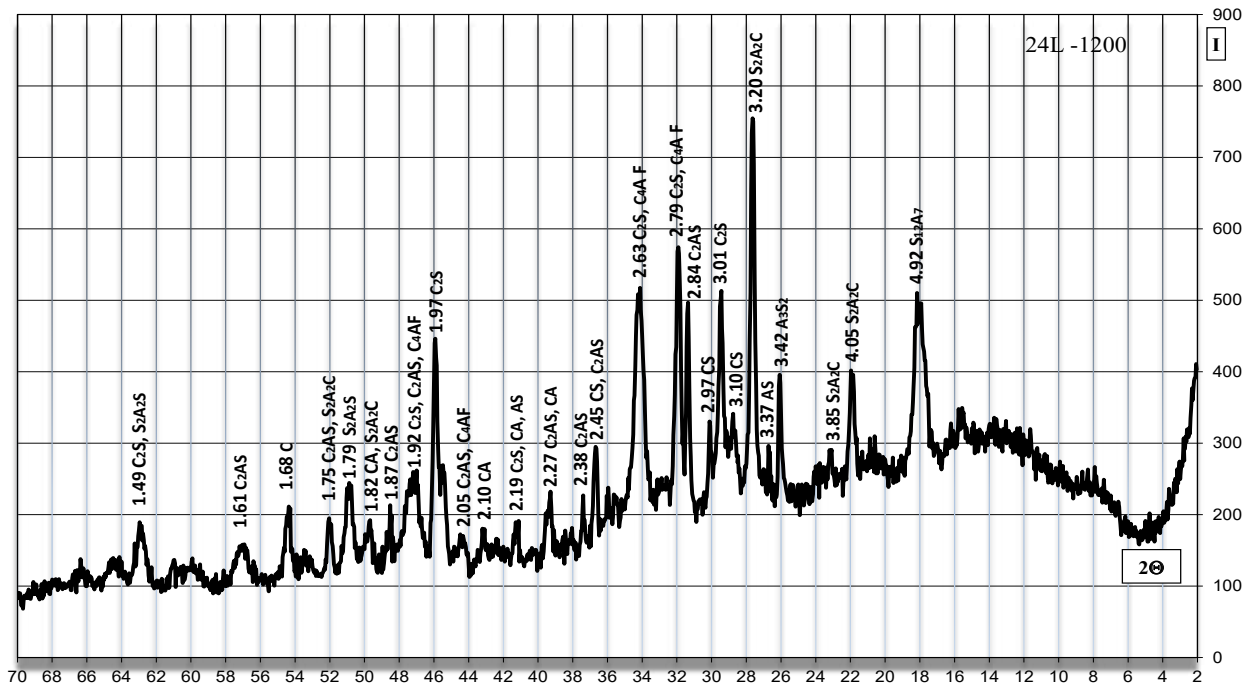


Рис. 4. Дифрактограма проби клінкеру 24L при випалі на 1200°C

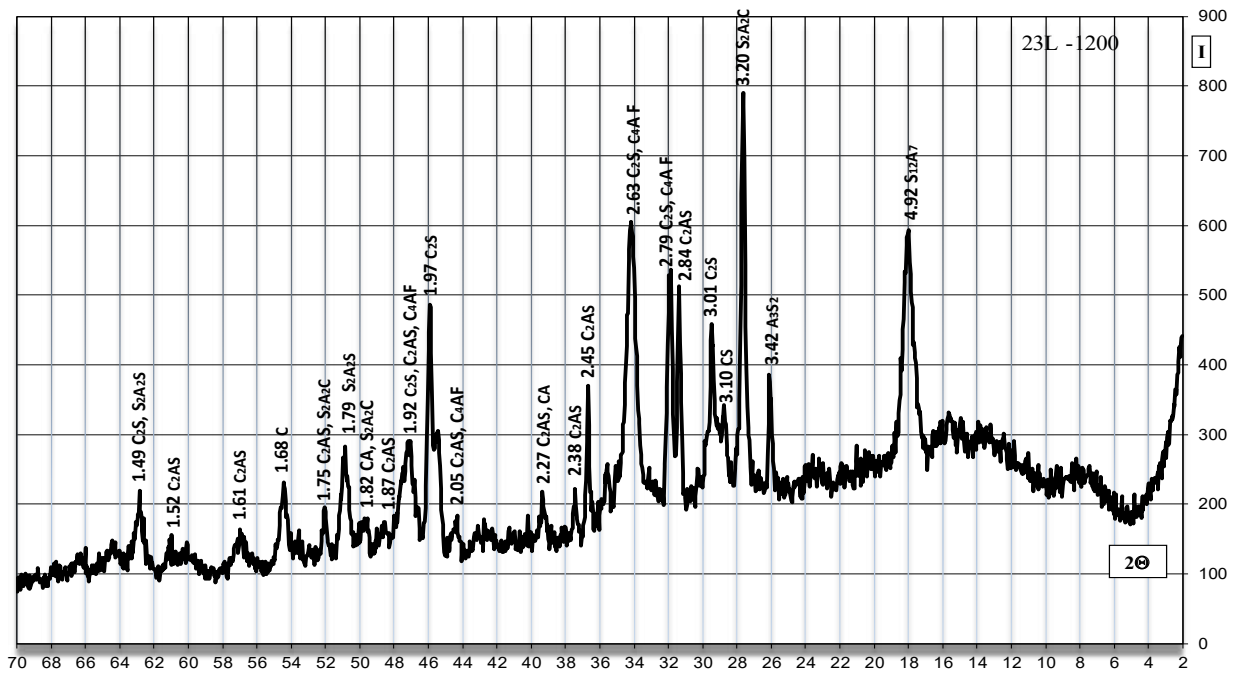


Рис. 5. Дифрактограма проби клінкеру 23L при випалі на 1200°C

відносяться до групи швидкоутворюючих (термін початку від 15 до 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий і глиноземистий цемент.

Після підвищення максимальної температури випалу до 1200°C проби відносяться до групи нормальнотужавіючих (термін початку від 45 хв. до

2 год), характерними представниками якої вважають портландцемент, пуцолановий цемент, шлакопортландцемент.

Висновки

1. Розробка та практичне використання мінеральних в'язучих низькотемпературного випалу на основі техногенної сировини сприяє комплексному

Властивості в'язучого матеріалу

Характеристики	Показники проб при температурі випалу, °С				
	1100		1200		
	23L	24 L	23L	24 L	
Тонкість помелу, залишок на ситі 008, мас. %	11,0	10,0	12,0	11,0	
Густина, %	35,0	35,0	33,0	33,0	
Терміни тужавлення, хв.	початок	35	30	60	65
	кінець	65	60	75	80
Міцність на стиск через 28 діб, МПа	31,5	30,2	34,0	35,6	

вирішенню питань ресурсозбереження і хімічної технології виробництва силікатних будівельних матеріалів. При цьому розширюється сировинна база промислового виробництва цементу та досягається можливість ефективної утилізації багатотоннажних відходів промисловості.

2. Визначені склади сировинної суміші на основі системи вапняк – рисова лузга – зола виносу із вмістом 52–61 мас. % відходів промисловості дозволяють отримати при максимальній температурі випалу 1100–1200°С

швидкотужавіючі та нормальнотужавіючі мінеральні в'язучі матеріали середньої міцності (30–35 МПа на стиск).

3. Необхідні фізико-механічні властивості цементу при низькотемпературному випалі із розроблених сумішей досягаються при формуванні системи типових клінкерних кристалічних фаз (силікатів кальцію CS , C_2S , алюмосилікату C_2AS і алюмінатів кальцію) та анортиту і муліту, пов'язаних з особливостями складу рисової лузги та золи виносу ТЕС.

Список літератури:

1. Удачкин И.Б., Пашенко А.А., Черняк Л.П., Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов. Київ, Будівельник, 1988. 104 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 363 с.
3. Ramesh M., Karthic K.S., Karthikeyan T., Kumaravel A. Construction Materials From Industrial Wastes-A Review of Current Practices. *International Journal of Environmental Research and Development*. 2014. V. 4. № 4. pp. 317-324.
4. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Сальник В.Г., Пахомова В.М., Сікорський О.О. Ресурсозбереження і сировинні матеріали силікатних виробництв. Навчальний посібник. Київ: КПП вид-во Політехніка», 2015. 92 с.
5. Черняк Л.П. Особливості структуроутворення дисперсних систем у технології портландцементу. *Технологический аудит и резервы производства*, 2013. Т.6. № 5(14). С. 8-10.
6. Allen David T., Nasrin Benmanesh Wastes as Raw Materials. *The Greening of Industrial Ecosystems*. Washington: National Academy Press, 1994. pp. 69-89.
7. Шабанова Г.М., Кисельова С.О., Шапка О.В. Використання промислових відходів при виготовленні силікатної цегли – шлях до поліпшення екологічної обстановки. *Коммунальное хозяйство городов*, Харьков: Основа, 2010. Вып. 91. С. 250-255.
8. Chernyak L. Industrial waste as a factor of increasing the chemscal resistance of ceramics. *Zastita Materijala*, 2022. Vol. 63 (2). pp. 177-182.
9. AshrafTeara, Doh Shu Ing, Vivian WY Tam The use of waste materials for concrete production in construction applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. Vol. 342. conference 1
10. Пашенко А.А., Мясникова Е.А., Евсютин Е.Р. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ. Киев: Вища шк. 1990. 223 с.
11. Rice Husk Ash Market. Електронний ресурс: <https://www.transparencymarketresearch.com/rice-husk-ash-market.html>
12. Sun L., Gong K. Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2001. No. 40. pp. 5861-5877.
13. Sutas J, Mana A., Pitak L. Effect of Rice Husk and Rice Husk Ash to Properties of Bricks. *Procedia Engineering*, 2012. V. 32. pp. 1061-1067.

14. Prasad C.S., Maiti K.N., Venugopal R. Effect of rice husk ash in whiteware compositions. *J Ceramics International*, 2001. N 27. pp. 629-635.
15. Hwang Chao-Lung, Bui Le Anh-Tuan, Chen Chun-Tsun Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *J Construction and Building Materials*, 2011. V. 25. pp. 3768-3772.
16. Chindaprasirt P., Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Constr. Build. Mater.*, 2008. 22 (8). pp. 1601-1606.
17. Sinsiri, P. Chindaprasirt Jaturapitakkul Ch. Influence of fly ash fineness and shape on the porosity and permeability of blended cement pastes. *Int J Miner Metal Mat*, 17 (2010). pp. 683-690.
18. Javed S. H., Mansha M., Kazmi M., Feroze N. Study of Rice Husk Ash as Potential Source of Acid Resistance Calcium Silicate. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2011. V.1. N 3. pp. 147-153.
19. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Сангінова О.В., Дорогань Н.О., Цибенко М.Ю. Програмне забезпечення технології низькотемпературних в'язучих матеріалів. *Строительные материалы и изделия*, 2017. № 1-2 (93). С. 22-24.

Dorogan N.O. ISSUES OF INDUSTRY WASTE DISPOSAL IN THE CHEMICAL TECHNOLOGY OF CEMENT

The article contains results of research on the use of industrial waste as the main raw material in the composition of the starting mixtures for the manufacture of cement in accordance with modern resource saving requirements. In the experimental work, the methods of physico-chemical analysis of silicates and standardized testing of the properties of mineral binding materials were comprehensively applied. The object of the study was raw material mixtures for the production of low-temperature fired cement ($\leq 1200^{\circ}\text{C}$) based on the system carbonate rock (limestone) – multi-ton industrial waste (rice husk and TPP fly ash). Calculations and analysis of probable compositions of raw mixtures with the maximum possible content of investigated industrial waste as man-made raw materials were performed using the «RomanCement» computer program. New compositions of starting raw material mixtures with a total content of 52 – 61 wt.% of the specified agro-industry and thermal energy waste were determined. At the maximum firing temperature of 1100-1200 $^{\circ}\text{C}$, fast-hardening and normal-hardening mineral binding materials of medium strength (30-35 MPa per compression) were produced. The peculiarities of the formation of the phase composition and properties of the mineral binder during firing with the specified maximum temperature and varying the quantitative ratio of the components in the composition of the initial mixture are shown. The relationship between the properties of cement from the developed mixtures and the formation during firing of a system of typical clinker crystalline phases (calcium silicates CS, C_2S , aluminosilicate C_2AS and calcium aluminates) and anorthite and mullite associated with the peculiarities of the composition of rice husk and TPP fly ash was noted. A conclusion was made about the possibility of effective utilization of the investigated multiton industrial waste as man-made raw materials for the production of mineral binders of low-temperature firing for a comprehensive solution to the issues of resource saving and chemical technology for the production of silicate building materials.

Key words: cement, rice husk, fly ash, raw mix, composition, firing, crystalline phases, property.

Єфімова В.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІТАМІНІЗОВАНОЇ КОСМЕТИЧНОЇ ОЛІЇ

В дослідженні показано, що одним з найважливіших напрямків розвитку косметичної промисловості є розробка нового покоління anti-age косметики, у складі якої присутні біологічно активні речовини рослинного походження. Дані роботи свідчать, що кожна рослина характеризується властивим лише йому складом біологічно активних речовин. В роботі проведено аналіз основних способів отримання натуральних екстрактів та підбору необхідного складу компонентів, що мають anti-age властивості.

Проведений літературний аналіз показав, що одним з механізмів старіння шкіри є зростаюча активність матриксних металопротеїназ дерми, які руйнують структурні елементи – колаген, еластин, що призводить до передчасної появи зморшок та втраті еластичності шкіри.

На першому етапі досліджень визначено інгібітори руйнування колагену та еластину, а також можливості одночасного введення каротиноїдів та токоферолів. У якості інгібіторів появи зморшок було обрано екстракти шкірки айви, коріню топінамбуру, калину, різні частини рослин ожини та жимолості. Проведено аналіз сировини за олійністю, вмістом каротиноїдів та токоферолів та рівнем інгібування еластази активності.

Встановлено, що екстракти з ягід та листя ожини містять інгібітор, який значно пригнічує протеолітичну активність, а отже з їх використанням можна створювати перспективні косметичні вироби, а також харчові добавок anti-age спрямованості.

Дослідження показали, що інгібування еластази активності екстрактів з ягід ожини та листя даної рослини було практично однаковим, тому в подальших дослідженнях було використано листя ожини.

В роботі показана доцільність отримання вітамінізованої рослинної олії, та доведена можливість оптимізування технологічного процесу варіння косметичного крему на стадії введення біологічно активних речовин.

Було відпрацьовано два способи отримання вітамінізованої оливкової олії, що збагачена біологічно активними речовинами з листя ожини із застосуванням екструзії та різними способами проведення процесу екстракції.

Встановлено, що найважливішим показником якості вітамінізованої олії є окислювальна стабільність. В роботі було досліджено окислювальну стабільність зразків продуктів вітамінізованої оливкової олії, яка була отримана за вдосконаленою технологією та порівняна з дезодорованою оливковою олією якості контрольної.

Встановлено, що окислювальна стабільність вітамінізованого масла залежно від температури ініційованого окислення зростає, а швидкість дифузії кисню в одиницю часу зменшується.

Дослідження перекісного числа показали, що процес первинного окислення перебігає однаково як і у контрольному зразку, але при тривалому зберіганні цей процес для дослідного зразка стабілізується на відміну контролю.

Отже в результаті проведеної роботи було відпрацьовано технологію отримання вітамінізованої оливкової олії для подальшого використання у рецептурах косметичних засобів anti-age спрямування.

Ключові слова: біологічно активні речовини, листя ожини, перекисне число, олійність, екструзія, токоферолі.

Постановка проблеми в загальному вигляді. На сьогоднішній день одним з найважливіших напрямків розвитку косметичної промисловості є розробка нового покоління anti-age косметики функціонального призначення. Невід'ємною частиною цієї продукції є біологічно активні речовини (БАВ), основним джерелом яких є рослини. Кожна рослина характеризується збалансованим

та властивим лише йому складом біологічно активних речовин. Розробка нових косметичних засобів полягає у правильному способі отримання натуральних екстрактів та підбору необхідного складу компонентів, що мають задані властивості.

В останні роки увагу вчених привернув ще один механізм (з ним пов'язують появу типових симптомів старіння шкіри таких, як зморшки,

зниження еластичності) – зростаюча активність матриксних металопротеїназ дерми (ММД), які руйнують компоненти позаклітинної матриці, у тому числі її основні структурні елементи – колаген, еластин. Прямим наслідком того, що ММД активно руйнують матрицю дерми, є передчасна поява зморшок та втрата еластичності шкіри.

Отже актуальність та обґрунтованість дослідження полягає в пошуку активних інгредієнтів рослинного походження, що розширюють можливості створення anti-age косметичних виробів нового покоління. При цьому особливу актуальності набувають комплексні дослідження, спрямовані на вдосконалення та оптимізацію технологічних параметрів процесів вилучення біологічно активних речовин із сировини та створення нових емульсійних кремів функціонального призначення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Науковці протягом багатьох років працюють над створенням косметичної продукції anti-age спрямування з використанням натуральних компонентів природного походження [1-3]. Починаючи з 2000-х років почався так званий «бум рослинних екстрактів». В моду увійшли косметичні засоби на основі екстракту корисних рослин. Новинка виявилась ефективним засобом, що омолоджує та регенерувала шкіру.

За даними робіт [4] екстракти корисних рослин є природним джерелом, що дозволяє шкірі виробляти натуральні активні речовини, брати участь у синтезі колагену та еластину, сприяти загоюванню та регенерації шкіри. В дослідженнях [5] показана спроможність екстрактів корисних рослин прискорювати регенерацію шкіри при захворюванні гострим дерматитом, а також чинить антибактеріальну дію.

Дані роботи [6] свідчать, що використання олій збагачених екстрактами корисних рослин у складі емульсійних косметичних продуктів є перспективним напрямком наукового дослідження.

Але на сьогоднішній день немає обґрунтованого наукового підходу отримання вітамінізованих та збагачених екстрактами корисних рослин олій, що використовуються при виробництві косметичних продуктів. Отже пошук перспективних джерел біологічно активних речовин цільового призначення для створення anti-age косметичних виробів, а також розробка вітамінізованого масла для виробництва косметичних засобів є актуальною науковою задачею.

Формування цілей статті. Скринінг рослинної сировини з метою виявлення компонентів для одержання інгібіторних комплексів, які запобі-

гають руйнуванню колагену та еластану, а також підвищення ефективності вилучення вітамінів (каротиноїдів та токоферолів) з рослинної сировини за допомогою олійно-спиртової екстракції. Вдосконалення технології отримання вітамінізованої олії, яка використовується у виробництві косметичних продуктів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Первинною метою досліджень було проведення пошуку джерел інгібування ММД, як засобу запобігання руйнуванню матриксу дерми, а також можливості одночасного введення каротиноїдів та токоферолів.

Об'єктами дослідження були рослинні екстракти. Сировину екстрагували при температурі 40°C протягом 3 годин при концентрації сировини : 40% спирт = 2:3.

Як перспективні джерела інгібіторів ММР були досліджені шкірка айви, корінь топінамбуру, калина, різні частини рослин ожини та жимолості. Сировину аналізували за олійністю, вмістом каротиноїдів та токоферолів та рівнем інгібування еластазної активності. Дані досліджень наведено у Таблиці 1.

Аналіз даних таблиці 1 показує, що сировина значно відрізняється за олійністю.

Такі види сировини, як шкірка айви, мають дуже незначну олійність, що не перевищує 2,4%. Для таких видів сировини, як корінь топінамбуру, жимолость цей показник становить 10–15%.

Вміст токоферолів досить високий у всіх досліджених видах.

Цікаво відзначити, що у більшості видів сировини цей показник вищий, ніж у класичного джерела токоферолів – зародків пшениці. Найбільш багаті токоферолами ягоди та жом жимолості. У жому жимолості знайдено токоферолів до 166 мг/г сухих речовин (СР), так що цей вид сировини є вітамінним препаратом. Для лабораторних досліджень властивостей інгібітору ММД використовували еластазу (Elastase from Human leukocytes EC 3.4.21.37), активність якої опосередковано показує результат переходу ММД в активний стан і, отже, активність протеїназ.

Найбільше пригнічення еластазної активності спостерігалось при внесенні в інкубаційну суміш 0,3% екстракту з листя ожини та ягід ожини, активність їх становила 28 та 25% відповідно від активності 0,1% розчину еластази, що у свою чергу робить ці об'єкти цікавими для подальшого дослідження.

Тобто екстракти з ягід та листя ожини містять інгібітор, що значно пригнічує протеолітичну

активність, що у свою чергу робить дані продукти перспективні не тільки для косметичних виробів, а й для створення харчових добавок anti-age спрямованості. Тому наступним етапом досліджень стало вивчення властивостей екстрактів різних складових частин ожини.

Склад та властивості екстрактів з різних частин однієї і тієї ж рослини можуть сильно відрізнятися. В наші дні цілющі властивості багатьох добре відомих рослин заново відкриваються та аналізуються.

Ожина (*Rubus fruticosus*) відноситься до сімейства розоцвітих (*Rosaceae*). Ожина культивується як харчова рослина, головною її перевагою є їстівні ароматні чорні або темно-фіолетові ягоди. Листя ожини знаходять застосування у традиційній медицині, відвар з листя, завдяки своїм в'язучим властивостям, є ефективним засобом при лікуванні діареї та запаленні горла.

Інгібування еластазної активності екстрактів з ягід ожини та листя даної рослини було практично однаковим, тому для подальших пошуків для косметичних виробів, спираючись на економічну доцільність, нами було взято екстракт із листя ожини. Хімічний склад листя ожини характеризується наявністю поліфенольних сполук, таких, як еллагіва кислота, гідролізовані таніни

(еллагатанини, глікозиди флавоноїдів) та пентациклічні третинні кислоти.

Інгібуюча дія екстракту з листя ожини, отриманого після вакуум-випарювання спирту з екстракту на роторному випарнику, вивчали за допомогою введення концентрату в реакційну суміш еластину за допомогою гомогенізації двох вищезгаданих компонентів.

Приготований субстрат використовували для оцінювання інгібування активності еластази (*Elastase from Human leukocytes EC 3.4.21.37*). Отримані результати представлені у таблиці 2.

Вплив окремих складових фракціонування екстракту на ферментативну активність еластази показав, що ефект, що спостерігається, не можна приписати лише якомусь окремому з'єднанню.

Таким чином, було виділено з листя ожини складний за своїм складом інгібітор, який, ефективно впливає на активність еластази. Однак, використання значної кількості спирту при екстракції та відносно невелике накопичення цільових продуктів в екстракті поставило завдання оптимізації процесу за рахунок екструзії листя ожини, з метою забезпечення глибокої деструкції біополімерів сировини та підвищення її доступності при екстракції.

Доцільність отримання вітамінізованої рослинної олії, що містить інгібітор ММД, визнача-

Таблиця 1

Характеристика рослинної сировини

Вид сировини	Олійність, % до СР	Вміст, мг/г СР		Інгібування еластазної активності, %
		токоферолів	каротиноїдів	
Шкірка айви	2,32±0,06	6,64±0,05	0,032±0,004	5,0±0,4
Корінь топінамбуру	10,1±7,25	10,42±1,15	0,225±0,005	7,0±0,4
Калина	16,25±2,0	23,33±0,55	2,043±0,05	сліди
Ожина ягоди	5,7±1,05	12,28±0,05	0,108±0,005	25,0±0,08
Ожина листя	7,18±1,0	9,76±1,05	0,110±0,005	28,0±0,07
Ожина жом	2,29±0,55	2,25±5,5	0,045±0,005	5,0±0,4
Жимолость ягода	3,87±1,05	153,6±12,5	0,209±0,004	7,0±0,5
Жимолость листя	10,7±1,65	29,32±2,0	0,891±0,005	сліди
Жимолость жом	12,29±0,55	112,25±15,5	0,145±0,005	5,0±0,4

Таблиця 2

Результати досліджень інгібуючої дії концентрату з листя ожини

Відсоток вводу концентрату в реакційну суміш, %	Параметри ферментативної реакції		Активність еластази, Ммоль·хв/мг білка	Інгібуюча властивість, %
	pH	t, °C		
Контроль субстрата (еластин)	6,5	37	22,0±0,05	0
0,1			20,0±0,05	28
0,3			18,0±0,05	29
0,5			12,0±0,05	32
1,0			10,0±0,05	55
10,0			3,0±0,05	87

ється можливістю оптимізування технологічного процесу варіння косметичного крему на стадії введення БАР у рецептурний склад. Для цього, у якості вихідної фази олії було обрано дезодоровану оливкову олію та проведено порівняльну оцінку можливості отримання вітамінізованої олії за двома технологічними схемами.

За першим способом листя ожини піддавалися екструзії з отриманням екструдату. Далі відбувалася екстракція етанолом з наступним настоюванням на протязі 3 – х годин та фільтрація з отриманням екстракту. Потім до отриманого екстракту додавали дезодоровану оливкову олію та проводили перемішування з наступним вакуум випарюванням.

За другим способом до отриманого екструдату додавали етанол та рафіновану олію, перемішували, настоювали на протязі 3-х годин, далі фільтрували та проводили вакуум випарювання, в результаті чого було отримано вітамінізовану олію.

У таблиці 3 представлені якісні та кількісні показники отриманої за різними технологічними схемами вітамінізованої олії.

Дані Таблиці 3 свідчать, що схема 2 є найбільш оптимальною технологією отримання вітамінізованої олії з інгібітором ММД. Оптимальними параметрами технології отримання вітамінізованої рослинної олії – це вологість вихідної сировини 20%, швидкість обертання шнеків екструзійної машини – 170 об/хв, екстрагування 40% етанолом (2:3) у присутності дезодорованої олії (1:1), настоювання протягом 3 годин при 40°C.

Отже в результаті проведених досліджень отримано вітамінізовану олію, що містить у своєму складі в 14 разів більше каротиноїдів, ніж у вихідній дезодорованій олії, і на 43% більше токоферолів. Поряд із в отриманням продукту, що містить інгібітор ММД, який дозволяє досягти 89% пригнічення еластази при введенні 0,1%. Оскільки еластаза була модельною системою

матричних металопротеаз, можна сказати, що запропонований продукт буде ефективний при використанні як у косметичних засобах що запобігають старінню шкіри, так і в харчових добавках для підтримання тонуусу організму.

Відомо, що найважливішим показником якості вітамінізованої олії є окислювальна стабільність. Тому подальшим етапом досліджень було визначення окислювальної стабільності зразків продукту за пропонованою технологією та дезодорованої оливкової олії, взятої як контролю.

При дослідженні окислювальної стабільності зразків олій, залежно від температури ініційованого окислення (70–75°C) встановлено, що час окислювальної стабільності вітамінізованого масла, отриманого по розробленому способу, збільшився на 55 хвилин, при цьому швидкість дифузії кисню в одиницю часу зменшилася в 1,5 рази.

Результати дослідження окислювальної стабільності при зберіганні протягом 180 діб за температури 20±2°C наведено у таблиці 4. Аналіз отриманих даних дослідження зміни перекисного числа показав, що процес первинного окислення у зразку, отриманому за пропонованою технологією, протікав практично однаково, з тією різницею, що при тривалому зберіганні цей процес для дослідного зразка стабілізується на відміну контролю.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень.

Проведено комплексні дослідження з пошуку перспективних джерел біологічно активних речовин цільового призначення для створення anti-age косметичних виробів. Розроблено та науково обґрунтовану технологію отримання вітамінізованої рослинної олії з екстрактом листя ожини, що містить інгібітор процесів руйнування колагену та еластину, які отримані з вихідної сировини.

Таблиця 3

Якісні та кількісні показники вітамінізованої рослинної олії

Найменування показника	Кислотне число, мг КОН	Масова доля вологих та летких речовин, %	Перекисне число, ммоль ½O/кг	Кольорове число, мг йоду у 100 см³	Вміст вітамінів		Інгібування еластазної активності, %
					Каротиноїди, мг/%	Токофероли, мг/%	
Дезодорована оливкова олія	0,18	0,07	0,5	5	0,58	101,0	
1 спосіб							
Листи ожини	0,2	0,12	0,5	7	8,42	122,0	78,0
2 спосіб							
Листи ожини	0,2	0,14	0,6	7	15,4	144,8	89,0

Показники окислювальної стабільності вітамінізованої оливкової олії

Дезодорована оливкова олія			Вітамінізована рослинна олія		
Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анідинове число, од	Степінь окиснення «totox», од	Перекисне число, ммоль ½О/кг	Анідинове число, од	Степінь окиснення «totox», од
Час зберігання 3 доби					
0,5	0,7	1,7	0,6	0,7	1,9
Час зберігання 50 діб					
0,6	1,0	2,2	0,9	1,2	3,0
Час зберігання 100 діб					
0,9	1,5	3,3	1,6	2,0	4,2
Час зберігання 140 діб					
1,6	2,4	5,6	3,0	2,5	8,5
Час зберігання 180 діб					
2,5	3,0	8,0	3,2	2,5	8,9

Список літератури:

1. Trauer S., Lademann J., Knorr F., Richter H., Liebsch M., Rozycki C., Balizs G., Büttemeyer R., Linscheid M., Patzelt A. Development of an in vitro modified skin absorption test for the investigation of the follicular penetration pathway of caffeine. *Skin Pharmacol Physiol*. 2022. № 23 (6). P. 67–81.
2. Plat J., S. Baumgartner, T. Vanmierlo Plant-based sterols and stanols in health & disease: “consequences of human development in a plant-based environment?”. 2021. *Progress in Lipid Research*. №2. P. 87–102.
3. Alvarez-Sala, A., Attanzio, A., Tesoriere, L., Garcia-Llatas, G., Barberá, R., and Cilla, A. Apoptotic effect of a phytosterol-ingredient and its main phytosterol (β -sitosterol) in human cancer cell lines. 2020. *International journal food science nutrition*. № 1. P. 323–334.
4. Alvarez-Sala, A., Garcia-Llatas, G., Cilla, A., Barberá, R., Sánchez-Siles, L. M., and Lagarda, M. J. Impact of lipid components and emulsifiers on plant sterols bioaccessibility from milk-based fruit beverages. 2016. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. № 4. P. 5686–5691.
5. Alvarez-Sala, A., Ávila-Gálvez, M. A., Cilla, A., Barberá, R., Garcia-Llatas, G., Espín, J. C. Physiological concentrations of phytosterols enhance the apoptotic effects of 5-fluorouracil in colon cancer cells. 2018. *Journal of Functional Foods*. № 3. P. 52–60.
6. Yildirim O. E. Analysis of the drop weight method / O. E. Yildirim, O. A. Basaran. *Physics of Fluids*. 2005. Vol. 15. P. 23–35.

Yefimova V.G. DEVELOPMENT OF VITAMINIZED COSMETIC OIL PRODUCTION TECHNOLOGY

The study shows that one of the most important directions of the development of the cosmetics industry is the development of a new generation of anti-age cosmetics, which contain biologically active substances of plant origin. The data of the work show that each plant is characterized by its unique composition of biologically active substances. The paper analyzes the main methods of obtaining natural extracts and selecting the necessary composition of components with anti-aging properties.

The conducted literature analysis showed that one of the mechanisms of skin aging is the increasing activity of matrix metalloproteinases of the dermis, which destroy structural elements – collagen, elastin, which leads to the premature appearance of wrinkles and loss of skin elasticity.

The raw material was analyzed for oil content, carotenoid and tocopherol content, and the level of inhibition of elastase activity.

It has been established that blackberry berry and leaf extracts contain an inhibitor that significantly suppresses proteolytic activity, and therefore, with their use, it is possible to create promising cosmetic products, as well as anti-aging nutritional supplements.

The work shows the expediency of obtaining vitaminized vegetable oil, and the possibility of optimizing the technological process of cooking cosmetic cream at the stage of introduction of biologically active substances is proven.

It was established that the most important indicator of the quality of vitaminized oil is oxidative stability.

It was established that the oxidative stability of vitaminized oil increases depending on the temperature of the initiated oxidation, and the rate of oxygen diffusion per unit time decreases.

Studies of the skew number showed that the process of primary oxidation proceeds in the same way as for the control sample, but during long-term storage, this process stabilizes for the test sample, unlike the control.

Therefore, as a result of the work carried out, the technology of obtaining vitaminized olive oil was developed for further use in the formulations of anti-aging cosmetics.

Key words: biologically active substances, blackberry leaves, peroxide value, oiliness, extrusion, tocopherols.

Лебедєв В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Мірошниченко Д.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Савченко Д.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Литвиненко Є.І.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Соловей Л.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІБРИДНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ГУМІНОВИХ КИСЛОТ ТА РЕЧОВИН БУРОГО ВУГІЛЛЯ

У дослідженні розглянуто напрям непаливного використання бурого вугілля за для одержання гібридних матеріалів в використанні його похідних у вигляді гумінових кислот та речовин. Мета статті - дослідження особливостей гібридної функціональності гумінових кислот та речовин бурого вугілля. Було встановлено, що в гумінових кислотах бурого вугілля превалюють карбоксильна та фенольна групи, також в значній кількості присутні карбонільна та гідроксильна групи. Карбоксильні групи мають потенціал до зв'язування з відповідними іонними точками різноманітних біодеградабельних матеріалів, що також відбувається з гідроксильними фенольними групами. Карбоксильні групи гумінових кислот бурого вугілля дуже цікаві, оскільки вони є групами, які надають основні хімічні властивості гумінових кислот бурого вугілля і тому, що вони можуть утворювати електростатичні зв'язки, хоча важко визначити точки, в яких утворюються зв'язки між карбоксильними групами гумінових кислот бурого вугілля і різноманітними біодеградабельними матеріалами. Крім того, ці групи здебільшого координаційно зв'язуються з неіонізованими точками різноманітних біодеградабельних матеріалів, як у випадку зв'язків -CONH- пептидних груп. Результатом цих зв'язків є, з одного боку, безліч точок зв'язування, що забезпечує стабільність різноманітних біодеградабельних матеріалів, отриманих в результаті взаємодії з гуміновими кислотами бурого вугілля. В результаті проведених досліджень встановлено, що наявність різноманітних реакційно-здатних функціональних груп є індикатором реакційної здатності гумінових кислот бурого вугілля в напрямі їх гібридної функціональної модифікації відносно різноманітних біодеградабельних матеріалів: біополімерів, похідних целюлози, біопластиків та композитів на їх основі. Групи, які здатні реагувати з амініями і карбоновими групами різноманітних біодеградабельних матеріалів є найбільш важливими. Також було встановлено, що для сухих гумінових речовин бурого вугілля усіх досліджених типів, характерне полідисперсний розмір часток, який становить від 52 до 380 нм.

Ключові слова: буре вугілля, гумінові кислоти, гумінові речовини, гібридна функціональність, групи, властивості.

Постановка проблеми. Сьогодні неенергетичне та непаливне використання копалин бурого вугілля відноситься до найбільш перспективних напрямів сучасної економіки. Це пов'язане з тим, що воно має відносно низьку теплотворну здатність і високу зольність [1]. В результаті окислення цінні властивості бурого вугілля, як викопного палива погіршуються, що

призводить до надзвичайно швидкого дроблення та низької теплотворної здатності [2]. Через те його паливний напрям переробки не є оптимальним шляхом його корисного використання [3]. Саме тому застосування бурого вугілля та його похідних для одержання матеріалів різної функціональності є дуже актуальним у таких сферах, як технології сорбентів, біополімерних компози-

тів, радикальні та фотохімічні процеси в присутності бурого вугілля та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі літературного огляду було доведено високу актуальність використання похідних бурого вугілля у вигляді гумінових речовин та кислот за для модифікацію різних матеріалів [4, 5]. Одним з перспективних, але практично не досліджених, напрямків використання бурого вугілля та його похідних для модифікації різнофункціональних біодеградабельних матеріалів з метою покращення комплексу їх властивостей та забезпечення екологічної безпеки. Буре вугілля та його похідні активно досліджуються для використання наповнення полімерів з двох причин. По-перше, вони можуть служити регулятором стабільності полімеру, тобто контролювати термін служби полімеру. По-друге, буре вугілля може та його похідні бути сприятливим для самої функціональної спрямованості полімерного матеріалу. Наприклад, буре вугілля та його похідні може бути частиною мультяючої плівки, де вони може поглинати тепло та воду, а також служити добривом для ґрунту [6-7]. Частина досліджень бурого вугілля була зосереджена на біодеградацію поліуретанових пін різними мікроорганізмами. Буре вугілля було змішано з поліоліним компонентом кількох комерційних м'яких і твердих пін. Пінопласти, що містять буре вугілля в діапазоні 1–5%, були піддані випробуванням на здатність до біологічного розкладання та порівнюванню з немодифікованими поліуретановими пінами. Аеробні мікроорганізми – змішана культура термофільних бактерій і чистих культур цвілі *Phanerochaete chrysosporium* і дріжджів. Для експериментів з біодеградації використовували *Aureobasidium pullulans*. Модифіковані бурим вугіллям пінополіуретани культивували в присутності цих культур при постійному струшуванні протягом 3-тижневого експерименту. Через регулярні проміжки часу спостерігали за характеристиками росту, хімічним споживанням кисню, мікроскопією поверхні та деякими механічними властивостями. Попередні результати показали, що додавання бурого вугілля до пінополіуретану може призвести до підвищення механічної стабільності та вищої адсорбції мікроорганізмів на поверхні модифікованої піни порівняно з еталонною піною. Кращу механічну стабільність модифікованої піни спостерігали після додавання 5% бурого вугілля [8]. Однак, не дивлячись на наявність досліджень з модифікації різних типів полімерних матеріалів бурим вугіллям та його похідними, існує подальша необхід-

ність в вивченні хімічно-фізичних особливостей гібридної функціональності цих речовин по відношенню широкого кола матеріалів.

Постановка завдання. Отже, метою статті є дослідження – дослідження особливостей гібридної функціональності гумінових кислот та речовин бурого вугілля.

Виклад основного матеріалу дослідження. В таблиці 1 наведена характеристика дослідних зразків вугілля різного ступеня метаморфізму [13, 14].

Таблиця 1

Технічний аналіз бурого вугілля*

Зразок вугілля	Технічний аналіз, %			
	W^a	A^d	S^d_t	V^d
1	16,8	48,7	2,50	29,1
2	8,1	8,3	1,87	43,7
3	30,6	36,7	4,00	43,7

W^a – волога на аналітичний стан, %; A^d – зольність на сухий стан, %; S^d_t – вміст сірки на сухий стан, %; V^d – вихід летких речовин на сухий беззольний стан, %.

Необхідно зазначити, що зразки вугілля дещо різняться, а саме: вміст аналітичної вологи коливається від 8,1 до 30,6%; зольність від 8,3 до 48,7%; вміст загальної сірки від 1,87 до 4,00%; вихід летких речовин від 29,1 до 43,7%. Показники елементного аналізу та виходу гумінових кислот коливаються в залежності від виходу летких речовин. Проведено дослідження методом ІЧ-аналізу для визначення найбільш характерних функціональних груп гумінових кислот бурого вугілля – рис. 1. У табл. 2 представлені основні спектральні смуги трьох різних досліджених гумінових кислот бурого вугілля. Серед кисневмісних реакційно-здатних груп, які, як очікується, будуть знайдені в гумінових кислотах бурого вугілля (карбоксыльна, гідроксифенольна, гідроксыльна, карбонільна, хінонова, естерна, ацетальна, лактона і етерна) заслуговують на увагу не лише через рівень присутні, але також їх реактивності з реакційно-здатними групами різноманітних біодеградабельних матеріалів. Карбоксыльні групи зв'язуються з відповідними іонними точками різноманітних біодеградабельних матеріалів, що також відбувається з гідроксыльними фенольними групами.

Крім того, вони здебільшого координаційно зв'язуються з неіонізованими точками різноманітних біодеградабельних матеріалів, як у випадку зв'язків -CONH- (пептидних груп). Результатом цих зв'язків є, з одного боку, безліч точок

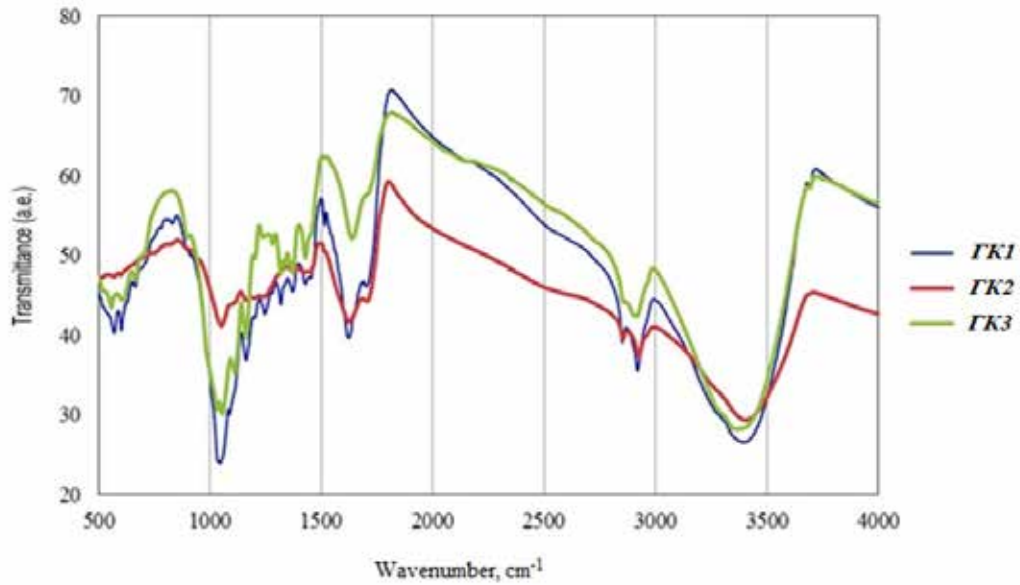


Рис. 1. ІЧ-спектри ГК з різних типів гумінових кислот з бурого вугілля

зв'язування, що забезпечує стабільність різноманітних біодеградабельних матеріалів, отриманих в результаті взаємодії з гуміновими кислотами бурого вугілля.

Таблиця 2

ІЧ спектральні характеристики ГК бурого вугілля

Хвильове число діапазон (см ⁻¹)	Функціональні групи
3380–340	фенольні –ОН гідроксил групи
2920–2940	Аліфатичні смуги С – Н
1650–1660	Коливання νC=O
1590–1650	NH ₂ деформаційні
1540–1580	Асиметричні νCOO– карбоксильні
1380–1400	Симетричні νCOO– карбоксильні
1100	νCO (фенольні), νОН (аліфатичні)
1040	νC–N
1005	νCO
910	зміщені по фазі δCH (ароматичні)

Карбоксильні групи гумінових кислот бурого вугілля дуже цікаві, оскільки вони є групами, які надають основні хімічні властивості гумінових кислот бурого вугілля і тому, що вони можуть утворювати електростатичні зв'язки, хоча важко визначити точки, в яких утворюються зв'язки між карбоксильними групами гумінових кислот бурого вугілля і різноманітними біодеградабельними матеріалами. Таким чином, було встанов-

лено, що в гумінових кислот бурого вугілля пре-валюють карбоксильна та фенольна групи, також в значній кількості присутні карбонільна та гідроксильна групи.

Наявність реакційно-здатних функціональних груп є індикатором реакційної здатності гумінових кислот бурого вугілля в напрямі їх гібридної функціональної модифікації відносно різноманітних біодеградабельних матеріалів: біополімерів, похідних целюлози, біопластиків та композитів на їх основі. Групи, які здатні реагувати з амініними (основними) і карбоновими (кислотними) групами різноманітних біодеградабельних матеріалів є найбільш важливими.

Далі дослідження бурого вугілля було направлено на одержання з нього гумінових речовин у сухому вигляді з метою використання також в якості гібридних модифікаторів при одержанні композитних матеріалів.

На рис. 2 наведені світліни екстракту сухих гумінових речовин бурого вугілля.



Рис. 2. Осаджені на паперовий фільтр гумінові речовини бурого вугілля

Характеристика частинок сухих гумінових речовин бурого вугілля у поліелектролітних дисперсіях

Зразок гумінових речовин	C, g mL ⁻¹	Розмір (стандартне відхилення ±), нм	Полідисперсність (стандартне відхилення ±)
1	3.5×10^{-4}	270 ± 22	0.93 ± 0.07
	3.6×10^{-5}	52 ± 2	1.00 ± 0.04
2	3.6×10^{-4}	368 ± 240	0.41 ± 0.02
	6.4×10^{-5}	310 ± 120	0.39 ± 0.08
3	3.5×10^{-4}	380 ± 25	0.94 ± 0.07
	3.6×10^{-5}	60 ± 9	1.00 ± 0.01

Виходячи з того, що одержані сухі гумінові речовини бурого вугілля візуально представляли дуже дрібнодисперсні частинки, то було проведено дослідження з метою визначення їх розмірів. Було проведено дослідження з визначення розмірів дисперсних часток ГР бурого вугілля методом DLS. Оскільки розмір частинок в дисперсійній системі залежить від концентрації, дослідження проводили з розчинами різних концентрацій – табл. 3.

На підставі аналізу, було встановлено, що для сухих гумінових речовин бурого вугілля усіх досліджених типів, характерне полідисперсний розмір часток, який становить від 52 до 380 нм.

Висновки. В рамках проведених якісних, кількісних та спектроскопічних аналізів гумінових кислот різних типів бурого вугілля доведено, що за рахунок наявності великої кількості різних функціональних груп в їх складі, такі гумінові похідні бурого вугілля мають значну гібридну функціональність. Наявність великої кількості різних функціональних груп визначає здатність гумі-

нових кислот бурого вугілля виступати гібридним модифікатором по відношенню до широкого кола речовин за рахунок таких механізмів: хімічної взаємодії, диполь-дипольної взаємодії у вигляді систем водневих зв'язків та викликати конфірмаційних змін структури.

Відмічено, що у гумінових кислотах бурого вугілля, однією з найважливіших властивостей молекулярної структури є полярність. Також встановлено, що високу гібридну функціональність гумінових кислот зумовлює їх полярність, яка значною мірою підвищує реактивність активних периферичних груп. Гідроксифенольні групи матимуть основні групи різноманітних біодеградабельних матеріалів як першу можливість для гібридної реакції через електростатичні зв'язки. Групи, які не є іонізованими (завдяки рН), також матимуть можливість скоординовано зв'язуватися з неіонізованими пептидними групами -CONH- різноманітних біодеградабельних матеріалів та через водневі зв'язки фенольних груп з активними групами.

Список літератури:

1. Stevens F.J., Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. - New York. John Wiley and Sons. 1994.
2. Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil substances: The new view. *Environmental Science & Technology*, 2005. Vol. 39. P. 900–915.
3. Дриженко А.Ю., Шустов О.О. Буре вугілля України: умови залягання та перспективи освоєння : навч. посіб. Дніпропетровськ: НГУ, 2015. 332 с.
4. Lebedev V., Miroshnichenko D., Xiaobin Z., Pyshyev S., Savchenko D. Technological Properties of Polymers Obtained from Humic Acids of Ukrainian Lignite. *Petroleum and Coal* . 2021. Vol. 63 (3). P. 646–654.
5. Lebedev V., Miroshnichenko D., Xiaobin Zhang, , Pyshyev S., Savchenko D., Nikolaichuk Y. Use of Humic Acids from Low-Grade Metamorphism Coal for the Modification of Biofilms Based on Polyvinyl Alcohol. *Petroleum and Coal*. 2021. № 63 (4). P. 953–962.
6. Klimovič, M. ans Pekař, M.: Untypical rheological behaviour of the lignite- carboxymethylcellulosewater dispersion system. *Colloid Polymer Science*. 2007. Vol. 285. P. 865–872.
7. Kučerík J., Bakalová B., Pekař M., Antioxidant effect of lignite humic acids and its salts on the thermooxidative stability/degradation of polyvinyl alcohol blends. *Environmental Chemistry Letters*. 2008. Vol. 6. P. 241–245.
8. Pekař M., Klučáková M., Omelka L., Veselý M., Non-traditional application of lignite from the view of a physical chemist In: VI. Pracovní setkání fyzikálních chemiků a elektrochemiků. *Sborník příspěvků. Masarykova univerzita v Brně*. 2006. P. 88–89.

Lebedev V.V., Miroshnichenko D.V., Savchenko D.O., Litvinenko I.I., Solovey L.V.

STUDY OF THE FEATURES OF THE HYBRID FUNCTIONALITY OF HUMIC ACIDS AND BROWN COAL SUBSTANCES

The study considered the direction of non-fuel use of lignite for the production of hybrid materials using its derivatives in the form of humic acids and substances. The purpose of the article is to study the peculiarities of the hybrid functionality of humic acids and lignite substances. It was established that carboxyl and phenolic groups prevail in the humic acids of lignite, and carbonyl and hydroxyl groups are also present in significant quantities. Carboxyl groups have the potential to bind to the corresponding ionic points of a variety of biodegradable materials, which also happens with hydroxyl phenolic groups. The carboxyl groups of lignite humic acids are of great interest because they are the groups that confer the main chemical properties of lignite humic acids and because they can form electrostatic bonds, although it is difficult to determine the points at which bonds form between the carboxyl groups of humic acids. lignite acids and various biodegradable materials. In addition, these groups mostly coordinatively bind to non-ionized points of various biodegradable materials, as in the case of -CONH- bonds of peptide groups. The result of these connections is, on the one hand, a multitude of binding points, which ensures the stability of various biodegradable materials obtained as a result of interaction with lignite humic acids. As a result of the research, it was found that the presence of various reactive functional groups is an indicator of the reactivity of lignite humic acids in the direction of their hybrid functional modification with respect to various biodegradable materials: biopolymers, cellulose derivatives, bioplastics and composites based on them. Groups that are able to react with amine and carbonyl groups of various biodegradable materials are the most important. It was also established that dry humic substances of lignite of all studied types are characterized by a polydisperse particle size ranging from 52 to 380 nm.

Key words: brown coal, humic acids, humic substances, hybrid functionality, groups, properties.

УДК 621.35

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/05>**Майзеліс А.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Славова А.А.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СПІВОСАДЖЕННЯ ЦИНКУ З НІКЕЛЕМ В ПІРОФОСФАТНО-ЦИТРАТНОМУ ЕЛЕКТРОЛІТІ

Для захисту сталевих виробів від корозії часто використовують цинкове покриття. Однак у суворих умовах експлуатації та при високій температурі його стійкість до корозії недостатня. Тому, для забезпечення більш тривалого терміну захисту сталевих виробів, а також на заміну токсичним кадмієвим покриттям у різних галузях промисловості використовують покриття сплавом цинк-нікель завдяки їх підвищеній корозійній стійкості та механічним характеристикам, які в значному ступені залежать від умов електроосадження. Стаття присвячена дослідженню електрохімічних закономірностей роздільного і сумісного виділення цинку і нікелю з пірофосфатно-цитратного електроліту з визначенням ефективності цих процесів для оптимізації режиму електроосадження покриттів сплавом цинк-нікель. Об'єкт досліджень – електродні процеси в пірофосфатно-цитратному електроліті для осадження покриттів сплавом цинк-нікель. Використані методи циклічної вольтамперометрії (ЦВА) та анодної стріпінг-вольтамперометрії за допомогою потенціостату MTech SPG-500L. Виявлено, що нікель виділяється в сплав з надполяризацією, а цинк – з деполаризацією. Розряд цинку в сплав полегшується також на нікелевому електроді, на відміну від осадження на чужорідній основі, електроду з платини. Водень виділяється на сплаві з перенапругою, що має проміжне значення між перенапругою виділення на нікелі, і перенапругою виділення на цинку. Порівняння ЦВА, отриманих на інертному електроді з платини, з ЦВА, отриманими на металах сплаву, показало, що свіжоосаджений цинк і нікель розчиняються в окремих анодних піках, що розташовуються при більш негативних потенціалах, ніж підйоми струмів на анодних гілках ЦВА, що відповідають процесам розчинення робочих електродів з цинку і нікелю відповідно. Визначено, що значення виходів сплаву за струмом зменшуються при осажденні на чужорідну основу, платину та є проміжними щодо виходів за струмом при окремому виділенні цинку і нікелю.

Ключові слова: нікель, цинк, пірофосфат, цитрат, вихід за струмом.

Постановка проблеми. Захист від корозії металевих конструкцій та деталей обладнання є важливим завданням, оскільки крім значних прямих втрат від корозії, непрямі втрати набагато їх перевищують.

Цинкове покриття часто використовується для захисту сталевих виробів від корозії [1]. Однак його стійкість до корозії недостатня при високій температурі та у суворих умовах експлуатації. Тож осадження сплавів Zn, зокрема сплавів Zn-Ni, забезпечує альтернативу покриттям чистим Zn завдяки їх підвищеній корозійній стійкості та механічним характеристикам.

Встановлено, що додавання Ni дозволяє знизити рушійну силу між осадам і покриттям, тим самим покращуючи корозійну стійкість на більш тривалий період часу: зразки сплаву Zn-Ni з вмістом Ni в межах від 10 мас. % до 14 мас. % мають в п'ять разів кращу корозійну стійкість в порівнянні з чистим цинком [2]. Крім того, через ток-

сичну природу Cd покриття Zn-Ni використовуються на його заміну у газовій, нафтовій та автомобільній промисловості.

Процес електроосадження сплаву та, відповідно, властивості покриттів, є дуже чутливим до складу електроліту та режиму електролізу, оскільки ці параметри визначають елементний та фазовий склад покриття, а також, його структуру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для електроосадження Zn-Ni сплавів можуть використовуватися значна кількість кислих та лужних електролітів [2-10], які забезпечують формування покриттів з різним фазовим складом та структурою. Електроосадження цинк-нікелевого сплаву в лужних електролітах зазвичай є нормальним, оскільки нікель, що має стандартний електродний потенціал $-0,25$ В, виділяється легше і швидше, ніж цинк, стандартний потенціал якого $-0,76$ В. Але, наприклад, визначено, що в пірофосфатному електроліті співосадження цинку та нікелю при мен-

шій густині струму є нормальним, при більш високій – аномальним, при якому переважно осаджується цинк [11]. Значний інтерес викликає дослідження умов співосадження цинку і нікелю в комплексних цитратних [12] і пірофосфатних електролітах [11], у тому числі, полілігандних [10, 13].

Полілігандний пірофосфатно-цитратний електроліт [14, 15] дозволяє у широкому діапазоні варіювати хімічний та фазовий склад покриття. Тому аналіз ЦВА в цьому електроліті дозволить обрати умови електролізу для одержання покриттів з заданими властивостями, наприклад, з підвищеною корозійною стійкістю.

Постановка завдання. Метою досліджень було порівняння умов роздільного і сумісного осаження цинку і нікелю з пірофосфатно-цитратного електроліту в широкому діапазоні потенціалів ЦВА з визначенням ефективності цих процесів для оптимізації режиму електроосаження покриттів сплавом цинк-нікель.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Методика. Циклічні поляризаційні залежності (ЦВА) та анодні поляризаційні залежності одержані з використанням потенціостату MTech SPG-500L у триелектродній комірці на електродах з платини, цинку і нікелю площею 1 см². Використано насичений хлорид-срібний електрод порівняння, відносно якого наведені потенціали. Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А.

Склади електролітів, в яких проводили дослідження, наведені в табл. 1. Електроліт для осаження цинку позначено як «Zn», електроліт для осаження нікелю – як «Ni» та електроліт для осаження сплаву цинк-нікель – як «ZnNi».

Таблиця 1

Склади досліджуваних електролітів

Компонент	Концентрація компонента, моль/дм ³		
	«Zn»	«Ni»	«ZnNi»
Нікелю сульфат NiSO ₄ ·5H ₂ O	–	0,5	0,25
Цинку сульфат ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,5	–	0,25
Калію пірофосфат K ₄ P ₂ O ₇	1,0		
Калію цитрат K ₃ Cit	0,25		
Калію хлорид KCl	0,2		
pH	8,5		

Вихід за струмом катодного осаду (BC, %) визначали за формулою:

$$BC = Q_{ан} \cdot 100 / Q_{кат}$$

де Q_{ан} і Q_{кат} – кількість електрики під анодною і катодною гілками ЦВА.

Результати досліджень. Для розуміння кінетичних закономірностей і катодних, й анодних процесів при роботі електроліту найбільш інформативним є розгляд циклічних поляризаційних залежностей (ЦВА). При чому для розгляду катодних процесів бажано використовувати електроди з металів, що осаджуються, або з матеріалів, на які планується осаджувати покриття. Анодні залежності необхідні як для оцінки умов розчинення відповідних анодів в електроліті, так й з точки зору розчинення отриманих в попередній катодний період осадів. Тому циклічні вольтамперограми отримали як на рідних підкладках (нікелі і цинку, рис. 1), так й на чужорідній підкладці – платині (рис. 2), яка є нерозчинним анодом у пірофосфатно-цитратному середовищі.

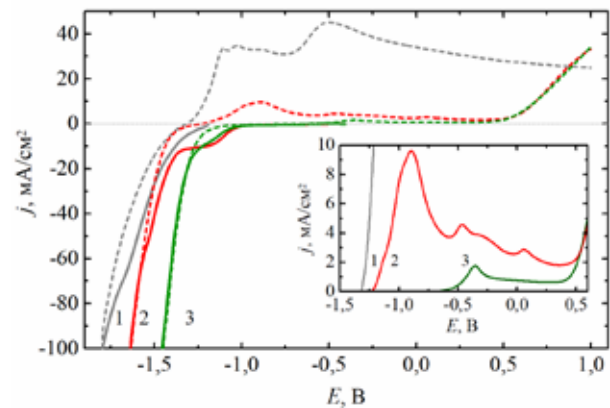


Рис. 1. ЦВА на Zn (1) і Ni (2, 3) в електролітах для електроосадження цинку (1), сплаву Zn-Ni (2) і нікелю (3). Вставка – фрагменти анодних гілок ЦВА

Як свідчать катодні гілки ЦВА прямого ходу, цинк (кр. 1, рис. 1) й нікель (кр. 3) роздільно і сумісно (кр. 2) виділяються з наявністю катодних граничних струмів. Перший граничний струм на ЦВА виділення сплаву Zn-Ni (кр. 2) з'являється в області потенціалів виділення нікелю (кр. 3), другий граничний струм – в області потенціалів виділення цинку (кр. 1). Після області потенціалів граничних струмів осаження протікає сумісно з інтенсивним виділенням водню. Перенапруга виділення водню на сплаві є проміжною між величинами перенапруги виділення водню на нікелі і цинку.

Зворотний хід катодних залежностей, в умовах обмеженої доставки іонів, що розряджаються на катоді, протікає при більш від'ємних значеннях потенціалів. Відсутність гістерезису при зворотному ході ЦВА у надграничній області потенціалів свідчить про компакту структуру осадів.

ЦВА, що отримані на інертному електроді – платині (рис. 2), суттєво відрізняються від тих, що отримані на відповідних металах (рис. 1).

Виділення цинку (кр. 1, рис. 2) і нікелю (кр. 3) супроводжується появою двох хвиль, змінюється співвідношення висот граничних катодних струмів, що свідчить про участь у катодному процесі додаткових реакцій, пов'язаних з розрядом води і розчиненого кисню на платині.

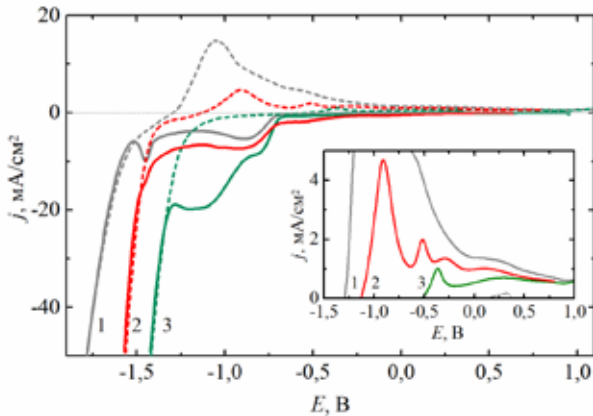


Рис. 2. ЦВА на Pt в електролітах для електроосадження цинку (1), сплаву Zn-Ni (2) і нікелю (3). Вставка – фрагменти анодних гілок ЦВА

Порівняння ЦВА, отриманих в електроліті для осадження цинку, на цинку (кр. 1, рис. 1), з ЦВА на Pt (кр. 1, рис. 2) дозволяє зробити висновок, що перший анодний пік розчинення цинку, при потенціалі $-1,1$ В, належить розчиненню свіжоосадженого в катодний період цинку, а другий, при потенціалі $-0,5$ В – розчиненню цинку електрода (кр. 1, рис. 1). Свіжоосаджений шар цинку встигає розчинитися у першому анодному піку (кр. 1, рис. 2). Розчинення цинку основи вже гальмується продуктами розчинення: пік розчинення цинкової основи розташовується при більш позитивних значеннях потенціалу, він пасивується зі струмом пасивації приблизно 20 mA/cm^2 .

Близько до потенціалу $-0,35$ В розташовується пік розчинення осадженого нікелю, що осаджений при потенціалах катодної гілки як на нікелевому електроді (кр. 3, рис. 1), так й на платині (кр. 3, рис. 2). Приблизно з потенціалу $+0,5$ В з високою швидкістю починається розчинення підкладки з нікелю, на який були осаджені сплав та нікель (кр. 2 і 3, рис. 1), цього підйому не спостерігається на відповідних залежностях на Pt (кр. 2 і 3, рис. 2).

Пік розчинення цинку з осаду сплаву (кр. 2) розташовується між піками розчинення цинку (кр. 1) і свіжо осадженого нікелю (к. 3). В діапазоні потенціалів останніх піків (кр. 2), який співпадає з діапазоном розчинення свіжо осадженого нікелю (кр. 3), розчиняються залишки катодного осаду у вигляді фаз, збагачених нікелем.

Перший пік розчинення сплаву (кр. 2, вставка рис. 1) починається при більш позитивному потенціалі, ніж потенціал початку розчинення цинку (кр. 1), і відповідає розчиненню основної фази сплаву. Однак пік має ліве плече, яке свідчить про розчинення більш негативної фази – вільної фази цинку, або твердого розчину нікелю в цинку. Цей пік на ЦВА, отриманої на Pt (кр. 2, вставка рис. 2), не має ознак розчинення фази цинку. Піки 2–4 на анодній гілці ЦВА розчинення збагачених нікелем фаз сплаву (кр. 2) знаходяться в області потенціалів розчинення і пасивації нікелю, який є свіжоосадженим (кр. 3).

Анодні гілки ЦВА на Ni (кр. 1, рис. 3) і Pt (кр. 2) в електроліті для осадження сплаву практично співпадають, що свідчить про приблизно рівну кількість і склад катодного осаду, що розчиняється. Однак, видно, що катодні гілки на цих двох електродах значно відрізняються не тільки за формою за рахунок значного вкладу нецільових реакцій на платині, а й за катодною кількістю електрики. Тому, якщо вирівняти [16] кількість електрики під катодними гілками цих залежностей і побудувати нормовані анодні гілки (вставка до рис. 3) шляхом збільшення значень анодної густини струму кр. 1 в k разів, де $k = Q_{\text{Pt}}/Q_{\text{Ni}} = 2,13$, видно, що при осадженні на нікелеву основу у першого піку є плече розчинення цинку, а співвідношення висот піків розчинення збагачених нікелем фаз змінюється на користь піків при більш негативних потенціалів, тобто більш збагачених цинком. Це свідчить про полегшення розряду цинку не тільки у присутності іонів нікелю в електроліті, але і на нікелевому електроді.

При порівнянні ЦВА на платині, що отримані в електроліті для осадження нікелю (кр. 1, рис. 4) і в розчині фону (кр. 2), видно, що нікель осаджується в області потенціалів виділення водню на платині. Крім того, швидкість виділення водню на плівці нікелю (кр. 1) знижується в порівнянні

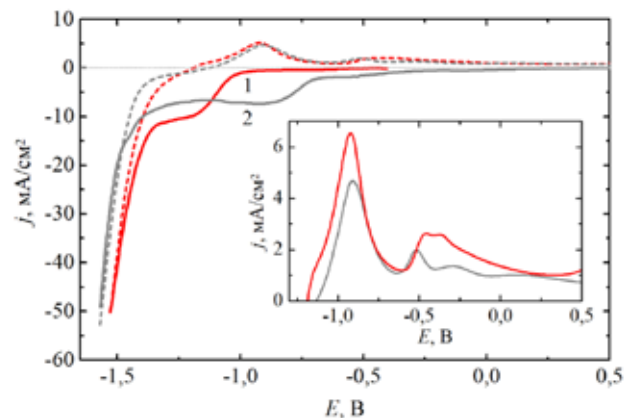


Рис. 3. ЦВА на нікелі (1) і платині (2) в електроліті для електроосадження сплаву Zn-Ni

При порівнянні ЦВА на платині, що отримані в електроліті для осадження нікелю (кр. 1, рис. 4) і в розчині фону (кр. 2), видно, що нікель осаджується в області потенціалів виділення водню на платині. Крім того, швидкість виділення водню на плівці нікелю (кр. 1) знижується в порівнянні

з поверхнею платини (кр. 2). Цей факт не дозволяє використовувати визначення швидкості осадження нікелю і сплаву з цинком за результатами віднімання струму фоновой залежності від струму поляризаційних залежностей виділення металів.

На рис. 5 порівняно виходи за струмом при роздільному і сумісному виділенні цинку і нікелю на чужорідній основі, платині (ліві стовпчики діаграми), та металах сплаву (праві стовпчики діаграми). Можна відмітити найбільші значення при осадженні цинку (3 стовпчики), найнижчі – при осадженні нікелю (1 стовпчики) та проміжні значення – при осадженні сплаву (2 стовпчики), а також зниження при осадженні на чужорідну основу, платину (ліві стовпчики діаграми).

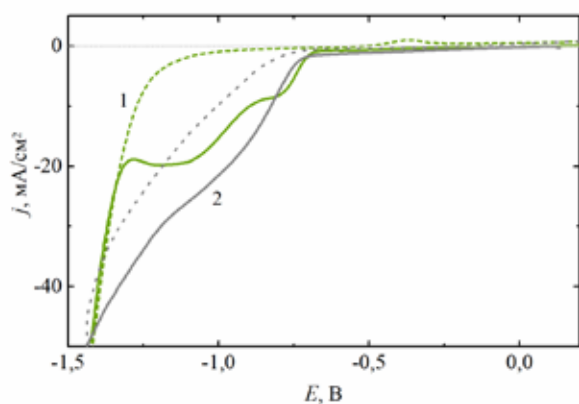


Рис. 4. ЦВА на платині в електроліті для електроосадження нікелю (1) і в розчині фону (2)

Висновки. Дослідження методом циклічної вольтамперометрії кінетичних закономірностей виділення цинку і нікелю роздільно і в сплав з пірофосфатно-цитратного електроліту показало, що:

- катодні і анодні гілки ЦВА виділення сплаву розташовуються проміж гілок ЦВА роздільного виділення металів, що свідчить про надполяризацію виділення в сплав нікелю, деполіаризацію

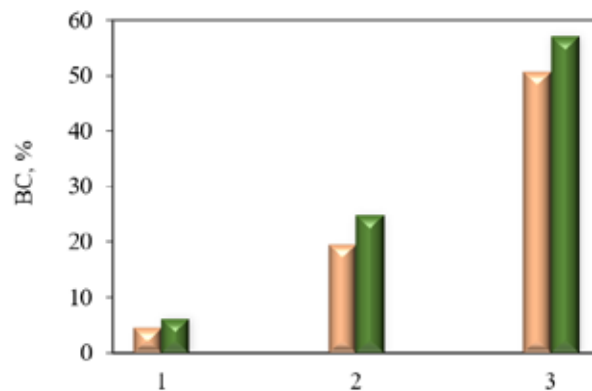


Рис. 5. Виходи за струмом Ni (1), сплаву Zn-Ni (2) і Zn (3) при осадженні з відповідних пірофосфатно-цитратних електролітів на Pt (ліві стовпчики) і метали сплаву (праві стовпчики), Ni (1, 2) і Zn (3)

виділення цинку та проміжну перенапругу виділення водню;

- на відміну від виділення сплаву цинк-нікель на платині, на нікелевому електроді осаджується сплав, що має в своєму складі фазу вільного цинку, це свідчить про полегшення розряду цинку не тільки у присутності іонів нікелю в електроліті, але й на нікелевому електроді;

- свіжоосаджений цинк і нікель розчиняються в окремих анодних піках ЦВА, що розташовуються при більш негативних потенціалах, ніж піки розчинення робочих електродів з цинку і нікелю відповідно;

- незважаючи на те, що розчинення Zn, Ni і сплаву Zn-Ni обмежено пасиваційними явищами, катодний осад з електроду із Pt розчиняється повністю, що дозволяє визначати вихід осадів за струмом за співвідношенням анодної і катодної кількості електрики;

- значення виходів сплаву за струмом є проміжними між значеннями виходів за струмом при окремому виділенні цинку і нікелю та зменшуються при осадженні на чужорідну основу, платину.

Список літератури:

1. Gomes A., da Silva Pereira M.I. Zn electrodeposition in the presence of surfactants: Part I. Voltammetric and structural studies. *Electrochimica Acta*. 2006. Vol. 52. No. 3. P. 863–871.
2. Asseli R., Benaicha M., Derbal S., Allam M., Dilmi O. Electrochemical nucleation and growth of Zn-Ni alloys from chloride citrate-based electrolyte. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2019. Vol. 847. P. 113261.
3. Li B., Li D., Xia W., Zhang W. Synthesis and characterization of a novel Zn-Ni and Zn-Ni/Si₃N₄ composite coating by pulse electrodeposition. *Applied Surface Science*. 2018. Vol. 458. P. 665–677.
4. Joress H., DeCost B., Hassan N., Braun T. M., Gorham J. M., Hattrick-Simpers J. Development of an automated millifluidic platform and data-analysis pipeline for rapid electrochemical corrosion measurements: a pH study on Zn-Ni. *Electrochimica Acta*. 2022. Vol. 428. P. 140866.
5. Bahadormanesh B., Ghorbani M. Electrodeposition of Zn-Ni-P compositionally modulated multilayer coatings: an attempt to deposit Ni-P and Zn-Ni alloys from a single bath. *Electrochemistry Communications*. 2017. Vol. 81. P. 93–96.

6. Kamnerdkhag P., Toyatornmanesub P., Rodchanarowan A. Effect of deposition rates on morphology and phases of Zn-Ni electrodeposits under controlled pulsed-current Co-electrodeposition. *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5. No. 3. P. 9404–9408.
7. Anwar S., Khan F., Zhang Y. Corrosion behaviour of Zn-Ni alloy and Zn-Ni-nano-TiO₂ composite coatings electrodeposited from ammonium citrate baths. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. Vol. 141. P. 366–379.
8. Anwar S., Khan F., Zhang Y. Electrochemical analysis of an electrodeposited Zn-Ni alloy films contained EDTA stable baths in 3.5 wt% NaCl solutions. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 28. P. 532–537.
9. Vucko F., Prestat M., Holzer L., Tribollet B., Pélissier K., Thierry D. Anodic degradation of Zn-Ni coatings in moderately alkaline NaCl solution. *Materials Letters*. 2021. Vol. 293. P. 129701.
10. Feng Z., An M., Ren L., Zhang J., Yang P., Chen Z. Corrosion mechanism of nanocrystalline Zn–Ni alloys obtained from a new DMH-based bath as a replacement for Zn and Cd coatings. *RSC advances*. 2016. Vol. 6. No. 69. P. 64726–64740.
11. Deng G., Zeng Q., Huang J. Electrodeposition behaviors of Zn-Ni alloy on copper foil with carrier. *2015 International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology*. Atlantis Press, 2015. P. 423–428.
12. Tozar A., Karahan I.H. Structural and corrosion protection properties of electrochemically deposited nano-sized Zn–Ni alloy coatings. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 318. P. 15–23.
13. Feng Z., Li Q., Zhang J., Yang P., An M. Electrochemical behaviors and properties of Zn-Ni alloys obtained from alkaline non-cyanide bath using 5, 5'-dimethylhydantoin as complexing agent. *Journal of the Electrochemical Society*. 2015. Vol. 162. No. 9. P. D412.
14. Гаврилова А.А., Суровицький С.В., Майзеліс А.О. Співосадження цинку з нікелем у пірофосфатно-цитратному електроліті. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32 (71). № 4. С. 194–199.
15. Майзеліс А. О. Електрохімічні функціональні покриття з мікро- і нанорозмірними Cu, Sn, Ni, Zn-вмісними шарами керованого фазового складу : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.17.03; наук. консультант Байрачний Б. І. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків, 2020. 508 с.
16. Maizelis A., Kolupaieva Z. Quantitative analysis of chemical and phase composition of Zn–Ni alloy coating by potentiodynamic stripping. *Electroanalysis*. 2021. Vol. 33. No. (2). P. 515–525.

Maizelis A.O., Slavova A.A. ELECTROCHEMICAL REGULARITIES OF ZINC AND NICKEL CODEPOSITION IN PYROPHOSPHATE-CITRATE ELECTROLYTE

Zinc coating is often used to protect steel products from corrosion. However, in harsh operating conditions and at high temperature, its resistance to corrosion is insufficient. Therefore, to ensure a longer period of protection of steel products, as well as to replace toxic cadmium coating in various industries, zinc-nickel alloy coating is used due to their increased corrosion resistance and mechanical characteristics, which largely depend on the electrodeposition conditions. The article is devoted to the study of electrochemical regularities of separate and simultaneous electrodeposition of zinc and nickel from pyrophosphate-citrate electrolyte with the determination of the efficiency of these processes to optimize the mode of electrodeposition of zinc-nickel alloy coatings. The object of research is electrode processes in pyrophosphate-citrate electrolyte for the deposition of zinc-nickel alloy coatings. Cyclic voltammetry (CVA) and anodic stripping voltammetry using the MTech SPG-500L potentiostat were used. It was found that nickel is deposited into the alloy with overpolarization, and zinc – with depolarization. The discharge of zinc into the alloy is also facilitated on a nickel electrode, in contrast to deposition on a foreign base, an electrode made of platinum. Hydrogen evolution on the alloy surface is carried out with an overvoltage that is intermediate between the overvoltage on nickel and the overvoltage on zinc. A comparison of CVA obtained on an inert platinum electrode with CVA obtained on alloy metals showed that freshly deposited zinc and nickel dissolve in separate anodic peaks located at more negative potentials than current rises on the anodic branches of CVA corresponding to dissolution of zinc and nickel working electrodes, respectively. It was determined that the values of the current efficiency of the alloy deposition decrease when deposited on a foreign base, platinum, and are intermediate in relation to the current efficiency when zinc and nickel are deposited separately.

Key words: nickel, zinc, pyrophosphate, citrate, current efficiency.

Мовчанюк О.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пономаренко Є.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЛУГУ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ТЕТРА ПАК

Стаття присвячена вторинному переробленню використаного асептичного пакування компанії Tetra Pak. Компанія постачає свою продукцію у понад 160 країн світу. Щорічний обсяг продажів в останні роки складає понад 190 мільярдів пакувань. Після використання пакування Tetra Pak стає цінною вторинною сировиною для паперової промисловості, тим більше, що з 2020 року для виготовлення пакування для напоїв та рідких продуктів харчування компанія почала на 100% використовувати картон, сертифікований за стандартами Forest Stewardship Council.

Значна частина відомих технологій вторинного перероблення асептичного пакування базується на використанні агресивних хімічних речовин або їх сумішей, в поєднанні з високою температурою. Ці технології є небезпечними, витратними, призводять до значної втрати алюмінію та/або полімерів, а також до утворення великої кількості нових небезпечних відходів. Волокниста складова пакування при цьому втрачає механічну міцність. Тому розроблення ресурсозберігаючих технологій безпечного вилучення волокнистого шару з асептичного пакування є актуальним завданням.

Для дослідження була вибрана макулатура з використаного асептичного пакування Tetra Prisma Aseptic для зберігання рідких харчових продуктів. Метою дослідження було визначення впливу концентрації розчину луку на ефективність просочення використаного пакування.

Досліджено вплив концентрації розчину гідроксиду натрію в діапазоні 2,5–10,0 г/дм³ на ефективність просочення зразків впродовж 150 хв. Отримано та проаналізовано залежності між тривалістю просочування зразків і поглинанням луку за різних значень концентрації. Доведено, що збільшення концентрації луку інтенсифікує процес просочення. Найменші значення поглинання рідини зафіксовано за концентрації луку 2,5, найбільші – за концентрації 10 г/дм³. За результатами досліджень отримано математичні моделі. Встановлено, що використання для просочення розчину луку концентрацією 10 г/дм³ замість води дозволить підвищити ефективність процесу до 3 разів. Отримані результати допоможуть підвищити ефективність процесу розпускання макулатури з асептичного пакування та удосконалити технологію її перероблення.

Ключові слова: макулатура, асептичне пакування, технологія перероблення, концентрація луку, швидкість просочення.

Постановка проблеми. Найбільш ефективним на сьогоднішній день є асептичне пакування. Транснаціональна компанія Tetra Pak – найвідоміший та найпотужніший виробник такого пакування. Наприклад, сьогодні близько 80% соку, що реалізується в роздрібних мережах України, розлите в пакування компанії [1].

За даними компанії Tetra Pak, яка є частиною групи Tetra Laval, вони постачають своє пакування у понад 160 країн світу. Щорічний обсяг продажів в останні роки складає понад 190 мільярдів пакувань. В той же час самою компанією Tetra Pak вторинному переробленню піддається лише близько четвертої частини від обсягів постачання [2, 3].

Шар картону, на основі якого виготовляється пакування Tetra Pak, після використання пакування робить його цінною вторинною сировиною для виробництва паперу та картону, тим більше, що з 2020 року компанія Tetra Pak для виготовлення пакування для напоїв та рідких продуктів харчування почала на 100% використовувати картон, сертифікований за стандартами Forest Stewardship Council (FSC) [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна частина відомих технологій вторинного перероблення асептичного пакування базується на використанні агресивних висококонцентрованих хімічних речовин або їх сумішей, в поєд-

нанні з високою температурою, і спрямована на розчинення алюмінієвого та/або полімерних шарів. Ці технології є небезпечними, витратними, призводять до значної втрати частини складових пакування, що також могли б використовуватися в інших галузях як вторинна сировина, а також до утворення великої кількості нових небезпечних відходів [4, с. 5; 5, с. 126; 6]. Волокниста складова пакування, також піддаючись при цьому хімічному впливу, втрачає свої паперотворні властивості, що негативно позначається на якості паперу та картону, котрі з неї виготовлятимуться.

Тому розроблення ресурсозберігаючих технологій безпечного вилучення волокнистого шару з асептичного пакування є актуальним завданням.

Традиційна технологія перероблення будь-якої макулатури починається з перетворення її на водну волокнисту суспензію, яка далі піддається іншим технологічним процесам. Отже, насамперед, сухий вторинний волокнистий напівфабрикат контактує з водою. Це відбувається, як правило, у гідророзбивачі, за одночасної механічної дії ротора. Процес розпускання макулатури на окремі фрагменти та пучки волокон у гідророзбивачі супроводжується небажаним процесом подрібнення сторонніх механічних включень, що надійшли в гідророзбивач з макулатурою. Від тривалості перебування напівфабрикату в гідророзбивачі залежатиме як ступінь його розпускання, так і ступінь подрібнення механічних домішок. При цьому збільшення тривалості процесу покращує ступінь розпускання макулатури (позитивний процес), збільшуючи при цьому ступінь подрібнення домішок (негативний процес). Ось чому прийнято скорочувати час розпускання у гідророзбивачі. Залежно від здатності макулатури до розпускання вміст нерозпущених фрагментів в макулатурній масі після гідророзбивача може доходити до 40% [7, с. 81]. Функцію остаточного розпуску віддають іншим, більш економічним апаратам, так званим вторинним гідророзбивачам, до яких макулатурна маса надходить вже після видалення з неї найбільш крупних важких і легких домішок.

У випадку перероблення макулатури з відходів використання асептичного пакування скорочення перебування маси в гідророзбивачі виливається в іншу проблему. Через обмежений контакт з водою, що стримує просочення та набухання картонного шару, а відповідно і процес розпускання, не завершується відокремлення всіх волокон від полімерного шару. Це призводить до збільшення втрат волокна, що видаляється разом з відходами. Інтенсифікація процесу просочення такої макулатури автоматично

призведе до інтенсифікації процесу розпуску, а відповідно до зменшення втрат волокна.

Метою даного дослідження було визначення впливу концентрації розчину лугу на ефективність просочення відходів використання асептичного пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra-Pak.



Рис. 1. Пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra Pak

Виклад основного матеріалу. Для дослідження було обране використане асептичне пакування Tetra Prisma Aseptic з-під фруктових соків (рис. 1), що залишається одним з найпопулярніших у світі пакувань для рідких харчових продуктів [3]. Зразки вирізали розміром 30x50 мм з бічних стінок пакування, без механічних пошкоджень та пластику.

Розуміння взаємодії макулатурних волокон з водою має ключове значення у технології переробки макулатури. Особливістю переробки макулатури є багаторазове повернення целюлозних волокон в процес виробництва. В результаті кожного циклу виробництва відбувається поглиблення ороговіння волокон, зменшення їх довжини та зниження показників міцності. Незворотні зміни ускладнюють проникнення води в структуру волокна та його набухання, що є однією з причин нижчої міцності паперу із вторинних волокон [8].

Раніше нами були проведені дослідження з вивчення динаміки просочення макулатури з неасептичного пакування, для чого використовувалася лише дистильована вода [9]. Аналогічні дослідження проводилися і для макулатури з асептичного пакування, але для просочення використовувався луг концентрацією 50 г/дм³ [10, с. 48]. Використання гідроксиду натрію дослідженої концентрації суттєво пришвидшувало сорбцію води целюлозними волокнами картонного шару. Але паралельно відбувалася інтенсивна хімічна взаємодія лугу з фольгою під час тривалого просочування зразків. Тому в даному дослідженні було прийнято рішення знизити концентрацію розчину лугу. Для просочення зразків використовували розчини гідроксиду натрію концентрацією (2,5; 5,0 і 10,0 г/дм³) та дистильовану

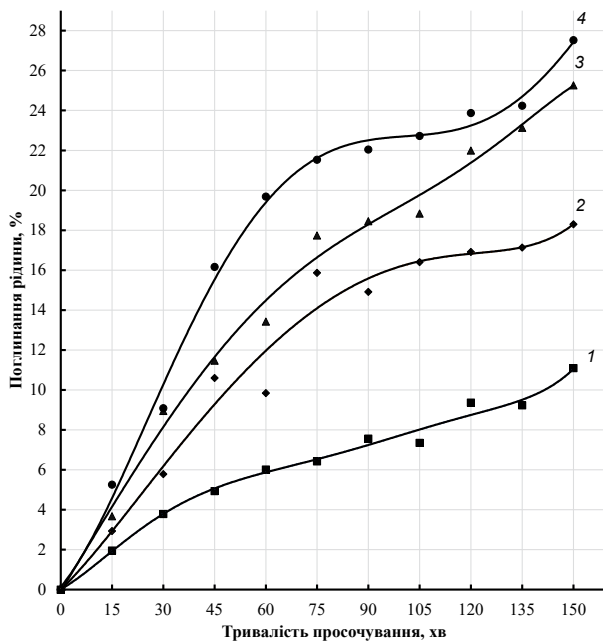


Рис. 2. Залежність поглинання рідини зразками від тривалості їх просочення за різних значень концентрації лугу:
1, 2, 3, 4 – концентрації лугу 0; 2,5; 5,0; 10,0 г/дм³ відповідно

сусідні целюлозні волокна

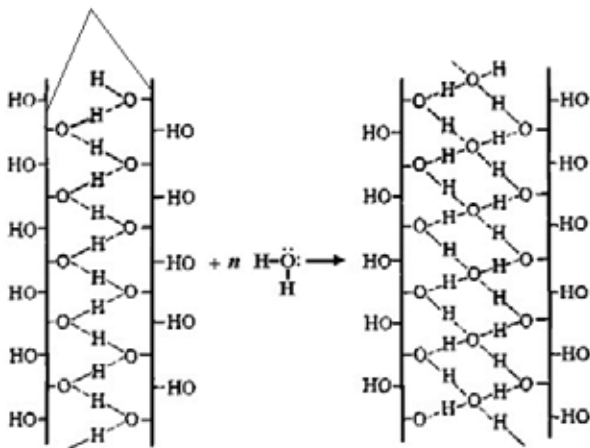


Рис. 3. Механізм послаблення зв'язків між волокнами целюлози

воду для порівняння (базовий варіант). Просочення здійснювали у скляній ємності за температури 20°C. Дослідження проводилися за методикою [9], протягом 150 хв. Через кожні 15 хв просочування оцінювали поглинання рідини за відносним приростом маси зразка, %. Формула для розрахунку наведена у джерелі [9, с. 267].

Результати досліджень представлено на рис. 2. З графічних залежностей видно, що використання замість води розчину гідроксиду натрію для просочення зразків збільшує швидкість процесу за всіх досліджених концентрацій. Зі збільшенням концентрації лугу інтенсивність просочення зростає.

Впродовж всього дослідженого часу максимальні результати отримані для концентрації лугу 10 г/дм³. З рисунку 1 також видно, що всі криві мають початкову прямолінійну ділянку інтенсивного поглинання рідини, після якої швидкість поглинання поступово знижується. Так криві концентрації лугу 10; 5 і 2,5 г/дм³ мають цю прямолінійну ділянку впродовж перших 45, 50 і 60 хв відповідно. За 45 хв просочення зразків поглинання ними розчину лугу концентрацією 10 г/дм³ становило близько 16%, швидкість поглинання рідини при цьому дорівнює 0,36% за хвилину. Швидкість поглинання води за той самий період складає 0,11% за хвилину, що втричі нижче. Якщо ж порівняти ці варіанти на ділянці від 60 до 90 хв, то швидкості для лугу і води стають приблизно однаковим (близько 0,04% за хвилину). Отже використання лугу замість води є доцільним на початкових етапах просочування.

Відомо, що гідроксильні групи на поверхні целюлозних волокон при контакті з водою, притягують молекули води, адсорбують їх з утворенням водневих зв'язків. Після приєднання одного шару молекул води (рис. 3) [8], гідроксильні групи цього шару притягують другий шар, третій тощо [11, с. 17], таким чином все більше і більше послаблюючи зв'язки між сусідніми волокнами. Здатність целюлозних волокон поглинати і зв'язувати воду характеризує набухання волокон. Вода в процесі змочування і проникнення потрапляє в міжволо-

Таблиця 1

Результати апроксимації

Концентрація розчину лугу, г/дм ³	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R ²)
0 (дист.вода)	$y = 2E-11x^6 - 1E-08x^5 + 2E-06x^4 - 0,0001x^3 + 0,0037x^2 + + 0,0966x + 0,0118$	0,9903
2,5	$y = 7E-12x^6 - 3E-09x^5 + 5E-07x^4 - 5E-05x^3 + 0,0025x^2 + + 0,169x - 0,0112$	0,9753
5,0	$y = -9E-12x^6 + 3E-09x^5 - 3E-07x^4 - 3E-06x^3 - 0,0001x^2 + + 0,2859x - 0,091$	0,9931
10,0	$y = -6E-12x^6 + 7E-10x^5 + 6E-07x^4 - 0,0001x^3 + 0,0081x^2 + + 0,204x + 0,1367$	0,9959

конний простір і у вільний простір аморфних ділянок клітинної стінки. В цих областях вода і руйнує водневі зв'язки між волокнами. [12, с. 105].

На рис. 4 наведено діаграми підвищення поглинання зразками макулатури просочувального розчину луґу за досліджених концентрацій після 15, 90 і 150 хв просочення, порівняно з просоченням у дистильованій воді. З діаграм видно, що після 15 хв просочення зразків поглинання ними луґу концентрацією 10 г/дм³ на 140% перевищує цей показник для води. За тривалості просочення 90 хв ця різниця складає вже 213%.

У програмі MS Excel 2010 було виконано апроксимацію експериментальних залежностей. Отримані однофакторні математичні моделі для досліджених значень концентрації луґу наведено в таблиці 1. Всі моделі є поліноміальними функціями, адекватно описують залежності поглинання рідини зразками від загального часу їх просочення.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження довели ефективність використання гідроксиду натрію концентрацією від 2,5 до 10 г/дм³ як просочувального розчину для макулатури з відходів пакування Tetra Prisma Aseptic компанії Tetra Pak упродовж 45–60 хв. Використання для попереднього просочення замість води розчину луґу концентрацією 10 г/дм³ дозволить до трьох разів підвищити інтенсивність поглинання рідини картонним шаром асептичного пакування, що, в свою чергу, пришвидшить його відокремлення від полімерної плівки під час розпускання, зменшуючи в результаті волокнисті втрати та витрату енергії.

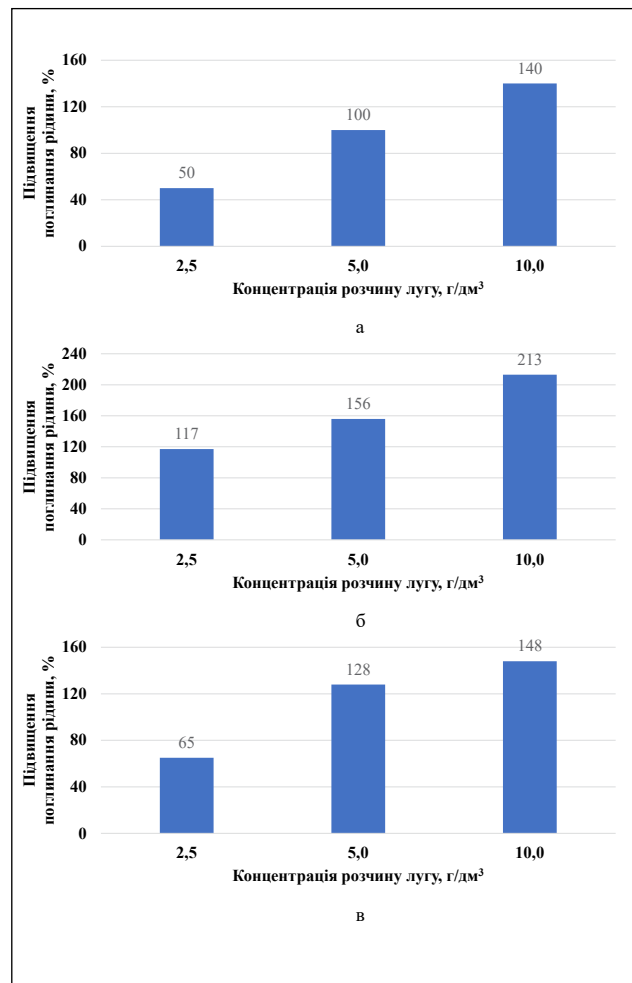


Рис. 4. Діаграми підвищення поглинання рідини зразками за різних значень концентрації луґу після 15 (а), 90 (б) і 150 хв (в) просочення відповідно, порівняно з просоченням у воді

Список літератури:

1. Аналіз ринку соку в упаковці Tetra-Pak України. 2019 рік. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-soka-v-upakovke-tetra-pak-ukrainy-2019-god> (дата звернення 24.03.2023).
2. Ioulia Georgiopolou, Georgia D. Pappa, Stamatina N. Vouyiouka, Kostis Magoulas. Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the Selective Dissolution-Precipitation process. *Resources, Conservation & Recycling*. 165 (2021) 105268.
3. Tetra Pak International, Tetra Pak in Figures. Retrieved from <https://www.tetrapak.com/about-tetra-pak/the-company/facts-figures> (дата звернення 26.03.2023).
4. Пат № 2759556 С2 RU., МПК В32В 38/10, В32В 38/16, В32В 43/00. Способ и устройство переработки упаковочного материала / Ф. Ловис, М. Шульце (DE). — Оpubл. 15.11.21, Бюл. № 32. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/63/2e/72/e48ad3fefeb8e0/RU2759556C2.pdf> (дата звернення 26.03.2023).
5. Karaboyaci M., Gizem Elbek G., Kilic M., Sencan A. Process Design for the Recycling of Tetra Pak Components. *EJENS*. 2017. Vol. 2. № 1. P. 126–129.
6. Muñoz-Batista M.J., Blázquez G., Franco J.F., Calero M., Martín-Lara M.A. Recovery, separation and production of fuel, plastic and aluminum from the Tetra PAK waste to hydrothermal and pyrolysis processes. *Waste Management*. 2022. № 137. P. 179–189.
7. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие. СПб., 2019. Часть I. 107 с.
8. Дулькин Д. А., Южанинова Л. А., Миронова В.Г., Спиридонов В.А. Научные основы переработки макулатуры. *Лесной журнал*. 2005. № 1–2. С. 105–123.
9. Мовчанюк О. М. Вплив температури води на швидкість просочення відходів пакування Пюр-Пак. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2022. Т. 33 (72). № 5. С. 266–269.

10. Коваль А. М., Мовчанюк О. М. Інтенсифікація розпускання відходів асептичного пакування. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2021. №18 (118). С. 47–50.

11. Кларк Дж. Технология целлюлозы: Пер. з англ. Оболенской А.В. и Пазухиной. М.: Лесная пром-сть. 1983. 456 с.

12. Botkova M., Suty S., Jablonsky M., Kucerkova L., Vraska M. Monitoring of kraft pulps swelling in water. *Cellulose Chemistry And Technology*. 2013. № 47 (1–2). P. 95–102.

Movchaniuk O.M., Ponomarenko Ye.V. INFLUENCE OF ALKALI CONCENTRATION ON THE RATE OF IMPREGNATION OF TETRA PAK PACKAGING WASTE

The article is devoted to the recycling of used Tetra Pak aseptic packaging. The company supplies its products to more than 160 countries around the world. The annual volume of sales in recent years is more than 190 billion packages. After use, Tetra Pak packaging becomes a valuable secondary raw material for the paper industry, especially since in 2020 the company began to use 100% Forest Stewardship Council certified cardboard for packaging for beverages and liquid foods.

A significant part of the known technologies for the processing of aseptic packaging is based on the use of aggressive chemicals or their mixtures, in combination with high temperature. These technologies are dangerous, expensive, lead to a significant loss of aluminum and/or polymers, and also to the formation of a large amount of new hazardous waste. At the same time, the fibrous component of the package loses its mechanical strength. Therefore, the development of resource-saving technologies for the safe removal of the fibrous layer from aseptic packaging is an urgent task.

Waste paper from used aseptic Tetra Prisma Aseptic packaging for storing liquid food products was selected for the study. The purpose of the study was to determine the influence of the concentration of the alkali solution on the impregnation efficiency of the used packaging.

The influence of the concentration of sodium hydroxide solution in the range of 2.5–10.0 g/dm³ on the effectiveness of the impregnation of the samples during 150 minutes was studied. The dependences between the duration of percolation of the samples and the absorption of alkali at different concentration values were obtained and analyzed. It has been proven that increasing the alkali concentration intensifies the impregnation process. The lowest values of liquid absorption were recorded at an alkali concentration of 2.5, the highest at a concentration of 10 g/dm³. Based on the research results, mathematical models were obtained. It was established that the use of a solution of alkali with a concentration of 10 g/dm³ instead of water for impregnation will increase the efficiency of the process up to 3 times. The obtained results will help increase the efficiency of the process of dissolving waste paper from aseptic packaging and improve the technology of its processing.

Key words: waste paper, aseptic packaging, processing technology, alkali concentration, impregnation rate.

УДК 633.423:665.948

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/07>**Татар Л.В.**

Державний біотехнологічний університет

Соколова Є.Б.

Державний біотехнологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ БІОЛОГІЧНО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У ШИШКАХ ХМЕЛЮ ТА ХВОЇ СОСНИ

Метою статті є дослідження вмісту біологічно-активних речовин (БАР) висушеної хвої сосни та шишок хмелю, як альтернативної сировини для виробництва пива. Із метою виявлення основних аспектів заміни хмелю вивчено комплекс біологічно активних фітокомпонентів висушеної хвої сосни, порівняно з шишками хмелю, як нетрадиційної пряно-ароматичної рослинної сировини за умови його використання для формування якості пива.

Встановлено, що ароматично-смаковий комплекс хвої та хмелю включає ненасичені реакційно-активні речовини, такі як ефірна олія, низькомолекулярні фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), флавонолові глікозиди (за рутином), поліфенольні (дубильні) речовини, смоли та гіркі речовини. Високий вміст зазначених БАР (низько- та високомолекулярних фенольних сполук, ефірної олії) має хвоя сосни – в 1,5...5,0 разів більше, ніж шишки хмелю.

Встановлено, що в складі хвої сосни є вітаміни групи В, кількість яких перевищує вміст у хмелі в 3–10 разів та вітамін С – в 20 разів. Мікроелементи в рослинній сировині представлені калієм, кальцієм, магнієм, фосфором, залізом. Кількість їх у гранулах досить висока порівняно з шишками хмелю та хвою сосни.

Досліджено ступінь накопичення важких металів та радіонуклідів у хвої сосни. Встановлено, що питома активність радіонуклідів становить: ^{137}Cs – 0,46 Бк/дм³, ^{90}Sr – 0,81 Бк/дм³, що значно менше за допустимі норми.

За результатами досліджень встановлено, що хвоя за своїми властивостями та хімічним складом наближена до хмелю та має переваги над шишками та гранулами за кількісним вмістом БАР: смоли, ефірна олія, поліфенольні (дубильні) та низькомолекулярні фенольні сполуки, які впливатимуть на формування смаку й аромату пива.

Доведено, що хвоя сосни є джерелом природних антиоксидантів, має високий вміст біологічно активних речовин та важливе практичне значення для формування споживних характеристик готового продукту. Це дає можливість використовувати її як допоміжну сировину з одночасною заміною хмелю на хвою під час виробництва пива, а отже, сприятиме формуванню оригінального смаку та аромату крафтового пива, збагачуватиме його склад, підвищить антиоксидантні властивості.

Ключові слова: хвоя сосни, шишки хмелю, гранули хмелю, крафтове пиво, смак, аромат.

Постановка проблеми. На сьогодні в Україні є перспективи розвитку пабів та пивоварень, орієнтованих на оригінальні напої, що створюються з кращих натуральних інгредієнтів із застосуванням авторського підходу. Але в умовах високої конкуренції запорукою ринкового успіху для такого підприємства можуть стати лише висока якість продукції та ефективна маркетингова стратегія. Під час розробки нового крафтового продукту увагу споживачів необхідно звертати на органолептичні та певні корисні характеристики напою, зумовлені покращенням технологічного процесу або додаванням додаткових інгредієнтів.

Застосування рослинної сировини та/або рослинних екстрактів спрямоване на отримання

функціональних продуктів, збагачених БАР, що мають антиоксидантні й імуномодельючі властивості, необхідні в умовах екологічного забруднення навколишнього середовища та зниження захисних сил організму людини.

У виробництві пива шишки хмелю є основна і найдорожча сировина, яка надає пиву специфічного аромату, сприяє піностійкості та стійкості під час зберігання [1]. Пивовари віддають перевагу гранулам хмелю, оскільки вони мають велику гомогенність, легко перемішуються, зручніші у використанні. Під час гранулювання хмелю більшість лупулінових зерен руйнуються, тому гіркі речовини гранул хмелю краще розчиняються під час охмелення суслу порівняно з шишковим хмелем [2].

Пивовари і ресторатори створюють нові сорти нефільтрованого пива формуючи нові смакові властивості за рахунок додавання натуральної рослинної сировини та розширюючи асортимент відповідної галузі. Особливу увагу заслуговує хвоя сосни, оскільки вона характеризується високим умістом поліфенольних речовин, низькомолекулярних фенольних сполук, ефірної олії, смол, які беруть участь у формуванні смаку, аромату й можуть впливати на споживні властивості напою з її використанням [3].

Тому вивчення БАР хвої сосни має важливе практичне значення для формування споживних характеристик готового продукту, оскільки до їхнього складу можуть входити багато речовин, мінімальна масова частка яких може викликати як якісні, так і кількісні зміни смаку і аромату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні популярністю користується нефільтроване крафтове пиво. Враховують декілька критеріїв під час вибору нетрадиційної лікарсько-технічної пряно-ароматичної рослинної сировини, яка застосовується для виготовлення пива, – це підвищення смакової стабільності, антиокиснювальної здатності та колоїдної стійкості готового напою, збереження гірких речовин хмелю, які містяться в кінцевому продукті. Гіркі речовини пригнічують ріст мікроорганізмів та забезпечують стійкість пива під час зберігання [4]. На формування смаку й аромату пива впливає ефірна олія [5], а поліфенольні (дубильні) речовини спричиняють денатурацію білків та освітлення пива [6; 7].

Науковці [8; 9] створюють нові сорти пива з оригінальними смаковими властивостями за рахунок введення натуральної рослинної сировини. При заміні головного і найдорожчого інгредієнта рослинна сировина (хвоя сосни) за хімічним складом і властивостями повинна бути наближена до хмелю.

Останнім часом набули популярності напої з додаванням лікарської та нетрадиційної рослинної сировини, що містять широкий спектр БАР, таких як вітаміни, мікро- і макроелементи, фенольні сполуки, ароматичні речовини та ін. Використання у виробництві місцевої сировини дозволить зменшити витрати на її придбання і доставку та розширити асортимент продукції галузі.

Споживання синтетичних харчових добавок призводить до зниження захисних функцій організму, алергії, різноманітних хвороб. У зв'язку з цим актуальним є пошук нетрадиційних натуральних джерел рослинної сировини, що містять значну кількість БАР, розробка інноваційних технологій отримання з них природних добавок для

збагачення продуктів масового споживання та надання готовим продуктам певного смаку й аромату, статусу функціональних і оздоровчих продуктів [10].

У Східному регіоні України насадження сосни займають достатні площі. Сировину заготовляють спеціальні заготівельні пункти, реалізують її зазвичай у фітоаптеках, аптеках лікарських трав. Отже, дана сировина є в достатній кількості на споживчому ринку для застосування її у виробництві пива. Лікарську рослинну сировину обирали за фармакологічними властивостями. Високий вміст у хвої БАР визначає її цінність як сировини для отримання різних фармацевтичних препаратів та інших продуктів [11]. Хвоя сосни має високий вміст фенольних сполук, що визначає її антиоксидантні властивості та сприятиме зменшенню реакції перекисного окислення ліпідів. Вітаміни, мікро- та макроелементи рослинної сировини є дуже важливими складовими під час виробництва пива, оскільки формують його смак та збагачують готовий напій цими речовинами.

На основі проведених досліджень із метою виявлення основних аспектів заміни хмелю на хвою сосни, урахувавши фармакологічні дані та беручи до уваги літературні дані, для досліджень використовували хвою сосни, що дозволить збагатити пиво максимально можливою кількістю БАР та дозволить сформувати оригінальний смак і аромат готового продукту.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження вмісту БАР висушеної хвої сосни та шишок хмелю, як альтернативної сировини для виробництва пива. Хвоя є лікарською сировиною, заготівлю якої рекомендовано проводити взимку [12], на відміну від хмелю, який є сезонним продуктом. Відомо, що під час заготівлі лікарської рослинної сировини відбувається втрата БАР [10].

Для проведення досліджень використовували шишки хмелю подрібнені згідно з ДСТУ 4098.1-2002; лікарську рослинну сировину – хвою сосни звичайної сушену ТУ У 15.8-31062507-022:2009, що реалізується у фіто-аптеках м. Харкова [11]; гранули хмелю (подрібнені шишки хмелю, пресовані в гранули) згідно з ДСТУ 7028:2009.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під час переробки сировини та отримання на її основі екстрактів необхідно максимально зберегти біологічно активні фітокомпоненти вихідної сировини. До розчинних БАР рослинної сировини належать алкалоїди, ефірна олія, дубильні речовини, фенольні сполуки, глікозиди (сапоніни,

гіркоти, флавонолові глікозиди та ін.), вітаміни (каротиноїди, В₁, В₂, В₆, С, Е, К, РР, холін, біотин та ін.), смоли.

Із метою виявлення основних аспектів заміни хмелю доцільно вивчити комплекс біологічно активних фітокомпонентів висушеної хвої сосни, порівняно з шишками хмелю, як нетрадиційної пряно-ароматичної рослинної сировини за умови його використання для формування якості пива. Результати дослідження зразків хвої різних партій наведено в табл. 1.

На основі проведених досліджень умісту БАР встановлено, що ароматично-смаковий комплекс хвої та хмелю включає ненасичені реакційно-активні речовини, такі як ефірна олія, низькомолекулярні фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), флавонолові глікозиди (за рутином), поліфенольні (дубильні) речовини, смоли та гіркі речовини.

Поліфенольні (дубильні) речовини спричиняють денатурацію білків та освітлення пива [13]. Їх вміст у хвої сосни складає 16,4%, що значно перевищує показники шишок та гранул хмелю. Вміст низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) в шишках знаходиться майже в однаковій кількості. Масова частка флавонолових глікозидів (за рутином) в хвої складає в 2 рази більше ніж в хмелі. Досліджена лікарська рослинна сировина має високий вміст фенольних сполук, що визначає її антиоксидантні властивості та сприятиме зменшенню реакції перекисного окиснення ліпідів.

Гіркі речовини пригнічують ріст мікроорганізмів та забезпечують стійкість пива під час зберігання. На формування смаку й аромату пива впливає ефірна олія. Масова частка ефірної олії та смоли у хвої сосни більше, ніж у шишках – 0,5% та 7,0% та гранулах хмелю – 0,62% та 7,30% відповідно.

Отже, більший вміст зазначених БАР (низько- та високомолекулярних фенольних сполук, ефір-

ної олії) має хвоя сосни – в 1,5...5,0 разів більше, ніж шишки хмелю. Вологість шишок хмелю та хвої сосни становить 9–10%, гранул хмелю 7–8%, цим пояснюється більший вміст БАР у гранулах, ніж у шишках хмелю.

Вітаміни, мікро- та макроелементи рослинної сировини є дуже важливими складовими під час виробництва пива, оскільки формують його смак та збагачують готовий напій цими речовинами. З огляду на це визначено основний вітамінно-мінеральний комплекс у шишках та гранулах хмелю, хвої сосни (табл. 2).

У складі хвої сосни є вітаміни групи В, кількість яких перевищує вміст у хмелі в 3–10 разів та вітамін С – в 20 разів. Мікроелементи в рослинній сировині представлені калієм, кальцієм, магнієм, фосфором, залізом. Кількість їх у гранулах досить велика порівняно з шишками хмелю та хвою сосни.

За результатами досліджень визначено, що хвоя за своїми властивостями та хімічним складом наближена до хмелю та має переваги над шишками та гранулами за кількісним вмістом БАР: смоли, ефірна олія, поліфенольні (дубильні) та низькомолекулярні фенольні сполуки, які впливатимуть на формування смаку й аромату пива. Пивовари віддають перевагу гранулам хмелю, оскільки вони мають велику гомогенність, легко перемішуються, зручніші у використанні. Під час гранулювання хмелю більшість лупулінових зерен руйнуються, тому гіркі речовини гранул хмелю краще розчиняються під час охмелення суслу порівняно з шишковим хмелем [14].

Якість вихідної сировини визначає гігієнічну безпечність продуктів харчування. Ураховуючи несприятливу екологічну обстановку і розглядаючи перспективу виробництва продуктів харчування в умовах радіоактивного забруднення, слід відзначити актуалізацію проблеми здорового харчування. Сполуки важких металів є найбільш

Таблиця 1

Уміст біологічно активних речовин фенольної і терпеноїдної природи, % (n = 5, P ≥ 0,95)

Біологічно активні речовини	Пряно-ароматична лікарська рослинна сировина		
	Хвоя сосни	Шишки хмелю	Гранули хмелю
Ефірна олія	3,8	0,55	0,62
Смола	27,3	7,0	7,3
Гіркі речовини	4,0	8,5	9,2
Поліфенольні (дубильні) речовини	16,4	5,2	5,8
Низькомолекулярні фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою)	4,0	3,1	3,9
Флавонолові глікозиди (за рутином)	2,7	1,3	1,6
β-каротин, мг/100 г	15,6	4,8	5,7

Вітамінно-мінеральний комплекс, мг/100 г (n = 5, P ≥ 0,95)

Харчова речовина	Пряно-ароматична лікарська рослинна сировина		
	Хвоя сосни	Шишки хмелю	Гранули хмелю
Тіамін, В ₁	12,0	0,8	0,9
Рибофлавін, В ₂	5,0	0,6	0,7
Піридоксин, В ₆	1,8	0,4	0,5
Нікотинова кислота, РР (В ₃)	26,0	7,0	8,4
Біотин, Н (В ₇)	0,15	0,05	0,07
Аскорбінова кислота, вітамін С	335,5	15,7	16,4
Калій	98,0	560,0	680,0
Фосфор	0,92	388,0	423,3
Магній	10,12	303,60	383,1
Кальцій	10,7	216,0	264,7
Нагрій	4,5	9,500	10,1
Залізо	2,2	3,2	3,5

Таблиця 3

Результати дослідження вмісту показників безпечності хвої сосни (n = 5, P ≥ 0,95)

Назва елемента	Вимоги ГН 6.6.1-130-2006, ДСанПіН 4.2-180-2012, допустимий рівень, не більше	Хвоя сосни (сушена)
Ртуть, мг/дм ³	0,01	Не виявлено
Свинець, мг/дм ³	0,3	0,02
Миш'як, мг/дм ³	0,2	Сліди
Кадмій, мг/дм ³	0,03	Сліди
¹³⁷ Cs, Бк/дм ³	200,0	0,46
⁹⁰ Sr, Бк/дм ³	50,0	0,81

небезпечними, оскільки накопичуються в організмі та спричиняють різні хвороби і мутації [12]. Досліджено ступінь накопичення важких металів та радіонуклідів у хвої сосни (табл. 3).

Аналіз отриманих результатів показує, що вміст свинцю у хвої не перевищує ГДК. Важкого металу ртуті в сировині не виявлено, проте є сліди кадмію та миш'яку.

Питома активність радіонуклідів у досліджуваній сировині значно менше за допустимі норми. Результати дослідження свідчать, що вміст токсичних елементів та радіонуклідів у хвої значно менше за ГДК.

Отже, можна зробити висновок, що хвоя сосни є джерелом природних антиоксидантів, має високий вміст біологічно активних речовин. Це дає можливість використовувати її як допоміжну сировину з одночасною заміною хмелю на хвою під час виробництва пива, а отже, сприятиме формуванню оригінального смаку та аромату пива, збагачуватиме його склад, підвищить антиоксидантні властивості.

Висновки. За результатами досліджень визначено, що хвоя за своїми властивостями та хімічним складом наближена до хмелю та має переваги над шишками та гранулами за кількісним вмістом БАР: смоли, ефірна олія, поліфенольні (дубильні) та низькомолекулярні фенольні сполуки, які впливатимуть на формування смаку й аромату пива.

Виявлено, що більший вміст БАР фенольної та терпеноїдної природи (особливо низько- та високомолекулярних фенольних сполук та ефірних олій) має хвоя сосни – в 1,5–5 разів більше, ніж у шишках хмелю.

Підсумовуючи результати, можна зробити висновок, що хвоя сосни є джерелом природних антиоксидантів, має високий вміст біологічно активних речовин. Це дає можливість використовувати її як допоміжну сировину з одночасною заміною хмелю на хвою під час виробництва пива, а отже, сприятиме формуванню оригінального смаку та аромату пива, збагачуватиме його склад, підвищить антиоксидантні властивості.

Список літератури:

1. Kunze W. Technology Brewing and Malting. VLB: Berlin, 2014. 960 p.
2. Бобер А. В., Пашковська Я. І. Технологічна оцінка якості шишок та гранул хмелю для пивоваріння. *Мир науки и інновацій*. Івано-Франківськ, 2016. Вип. 1 (3), т. 3. С. 17–20.

3. Judzentiene A., Kupcinskiene E. Chemical Composition on Essential Oils from Needles of *Pinus sylvestris* L. Grown in Northern Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*. 2008. №. 20(1). P. 26–29.
4. Гладкий Ф. Ф., Данилова Л. А., Березка Т. О., Півень О. М., Домарецький В. А. Визначення кількості рослинних антиоксидантів для захисту гірких хмелевих речовин від окисної деструкції. *Вісник Національного технічного університету Харківський політехнічний інститут*. Харків, 2010. № 57. С. 278–281.
5. Домарецький В. А. Технологія солоду і пива. Київ: ІНККОС, 2004. 426 с.
6. Кошова В. М., Мацулевич Н. Є. Вплив поліфенолів на колоїдну стійкість пива. *Наукові праці НУХТ*. 2011. № 37-38. С. 34–37.
7. Данилова Л. А., Домарецький В. А., Амбарцумян Г. А. Вплив антиоксидантів рослинної сировини на процеси коагуляції білків у суслі. *Харчова та переробна промисловість*. 2002. № 12. С. 15–16.
8. Ducruet Julien, Rébenaque Pierrick, Diserens Serge, Kosińska-Cagnazzo Agnieszka, Héritier Isabelle, Andlauer Wilfried. Amber ale beer enriched with Gobi berries – The effect on bioactive compound content and sensorial properties. *Food Chemistry*. 2017. Vol. 226. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.047>
9. Кучинська А. М. Наукові засади вибору рослинної сировини для підвищення харчової цінності пива. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2013. № 3 (67). С. 264–273.
10. Дячок В. В. Науково-теоретичні основи екстрагування лікарської рослинної сировини: дис. ... д-ра техн. наук. Київ, 2010. 384 с.
11. ГУ У 15.8–31062507–022:2009. Сировина рослинна, натуральна для виробництва добавок дієтичних (визначають параметри стандартизації трави буркуну лікарського, квіток і плодів гіркокаштану звичайного і хвої сосни звичайної). Держспоживстандарт України, ДП «Харківський регіональний науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації». Харків, 2009. 24 с.
12. Antonio G., Corredor L. Biochemical changes in the kidneys after perinatal intoxication with lead and/or cadmium and their antagonistic effects when coadministered. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2004. № 57 (2). P. 184–189.
13. Кошова В. М., Мацулевич Н. Є. Вплив поліфенолів на колоїдну стійкість пива. *Наукові праці НУХТ*. 2011. № 37-38. С. 34–37.
14. Schönberger C., Kostecky T. 125th anniversary review: the role of hops in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*. 2011. № 117. P. 259–266.

Tatar L.V., Sokolova Ye.B. STUDY OF THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN HOP CONES AND PINE NEEDLES

The aim of the article is to study the content of biologically active substances in dried pine needles and hop cones as an alternative raw material for beer production. In order to identify the main aspects of replacing hops, the complex of biologically active phytocomponents of dried pine needles, compared to hop cones, was studied as an unconventional spicy-aromatic plant material when used to form the quality of beer.

It has been established that the aroma and flavour complex of pine needles and hops includes unsaturated reactive substances such as essential oil, low molecular weight phenolic compounds (by chlorogenic acid), flavonol glycosides (by rutin), polyphenolic (tannins), resins and bitter substances. Pine needles have a high content of these bioactive substances (low- and high-molecular-weight phenolic compounds, essential oil) – 1.5...5.0 times higher than hop cones.

It has been established that pine needles contain B vitamins, the amount of which is 3–10 times higher than in hops, and vitamin C – 20 times higher. Trace elements in plant materials are represented by potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and iron. The amount of them in the granules is quite high compared to hop cones and pine needles.

The degree of accumulation of heavy metals and radionuclides in pine needles was investigated. It was found that the specific activity of radionuclides is: ^{137}Cs – 0.46 Bq/dm³, ^{90}Sr – 0.81 Bq/dm³, which is significantly less than the permissible limits.

The research has shown that pine needles are close to hops in their properties and chemical composition and have advantages over cones and pellets in terms of the quantitative content of bioactive substances: resins, essential oil, polyphenolic (tannins) and low-molecular-weight phenolic compounds that will affect the taste and aroma of beer.

It has been proven that pine needles are a source of natural antioxidants, have a high content of biologically active substances and are of great practical importance for shaping the consumer characteristics of the finished product. This makes it possible to use it as an auxiliary raw material with the simultaneous replacement of hops with pine needles in beer production, which will contribute to the formation of the original taste and aroma of craft beer, enrich its composition, and increase its antioxidant properties.

Key words: pine needles, hop cones, hop granules, craft beer, taste, aroma.

Trembus I.V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Mykhailenko N.V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Hondovska A.S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

MEMBRANES BASED ON MODIFIED CELLULOSE FIBERS. A REVIEW

*In the article it was analyzed main oxidation-organosolv methods of obtaining cellulose from plant raw materials. The expediency of usage peroxyacids as delignifying reagent was described and advantages compared to traditional methods for cellulose obtaining were analyzed. Methods of modifying cellulose fibers for obtaining materials with specified adsorption properties in relation to dyes and heavy metal ions as well as for air purification were described. The influence of solution pH, duration and temperature of process as well as the initial solution concentration on the cellulose membranes efficiency were analyzed. The main characteristics of membranes and conditions for their usage were highlighted. It is shown that various modified fibers can be used for selective adsorption of individual impurities and show ability for complex removal. Methods of removing crystal violet, methyl blue from aqueous solutions, anionic dyes adsorption and various organic liquids using environmentally friendly cellulose membranes were described. The possibility of removing Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} and As^{5+} ions with the assistance of modified cellulose material was considered. Such cellulose material has higher adsorption capacity in case of Cu^{2+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} ions removal. Adsorbents obtained by cellulose fibers treatment with concentrated sulfuric acid followed by chemical surface modification with *N*-aminoguanidine functional groups show high selectivity for precious metals adsorption from hydrochloric acid medium. It was shown that filter material obtained from carboxylated cellulose has excellent adsorption capacity in relation to Pb^{2+} and methylene blue from aqueous solutions. Membranes based on modified cellulose acetate nanofibers can be used as effective material for Hg^{2+} , Cu^{2+} , and Cd^{2+} adsorption. Such material has much higher adsorption capacity for Hg^{2+} than for Cu^{2+} and Cd^{2+} . Positive influence of mercerization process for cellulose filter materials production was shown. It was determined that main advantages of mentioned cellulose filter materials are high adsorption capacity, possibility of usage in various conditions and ability to be regenerated and reused.*

Key words: membrane, organosolvent cellulose, modified cellulose fibers, membranes, adsorption, dyes, heavy metal ions.

Formulation of the problem. Environmental pollution control is one of the main scientific research topics today. There are more and more environmental problems caused by society economic development especially those related to water purification [1].

It is considered that cellulose is the most common renewable polymer in nature and also it fairly cheap and promising raw material for obtaining various functional products [2].

In addition, surface of cellulose is sensitive to chemical modifications due to hydroxyl groups which presence in its structure and can react with primary and secondary alcohols. One of cellulose modification goals is to obtain materials with greater adsorption capacity for pollutants which are present

in aqueous environment compared to original biopolymer [3, 4].

Analysis of recent publications and research

The adsorption process is widely used for treatment of wastewater which contains toxic dyes due to its high efficiency, simplicity and low cost. A lot of attention is paid to cellulose as a polymer which can be used for synthesis of new filter material [5].

Constant growing of costs for filter materials and increasing of environmental requirements have led to significant amount of research work aimed at developing technologies for obtaining new inexpensive adsorbents from renewable resources. First of all, the advantage of usage cellulose as basis for new filter material is its prevalence, relatively low cost, modern

methods of it obtaining, namely environmentally friendly oxidation-organosolv methods and relative easiness to chemical modification [6].

Setting objectives. The purpose of the work is to consider modern environmentally friendly methods for obtaining cellulose, main modification methods and to determine possibility of usage such membranes for removing impurities from aqueous solutions and purify the air.

Presentation of the main research material. The search of new waste-free technologies for cellulose obtaining is conducted in various spheres including cellulose biological synthesis, enzymatic wood delignification and solvolytic plant materials delignification in organic solvents [7, 8].

Highly selective reagents such as peroxyformic acid or peroxyacetic acid are successfully used for obtaining cellulose from wood and non-wood plant materials, especially, agricultural waste.

Solvent delignification methods make possible to utilize the hemicelluloses from plant raw materials and isolate reactive lignin which can be easily converted into various valuable chemical products [9, 10]. Such processes are characterized by significantly shorter duration if compare with the traditional sulfate and sulfite delignification methods. Organic solvents can be regenerated by distillation with little energy consumption. Recycling of organic solvents reduces the solutions volumes which spent in processing. As a result, it reduces overall capital costs and reduce industrial effluents which makes such technologies environmentally friendly and economically attractive.

Development directions in technology of organosolv plant raw materials processing are related to usage oxidants which contributes to cellulose content increasing in obtained product [11].

Hydrogen peroxide and ozone are most often used as oxidants which are considered to be environmentally friendly and capable to delignify plant biomass. The process is carried out in solutions of organic acids or alcohols [11-13].

Usage of oxidative-organosolv methods for cellulose production allows to obtaining products with high quality, yield and low residual lignin content. Functional characteristics of this material allow use it as alternative raw material for modification with various substances [14].

Synthetic dyes are considered to be environmentally dangerous due to their high toxicity, color and inability to decompose, but despite of this, textile, printing and plastic industries are widely used them. As a result, solving issue of wastewater pollution with dyes has become relevant today.

Modified cellulose materials are promising adsorbents because they contain large number of functional groups which capable to retain dye molecules. A lot of modification methods which give necessary adsorption properties to cellulose for effective dye removal are already known [15].

Cellulose modification with sulfosalicylic acid and glycidyl methacrylate effectively increases its electronegativity which leads to increasing adsorption capacity for crystal violet removal from aqueous solutions. Solution pH, duration, temperature and initial solution concentration have directly effect to the efficiency of such membrane. Great advantage of this adsorption material is its ability to be regenerated and possibility to be repeated use [16].

Material based on dialdehyde nanocellulose and amphoteric polyvinylamine is excellent adsorbent for anionic dyes removal. It is demonstrates maximum removal efficiency in acidic conditions due to amino groups protonation. Such filter material can be used for removal various types of anionic dyes and it has highest adsorption capacity to the congo red [17].

Graphene oxide airtel has great interest for wastewater treatment due to its porous structure and high specific surface area. Carboxymethyl cellulose in combination with graphene oxide airtel can be obtained using modified hydrothermal reaction of ethylenediamine reduction. This material is hydrophilic, stable and demonstrates excellent adsorption capacity for organic liquids. Such membrane can be used more than one time after regeneration. The filter material based on carboxymethyl cellulose and graphene oxide is able to effective adsorption of rhodamine B dye in aqueous solution and, as a result, it can be potentially used for wastewater treatment [18].

Environmentally friendly membranes which are made with polyvinyl alcohol and carboxymethyl cellulose with graphene oxide are used for improved removal of methylene blue from water solutions. Bentonite addition to membranes significantly improves adsorption properties of material in relation to dyes. To the adsorption capacity of filter material in relation to methylene blue is significantly influence filter solution pH, initial dye's concentration, contact duration with membrane and solution temperature. So, this kind of filters are stable, effective and can be used in practice as a reusable adsorbent for anionic dyes in wastewater treatment [19].

Environmentally friendly membranes based on polyvinyl alcohol, carboxymethyl cellulose and zeolite are very suitable for adsorption of methylene blue from aqueous solutions. This filter material

shows uniform morphology, sufficient mechanical strength and good thermal stability. Adsorption efficiency increases with more zeolite content in the membrane, contact duration with solution and high initial dye concentration [20].

Filter material for dyes removal from aqueous solutions can be obtained by cellulose modification with maleic anhydride and diatomite which is pretreated with alkali solution. To increase size of the pores in filter material CaCO_3 solution is added during cellulose modification and, as a result, it improves adsorption properties. Adsorption capacity for ordinary filter paper and alkali-treated diatomite is extremely low. In the same time membranes made from cellulose and diatomite already have higher adsorption capacity compared with primary materials. The adsorption capacity in relation to basic dyes such as methylene blue and methyl violet is doubled after cellulose modification with maleic anhydride. In this case dyes adsorption depends on various factors such as mixing duration, temperature and the most important factor is pH medium. The efficiency of dye removal from aqueous solutions reaches maximum in an alkaline medium at $\text{pH} > 7$. In this case adsorbent has negative charge and, as a result, it increases its affinity for cationic dyes [21].

Usage of methyl-3-methoxysilane for chemical cellulose modification makes possible to obtain hydrophobic cellulose filter for air purification which has sufficiently developed porous surface structure which is obtained by freeze-drying. As a result, such filter is able to work effectively under conditions of high air humidity. Addition of methyl-3-methoxysilane to cellulose fibers improves structure of filter pores, increases specific surface area and porosity which in turn has positive effect on the filtering solid particles efficiency. In addition, the low pressure drop in filter effectively improves air purification quality. At the dew point temperature filter can effectively work despite of increasing in filtration resistance. It should be noted that resistance rate in such membranes is much lower than that of hydrophilic filter material. In addition, hydrophobic modification can effectively improve water vapor transmission rate through filter. This indicates that hydrophobic modification filter has excellent water resistance and, at the same, time air permeability. Prepared hydrophobic filter can be used in indoor air purification, breathing masks, cars and exhaust gas treatment. Long-term and stable filtration in environment with high humidity testifies to effectiveness and stability of this membrane [22].

Such metals ions like Cu^{2+} , Cd^{2+} and Pb^{2+} have rather high toxic hazard that attracts attention due to

their tendency to accumulate in humans and animals. These compounds do not break down into harmless end products in metabolism process and accumulate in the body and, as a result, create great danger for organisms [23].

Cellulose filter material containing independent methylbenzidine groups have good removal ability for Pb^{2+} and Cu^{2+} ions from water and beside this high antimicrobial activity. This material has great ability to adsorb in wide range of pH values both in acidic and alkaline medium. Filtering capacity of such material increases as pH value is grown to weakly acidic and decreases with further growth. This trend is explained by the fact that in high H^+ ions concentration there is competition between them with metal ions for coordination with active azomethine groups and, as a result, percentage of metal ions removal decreases. It should be noted that such material is quite effective even in strongly acidic environment which makes it possible to use such membranes in industry [24].

Cellulose is modified by treating with aqueous NaOH solution to increase reactivity which causes changes in crystalline structure. During mercerization alkali penetrates cellulose fiber and causes rearrangement of crystalline structure and, as a result, it swells. Polysaccharide chains change their structure during the process and fibers disorder increases. These changes lead to fact that specific surface of fibers increases and hydroxyl groups in cellulose structure become more accessible and reactive. These changes are irreversible and usually accompanied with crystallinity decrease and polymerization degree due to glycosidic bonds hydrolysis [25, 26].

During cellulose filter materials production mercerization has rather positive effect on final product quality because separation of polysaccharide chains is increases. In that way, it simplifies process of succinic anhydride penetration which gives to cellulose good adsorption properties. Modified mercerized cellulose shows higher adsorption capacity during removal of Cu^{2+} , Cd^{2+} and Pb^{2+} ions from aqueous solutions if to compare with modified but not mercerized cellulose. It was established that efficiency of metal ions adsorption directly depends on carboxyl groups number introduced to cellulose [27].

Water pollution with As^{5+} is considered to have serious and global threat to humans due to its high toxicity. Cellulose modified with 3-mercaptopropanoic acid can act as adsorbent to remove arsenate from aqueous solutions using batch membrane distillation process. Important step for covalent attachment of 3-mercaptopropanoic acid

to cellulose filter membrane surface is primary acid activation with dicyclocarbodiimide. During this process dicyclocarbodiimide reacts with 3-mercapto-propanoic acid to intermediate form O-acylisourea which has high reactivity. It is advisable to carry out mercerization of cellulose material with aqueous solution of NaOH for nucleophilicity increasing of hydroxyl groups [28].

Adsorption cellulose filter material capacity after modification in relation with As^{5+} ions increases significantly. Thiol groups have important role in adsorption process. As a result, if cellulose substitution degree is greater, it will have better adsorption. In addition, the cellulose membrane with 3-mercapto-propanoic acid shows good stability and performance after regeneration which makes possible its practical usage. In conclusion, such unique modified cellulose membrane with 3-mercapto-propanoic acid effectively removes arsenate by filtration and can be simple and effective way for removing arsenic from drinking water [28].

Filter materials obtained by treating cellulose fiber with epichlorohydrin or concentrated sulfuric acid and subsequent surface chemical modification with N-aminoguanidine functional groups show high adsorption capacity to Au^{3+} . Such adsorbents show phenomenal selectivity for precious metals removal from hydrochloric acid medium. It should be noted that base metal ions are not adsorbed at all under such conditions. It is possible due to the fact that Au^{3+} , Pd^{2+} and Pt^{4+} form chloride anions in hydrochloric acidic conditions and adsorption of these ions occurred due to ions pair formation on positively charged nitrogen atoms of adsorbent. Therefore, such membranes can be very promising for selective gold extraction from solutions with significant content of other metals [29].

Carboxyl cellulose oxidized with 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl demonstrates universal capacity to dyes and heavy metal ions removal. The morphology of surface and cross-section show that cellulose oxidized in this way has micro- and sub-microstructures in its composition that increase functionality and water permeability of filter material. As a result, carboxylated cellulose material has excellent adsorption capacity for Pb^{2+} and methylene blue from aqueous solutions. The actual adsorption capacity of carboxylated cellulose fabrics for Pb^{2+} and methylene blue is close or even higher according to results of most adsorbents. Adsorption mechanism shows that adsorption of Pb^{2+} and methylene blue occurs not only on surface but also in the internal porous structure of carboxylated cellulose fibers which has positive effect on the

filtration process. If compare with unmodified cellulose such membranes are more effective in filtering multi-component wastewater. In addition, durability of fabric filters made with carboxylated cellulose is confirmed by repeated use [30].

Cellulose acetate nanofibers which produced by electrostatic spinning technology have high porosity, large specific surface area, high permeability, small fiber diameter and can be used for filtering small diameter particles. Thus, such fibers are suitable for filter materials production [31]. Number of functional groups increases due to high specific surface area on cellulose acetate material and, as a result, it improves heavy metal ions adsorption and separation in fibers [32].

Modified cellulose acetate nanofiber made with methacrylic acid by electrostatic spinning technology can be used as effective material for Hg^{2+} , Cu^{2+} and Cd^{2+} adsorption. Such material has much higher adsorption in relation to Hg^{2+} than Cu^{2+} and Cd^{2+} . During ions removal process it was noticed that adsorption capacity to Cu^{2+} and Cd^{2+} decreases slightly but remains unchanged in relation to Hg^{2+} [33].

Membrane made with mixture of lignin and cellulose acetate which produced by electrostatic spinning technology has ability to remove Ag^+ and Cu^{2+} from aqueous solutions. It is shown that the adsorption capacity to Cu^{2+} is greater than that to Ag^+ . Removal efficiency improves with increasing temperature and initial concentration of metal ions. The adsorption capacity of such material largely depends on solution pH and shows best efficiency in weakly acidic medium. It is shown that the mass ratio of lignin and cellulose acetate has little effect on adsorption capacity [34].

Conclusions. Modified cellulose fibers which made by environmentally friendly method using oxidative-organosolv delignification is alternative basis for filter membranes. Such filter material does not require usage toxic compounds in its production which makes it quite promising in modern conditions. That is why it can be successfully used for removal dyes from industrial wastewater, metal ions from aqueous solutions and air purification. Various modifications of this material show selective adsorption capacity for various impurities. Thus they can be used for removal of specific substances and have complex action for different chemical compounds. The main advantages of such filter materials is high regeneration capacity and, as a result, possibility to be repeated use without reducing its efficiency. Such cellulose membranes properties make possibility to use them in various human activity spheres and make it possible to reduce harmful effects of toxic substances on humans.

Bibliography:

1. Yanmei Z., Qiang J., Xiaoyi H., Qingyou Z., Tongsen M. Heavy metal ions and organic dyes removal from water by cellulose modified with maleic anhydride. *Journal of Materials Science*. 2012. Vol. 47, No 12. P. 5019–5029.
2. Zugenmaier P. Conformation and packing of various crystalline cellulose fibers. *Progress in Polymer Science*. 2001. Vol. 26, No 9. P. 1341–1417.
3. Bezerra R. D., Morais A. I., Osajima J. A., Nunes L. C., Silva Filho E. C. Development of new phosphated cellulose for application as an efficient biomaterial for the incorporation/release of amitriptyline, *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016. Vol. 86, P. 362–375.
4. Silva L. S., Silva M. S., Ferreira F. J. L., Lima L. C. B., Bezerra R. D. S., Cito A. M. G. L., Osajima J. A., Silva Filho E. C. Effective removal of the remazol yellow GR dye using cellulose functionalized by basic groups. *Water Air Soil Pollut.* 2018. Vol. 229, No 7. P. 218–234.
5. Zhou Y., Min Y., Qiao H., Huang Q., Wang E., Ma T. Improved removal of malachite green from aqueous solution using chemically modified cellulose by anhydride. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. Vol. 74. P. 271–277.
6. O'Connell D. W., Birkinshaw C., O'Dwyer T. F. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose. A review. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, No 15. P. 6709–6724.
7. Saberikha E., Rovshandeh J., Rezayati-Charani P. Organosolv pulping of wheat straw by glycerol. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2011. Vol. 45, No. 1-2. P. 67–75.
8. Барбаш В. А., Трембус І. В. Сольволізні варіння целюлози із пшеничної соломи. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2002. № 1. С. 119–125.
9. Trembus I.V., Hondovska A.S., Tinytska Ye.Yu., Mykhailenko N.V. Resource-saving oxide-organosolvent technology of straw fiber semi-finished products. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2022. Т.33 (72). № 2. С. 180–184.
10. Барбаш В. А., Трембус І. В., Примаков С. П., Кулік М. О. Модифікований АСАЕ спосіб делігніфікації пшеничної соломи. *Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2010. № 2 (6). С. 92–96.
11. Barbash V., Trembus I., Sokolovska N. Performic pulp from wheat straw. *Cellulose chemistry and technology*. 2018. Vol. 52, No. 7-8. P. 673–680.
12. Rodriguez A., Moral A., Serrano L., Labidi J., Jimenez L. Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, No. 8. P. 2881–2886.
13. Барбаш В. А., Трембус І. В., Шевченко В. М. Органосольвентные способы получения волокнистых полуфабрикатов из пшеничной соломы. *Энерготехнология и ресурсосбережение*. 2009. № 1. С. 37–41.
14. Yanez-S M., Matsuhira B., Maldonado S. et al. Carboxymethylcellulose from bleached organosolv fibers of Eucalyptus nitens: synthesis and physicochemical characterization. *Cellulose*. 2018. Vol. 25, No 5. P. 2901–2914.
15. Xinyi S., Jian W., Zetan L., Na H., Min L., Chao D., Ruimin Z., Cailin Q. Cellulose based cation-exchange fiber as filtration material for the rapid removal of methylene blue from wastewater. *Cellulose*. 2021. Vol. 28. P. 9355–9367.
16. Zhou Y., Zhang M., Wang X., Huang Q., Min Y., Ma T., Niu J. Removal of crystal violet by a novel cellulose-based adsorbent: comparison with native cellulose. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2014. Vol. 53. P. 5498–5506.
17. Liqiang J., Qiucun S., Qinghua X., Yongjian X. Adsorptive removal of anionic dyes from aqueous solutions using microgel based on nanocellulose and polyvinylamine. *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 197. P. 348–355.
18. Xiang C., Wang C., Guo R. et al. Synthesis of carboxymethyl cellulose-reduced graphene oxide aerogel for efficient removal of organic liquids and dyes. *Journal of Materials Science*. 2018. Vol. 54. P. 1872–1883.
19. Dai H., Huang Y., Huang H., Eco-friendly polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose hydrogels reinforced with graphene oxide and bentonite for enhanced adsorption of methylene blue. *Carbohydrate Polymers*. 2017. Vol. 185. P. 1–11.
20. Sabarish R., Unnikrishnan G. Polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose/ZSM-5 zeolite biocomposite membranes for dye adsorption applications. *Carbohydrate Polymers*. 2018. Vol. 199. P. 129–140.
21. Yuan L., Huining X., Mindong C., Zhaoping S., Yi Z. Adsorbents based on maleic anhydride-modified cellulose fibers/diatomite for dye removal. *Journal of Materials Science*. 2014. Vol. 49, No 19. P. 6696–6704.
22. Tao L., Chenchen C., Ruijia M., Yongfei D., Lingyun T., Yifeng F., Yifeng D. Super-hydrophobic Cellulose Nanofiber Air Filter with Highly Efficient Filtration and Humidity Resistance. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2021. Vol. 13, No 20. P. 24032–24041.
23. Çay S., Uyanık A., Ozasık A. Single and binary component adsorption of copper(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using tea-industry waste. *Separation and Purification Technology*. 2004. Vol. 38, No 3. P. 273–280.

24. Saravanan R., Lingam R. The Use of New Chemically Modified Cellulose for Heavy Metal Ion Adsorption and Antimicrobial Activities. *Journal of Water Resource and Protection*. 2015. Vol. 7. P. 530–545.
25. Dinand E., Vignon M., Chanzy H. et al. Mercerization of primary wall cellulose and its implication for the conversion of cellulose I cellulose II. *Cellulose*. 2002. Vol. 9. P. 7–18.
26. Beatriz A. P., Belgacem M. N., Frollini E. Mercerized linters cellulose: characterization and acetylation in N,N-dimethylacetamide/ lithium chloride. *Carbohydrate Polymers*. 2006. Vol. 63, No 1. P. 19–29.
27. Gurgel L. V., Junior O. K., Gil R. P., Gil L. F. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solutions by cellulose and mercerized cellulose chemically modified with succinic anhydride. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99, No 8. P. 3077–3083.
28. Pramanik K., Sarkar P., Bhattacharyay D. 3-Mercapto-propanoic acid modified cellulose filter paper for quick removal of arsenate from drinking water. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 122. P. 185–194.
29. Gurung M., Adhikari B. B., Gao X., Alam S., Inoue K. Sustainability in the Metallurgical Industry: Chemically Modified Cellulose for Selective Biosorption of Gold from Mixtures of Base Metals in Chloride Media. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2014. № 53(20). P. 8565–8576.
30. Li C., Ma H., Venkateswaran S., Hsiao B. S. Highly efficient and sustainable carboxylated cellulose filters for removal of cationic dyes/heavy metals ions. *Chemical Engineering Journal*. 2020. Vol. 389. Article № 123458.
31. Balamurugan R., Sundarajan S., Ramakrishna S. Recent trends in nanofibrous membranes and their suitability for air and water filtrations. *Membranes*. 2011. № 1(3). P. 232–248.
32. Gao Y., Cai Z.. The research development of electrospun nanofiber used as filtering material mats. *Polymer Bulletin*. 2013. Vol. 12. P. 15–20.
33. Ye T. N., Min W. Electrospun membrane of cellulose acetate for heavy metal ion adsorption in water treatment. *Carbohydrate Polymers*. 2011. Vol. 83. P. 743–748.
34. Zhou W. Studies of Electrospun Cellulose Acetate Nanofibrous Membranes. *The Open Materials Science Journal*. 2011. Vol. 5. P. 51–55.

Трембус І.В., Михайленко Н.В., Гондовська А.С. МЕМБРАНИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ВОЛОКОН ЦЕЛЮЛОЗИ. Огляд

У статті проаналізовано основні окисно-органосольвентні способи одержання целюлози із рослинної сировини. Обґрунтовано доцільність використання пероксокислот в якості делігніфікуючого реагенту та проаналізовано їх переваги у порівнянні з традиційними способами варіння целюлози. Описано методи модифікації целюлозних волокон для отримання матеріалу із заданими властивостями адсорбції по відношенню до барвників та іонів важких металів, а також для очищення повітря. Проаналізовано вплив рН розчину, тривалості і температури процесу, а також початкової концентрації розчину на ефективність роботи целюлозних мембран. Висвітлено основні характеристики мембран та умови для їх застосування. Показано, що різні модифіковані волокна можуть використовуватися для вибіркової адсорбції окремих домішок, так і проявляти здатність до комплексного видалення. Описано способи видалення кристалічного фіолетового, метилового синього з водних розчинів, адсорбції аніонних барвників та різних органічних рідин за допомогою екологічно чистих целюлозних мембран. Розглянуто можливість видалення іонів Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} і As^{5+} за допомогою модифікованого целюлозного матеріалу. Показано позитивний вплив процесу мерсеризації у виробництві целюлозних фільтрувальних матеріалів. Така целюлоза має на порядок вищу адсорбційну здатність у випадку видалення іонів Cu^{2+} , Cd^{2+} та Pb^{2+} . Адсорбенти отримані обробкою целюлозного волокна концентрованою сірчаною кислотою з подальшою хімічною модифікацією поверхні функціональними групами N-аміногуанідину показують високу селективність до адсорбції дорогоцінних металів із середовища соляної кислоти. Показано, що фільтрувальний матеріал з карбоксильованої целюлози має чудову адсорбційну здатність по відношенню до Pb^{2+} і метилового блакитного із водних розчинів. Мембрани на основі модифікованого нановолокна з ацетату целюлози можуть використовуватися як ефективний матеріал для адсорбції Hg^{2+} , Cu^{2+} та Cd^{2+} . Такий матеріал має набагато вищу адсорбцію Hg^{2+} , ніж Cu^{2+} і Cd^{2+} . Було встановлено, що основними перевагами названих фільтрувальних целюлозних матеріалів можна назвати високу адсорбційну здатність, можливість використання у різних умовах та здатність до регенерації та повторного використання.

Ключові слова: мембрана, органосольвентна целюлоза, модифіковані целюлозні волокна, мембрани, адсорбція, барвники, іони важких металів.

УДК 621.357

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/09>

Ущановський Д.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Забалуєв А.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Воробйова В.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Васильєв Г.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лінючева О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ПРИРОДИ РОЗЧИННИКА НА ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ Ni ТА Ni-W ПОКРИТТІВ

У статті приведені порівняльні дослідження процесів електроосадження покриттів на основі нікелю із водних цитратних електролітів та електролітів на основі низькотемпературного евтектичного розчинника - суміші холін хлориду та карбаміду у молярному співвідношенні 1:2 М. Встановлено, що при молярному співвідношенні іонів нікелю до вольфраму 0,75 : 0,07 М у водному цитратному електроліті при збільшенні густини струму в інтервалі 0,5...5 А/дм² вміст вольфраму у нікелевому покритті зменшується від 16,3 мас.% до 6,14 мас.%. З одного боку співосадження вольфраму у нікелевий сплав супроводжується деполяризацією катодного процесу, з іншого боку відбувається подрібнення кристалічної структури покриття. Розмір кристалічного зерна для електроосаджених нікелевих покриттів товщиною 20 мкм варіюється в межах 2...5 мкм, а для нікель-вольфрамового сплаву із вмістом вольфраму 14 мас.% у межах 0,5...2 мкм. У цілому виходи за струмом як нікелю, так і нікель вольфрамового сплаву становлять близько 95% і відповідають таким, що досягаються при класичному гальванічному нікелюванні з електроліту Уотса.

При електроосадженні нікелевих покриттів з електроліту на основі низькотемпературного евтектичного розчинника – суміші холін хлориду та карбаміду у молярному співвідношенні 1:2 М встановлено наступне. Напівблискучі нікелеві покриття з виходом за струмом близько 40% можуть бути отримані при товщині до 5 мкм. У цілому з електроліту на основі низькотемпературної евтектичної суміші електроосаджується більш грубокристалічні нікелеві осадки ніж з водного цитратного електроліту. Розмір кристалічних зерен зростає до 5...15 мкм при відповідній товщині покриття 20 мкм. Циклічні вольт-амперні криві, отримані в чистому розчиннику на платиновому електроді, свідчать про можливість електрохімічного відновлення на катоді відповідної евтектичної суміші в області потенціалів електроосадження нікелю. Це у свою чергу може бути причиною відсутності співосадження вольфраму у сплав та малого виходу за струмом електроосадження нікелю.

Ключові слова: гальванічне покриття, нікель, нікель-вольфрамовий сплав, низькотемпературний евтектичний розчинник, кристалічна структура.

Постановка проблеми. Гальванічні нікелеві покриття широко використовуються у промисловості як у якості захисно-декоративних, так і для надання поверхні деталей певних функціональних

властивостей. Зокрема тверді нікелеві покриття можуть застосовуватись як антифрикційні, однак за своїми механічними властивостями вони все одно поступаються твердим хромовим покриттям.

З метою покращення фізико механічних властивостей покриття на основі нікелю легують вольфрамом. Це призводить до підвищення зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості нікелевих покриттів [1]. Зокрема у [2-4] показано, що покриття з 35 мас.% вольфраму володіють аналогічною мікроструктурою та фізико-механічними властивостями, що і тверді хромові покриття. Однак при цьому, електроосадження Ni-W покриттів, може бути більш економічно вигідним через набагато вищий вихід за струмом у порівнянні з процесом гальванічного хромування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Новим напрямком у сучасній гальванотехніці зокрема є електроосадження покриттів із електроліті на основі низькотемпературних евтектичних розчинників (НЕР) на основі сумішей органічних речовин [5-10]. Перевагами використання таких електролітів є екологічна безпечність та можливість електроосадження з порівняно невисокими енерговитратами металів, які за звичай з водних розчинів осадити неможливо (алюміній, вольфрам, молібден). Зокрема для електроосадження нікелевих покриттів та покриттів сплавом нікель-молібден застосовуються електроліти, приготовані на основі НЕР – суміші холін хлориду та карбаміду у молярному співвідношенні 1:2 М [11]. Слід відзначити, що досить багато літературних робіт, та зокрема [1-4,12-14] присвячується електроосадженню гальванічних нікель-вольфрамових покриттів саме з водних розчинів. Дані про електроосадження відповідних покриттів з неводних електролітів на основі DES є доволі мало чисельними.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є порівняльне дослідження процесів електроосадження покриттів на основі нікелю з водних цитратних електролітів та з неводних електролітів на основі НЕР із холінхлориду та карбаміду у молярному співвідношенні 1:2 М. Також за мету ставиться дослідження впливу складу розчину та густини струму на вміст вольфраму у відповідних покриттях.

Виклад основного матеріалу.

Методика експериментальних досліджень. Електроосадження нікелевих та нікель-вольфрамових покриттів проводили з водного цитратного електроліту, вміст основних компонентів якого був аналогічним до приведенного у [12]. Додатково електроліт містив до 50 г/л хлориду амонію та тетраборату натрію. Водневий показник електроліту до рівня рН 6,5...8,5 доводили гідроксидом амонію. Температура зняття поляризаційних кривих та електроосадження складала 50°C.

Також електроосадження нікелевих покриттів проводили із електроліту на основі низькотемпературної евтектичної суміші холін хлориду та карбаміду у молярному співвідношенні 1:2. Приготування електроліту здійснювали наступним чином. Холін хлорид та карбамід при температурі 80°C підігрівали на водяній бані до утворення розтопу. Після чого в розтоп вводили $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ та лимонну кислоту ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) у молярному співвідношенні 0,75 : 0,5 М. З метою дослідження можливості електроосадження нікелевих покриттів легованих вольфрамом в отриманий електроліт додатково вводили вольфрамат натрію. При цьому досягалось наступне молярне співвідношення компонентів $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} : \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 : \text{Na}_2\text{WO}_4 = 0,75 : 0,5 : 0,07$ М. Дослідна температура становила 80°C. З метою порівняння процесів електроосадження нікелевих покриттів в електролітах на водній основі та на основі НЕР молярні концентрації та молярні співвідношення солей нікелю та вольфраму були однаковими.

Електроосадження покриттів проводили за постійної густини струму у стандартній двоелектродній комірці із використанням джерела постійного струму марки Б5-43А. Покриття електроосаджували на прямокутні механічно поліровані зразки із мідної фольги марки М0 та сталеві стрічки марки 08 кп. Перед електроосадженням зразки механічно знежирювали кристалічним карбонатом калію, після чого активували у 3% розчині гідрохлоридної кислоти. З метою визначення виходу за струмом до та після електроосадження зразки зважували на електронних аналітичних вагах RADWAG AS 220.R2 з точністю $1 \cdot 10^{-4}$ г. Електрохімічний еквівалент у випадку сплавів розраховували з умови вмісту вольфраму в сплаві до 20 мас.%, при цьому його значення майже становить 1,1 г/(А·год) і майже не відрізняється від відповідної величини для чистого нікелю.

Поляризаційні вимірювання проводили за допомогою цифрового потенціостату VersaStat3 2 АМР. Зняття циклічної вольтамперограми в низькотемпературної евтектичній суміші холін хлориду та карбаміду проводили з використанням у якості робочого та допоміжного платинових електродів. Електродом порівняння слугував насичений хлор-срібний електрод. Швидкість сканування потенціалу становила 10 мВ/с.

Зняття катодних поляризаційних кривих проводили у потенціодинамічному режимі за швидкості сканування потенціалу 10 мВ/с. Вольт-амперні криві отримували з використанням триелектродних комірок, робочим електро-

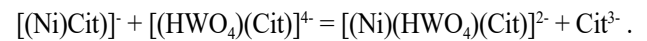
дом слугував нікелевий циліндричний стрижень запресований у тефлон. Допоміжним електро- дом слугувала пластина з електролітичної нікелевої фольги марки Н0. При знятті поляризаційних кривих у водному електроліті, насичений хлор срібний електрод порівняння приєднувався в електричне коло через проміжні ємності з електролітом та капіляр Гебера. При знятті поляризаційних кривих у неводному електроліті на основі НЕР, через малу провідність середовища, електро- дом порівняння слугувала срібна дротина, яку в поліпропіленовому капілярі розташовували безпосередньо в дослідній комірці. Потенціал срібної дротини додатково вимірювали відносно насиченого хлор-срібного електрода порівняння. У даній роботі всі електродні потенціали приведені в шкалі насиченого хлор-срібного електрода.

Визначення вмісту вольфраму у покриттях проводили безеталонним енергодисперсійним рентгенофлуоресцентним методом (ЕДРФА) за допомогою аналізатора EXPERT-3L, центру мікроскопічних досліджень КПІ ім. Ігоря Сікорського. SEM-дослідження поверхні зразків гальванічних нікелевих покриттів, а також контрольне визначення елементного складу поверхні проводили за допомогою растрового електронного мікроскопа TESCAN VEGA3 з EDX аналізатором BRUKER QUANTAX EDS.

Електроосадження покриттів на сніві нікелю із водного електроліту. У ході досліджень із електроосадження нікелевих покриттів з водного цитратного електроліту було встановлено, що за густини струму 1 А/дм² осаджується матове покриття. Морфологія поверхні такого покриття приведена на рис. 1 а. Як видно з цього рисунку, покриття є досить крупнокристалічним, має сферолітичну структуру із середнім розміром кристалічних зерен 2...3 мкм. Введення в електроліт вольфраму натрію сприяє зменшенню розміру (до 0,5...2 мкм) та зміні форми кристалічних зерен до більш вираженої пірамідальної (рис. 1 б).

Отримані катодні поляризаційні криві у базовому розчині та у розчині із додаванням Na₂WO₄ приведені на рис. 2 і свідчать про наступне. В цитратному електроліті нікелювання без додавання вольфраму натрію гранична густина струму електроосадження нікелю відповідає величині близько 3,5 А/дм². Введення в електроліт вольфраму сприяє лише незначному зменшенню нахилу поляризаційної кривої, що свідчить про можливу зміну механізму, але у той же час про продовження співосадження нікелю і вольфраму у сплав.

У цілому поляризація електроосадження нікель вольфрамового сплаву є меншою ніж чисто нікелю, що узгоджується з даними робіт [12-14] і може бути пояснене меншими, у порівнянні з чистим нікелем енергетичними затратами на процес розряду спільних біядерних комплексів нікелю та вольфраму. У електроліті за реакцією буде утворюватись комплекс [13]:



У процесі електроосадження покриття буде перебігати наступна катодна реакція:

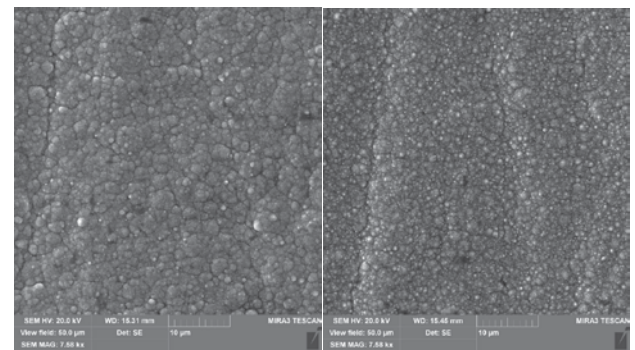
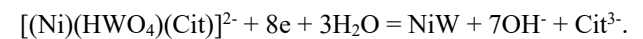


Рис. 1. SEM-зображення поверхонь гальванічних нікелевих (а) та нікель-вольфрамових (б) покриттів товщиною 20 мкм електроосаджених з цитратного електроліту

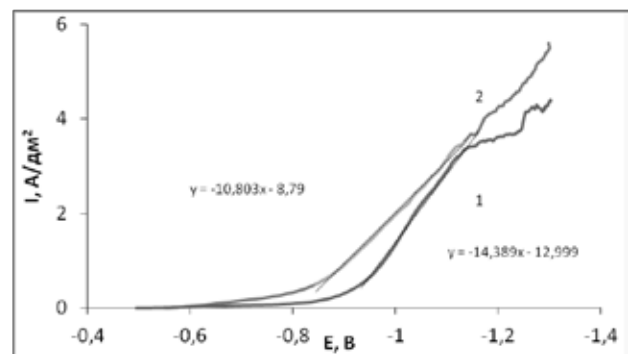


Рис. 2. Катодні поляризаційні криві електроосадження нікелю (1) та нікель-вольфрамового сплаву (2) із цитратного електроліту

В ході досліджень складу нікель вольфрамових покриттів ЕДРФА методом було встановлено, що зі збільшенням робочої густини струму від 0,5 до 5 А/дм², вміст вольфраму у сплаві зменшується від 16,3 мас.% до 6,14 мас.% (рис. 2). Зокрема, при густині струму 1 А/дм², вміст вольфраму у сплаві становить близько 14 мас.%, що також узгоджується із результатом EDX аналізу елементного складу поверхні покриття зробленому при дослідженні морфології катодних осадів.

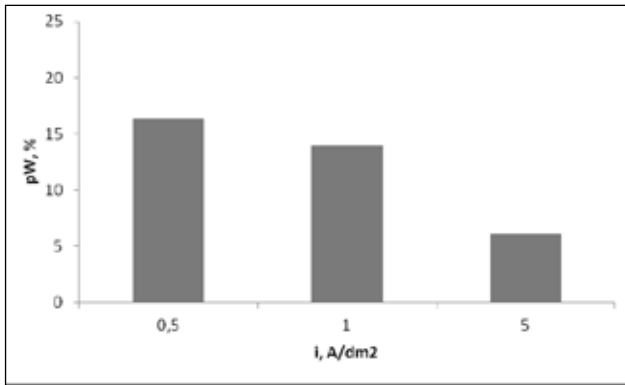


Рис. 3. Гістограма залежності вмісту вольфраму у нікелевому сплаві, електроосадженому з цитратного електроліту

Якщо розглядати інтервал густин струму 0,5...3,5 А/дм², то чим більшою є густина струму, тим меншою є різниця між поляризаціями електроосадження нікель-вольфрамового сплаву та чистого нікелю. Крім цього зі збільшенням густини струму вміст вольфраму у сплаві зменшується (рис. 3). Таким чином, між ходом поляризаційних кривих і вмістом вольфраму у сплаві є узгодження, яке вказує на перерозподіл катодного процесу на користь більш переважного електроосадження нікелю при збільшенні густини струму. Загалом було встановлено, що вихід за струмом як чистого нікелю, так і нікель-вольфрамових сплавів у досліджуваному цитратному електролітах варіюється в межах 93...95%.

Електроосадження нікелевих покриттів з електроліту на основі низькотемпературного евтектичного розчинника. Для електроосадження нікелю, нікель-молібденових та кобальт-молібденових сплавів у роботі [11] було запропоновано електроліт на основі низькотемпературної евтектичної суміші холін хлориду і карбаміду із молярним співвідношенням 1:2. У даній роботі було запропоновано використання відповідної суміші для приготування електролітів осаження нікелевих та нікель-вольфрамових покриттів. З метою порівняння із процесом електроосадження нікелевих покриттів із водного цитратного електроліту, молярні концентрації та співвідношення іонів нікелю та вольфраму у електроліті на основі НЕР мали ту саму величину.

У ході проведених досліджень було встановлено, що блискучі нікелеві покриття можуть бути отримані при густині струму 1 А/дм² при невеликій (до 5 мкм) товщині (рис. 4).

Як свідчать дані SEM-досліджень (рис. 4 б) покриття має мало виражену сферолітичну струк-

туру, однак крім цього у ньому є тріщини. Слід відзначити, що вихід за струмом нікелю у досліджуваному електроліті не перевищує 50%. Основним побічним катодним процесом, окрім виділення водню, може бути електровідновлення компонентів НЕР – основи електроліту. При збільшенні товщини покриття до 20 мкм відбувається електроосадження сірих грубокристалічних покриттів, SEM-зображення поверхні яких приведено на рис. 5 а. Збільшення розміру кристалічних зерен та їх переважний ріст у напрямку перпендикулярному до основи може свідчити про наявність дифузійних обмежень у процесі електрохімічної кристалізації осаду металу, які зумовлюються більшою, у порівнянні з водним розчином, в'язкістю неводного електроліту.

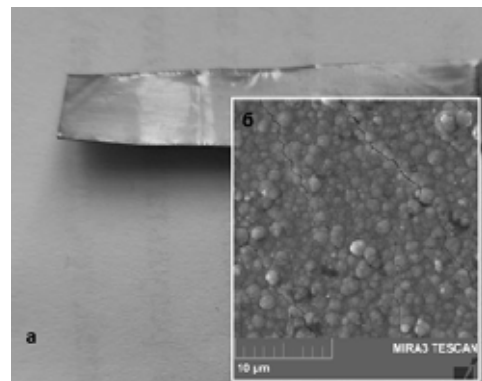


Рис. 4. Фото зображення (а) та SEM-зображення поверхні зразка блискучого нікелевого покриття (б), товщина покриття 4 мкм

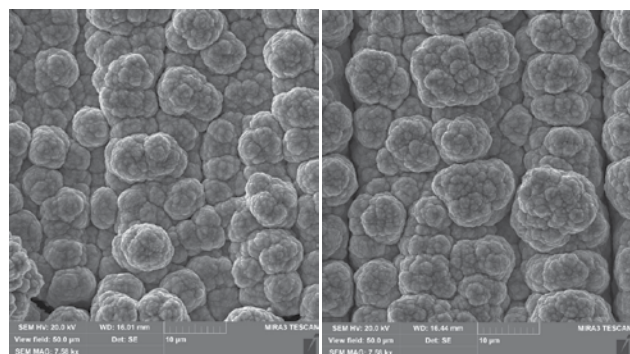


Рис. 5. SEM-зображення поверхні гальванічних нікелевих покриттів товщиною 20 мкм, електроосаджених з базового (а) та з електроліту на основі НЕР із додаванням вольфрамату натрію (б), густина струму 1 А/дм²

Як свідчать дані поляризаційних вимірювань (рис. 6) рівноважні потенціали нікелевого електрода, в досліджуваному електроліті значно зсунуті в позитивний бік, а зростання катодного струму починається до рівноважного потенціалу нікелю (близько 0,0 В у шкалі насиченого хлор-

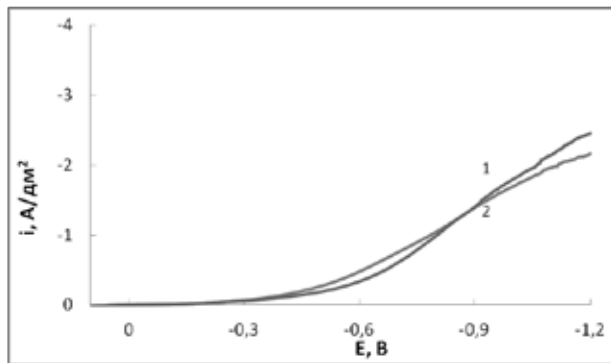


Рис. 6. Поляризаційні криві електроосадження нікелю в електролітах на основі НЕР: 1 – базовий електроліт; 2 – при введенні 20 г/л Na_2WO_4

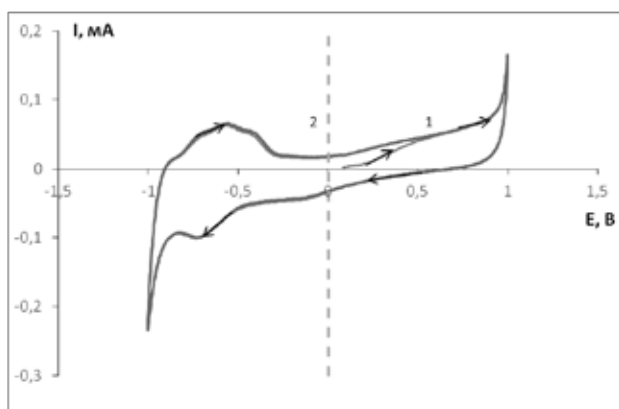


Рис. 7. Циклічна вольтамперограма (1), знята в низькотемпературній евтектичній суміші холін хлориду з карбамідом 1:2 М та позначена лінією (2) величина стаціонарного потенціалу в електроліті нікелювання на основі НЕР

срібного електрода). Це якраз підтверджує можливість перебігу паралельного процесу електрохімічного відновлення компонентів НЕР, який також наведено на циклічній вольтамперограмі (рис. 7). З прямого ходу циклічної вольтамперограми, знятої в евтектичній суміші холін хлориду та карбаміду на платиновому електроді видно, що катодний процес починається приблизно за потенціалу + 0,65 В, а граничний струм першої хвилі припадає на значення потенціалів, що відповідають початку катодного процесу електровідновлення нікелю з кривої 1 на рис. 6.

Введення в досліджуваний електроліт нікелювання вольфрамату натрію призводить до електроосадження покриття із дещо більш грубокристалічною структурою покриття (рис. 5 б). Вихід за струмом зростає до 65%. Однак при цьому хід поляризаційної кривої майже не змінюється (рис. 6, крива 2).

Визначення елементного складу покриттів та, зокрема, при SEM-дослідженні показали, що введення в електроліт на основі НЕР вольфрамату натрію не призводить до співосадження вольфраму у сплав. Це також узгоджується із відсутністю у зміні ходу поляризаційної кривої катодного процесу (рис. 6). Отриманий результат може свідчити про наступне. НЕР на основі суміш холін хлориду та карбаміду, виступає в електроліті лише у ролі розчинника і не є комплексоутворювачем. Адже з результатів досліджень [12] із електроосадження нікель-вольфрамових сплавів із водних електролітів відомо, що умовою співосадження вольфраму у сплав є утворення біядерних спільних комплексів нікелю та вольфрамат іонів. Основним лігандом для таких комплексів, у даному випадку, є саме цитрат іон. Тобто відсутність співосадження вольфраму у сплав може бути зумовленим саме малим вмістом цитрат іонів (лимонної кислоти), що є недостатнім для утворення відповідних біядерних комплексів. Ще однією причиною відсутності співосадження вольфраму у сплав може бути перебіг побічного процесу електровідновлення органічних сполук – компонентів НЕР.

Висновки. Встановлено, що електроосадження нікелевих та нікель-вольфрамових покриттів із водного цитратного електроліту відбувається із досить високим виходом за струмом 93...95%. При цьому, зі збільшенням густини струму вміст вольфраму у сплаві зменшується. За густини струму 1 А/дм² та температури 50°С були отримані дрібнокристалічні покриття із вмістом вольфраму близько 14 мас.%.

При електроосадженні нікелевих покриттів з електролітів на основі низькотемпературної евтектичної суміші холін хлориду та карбаміду, з вмістом солей нікелю та вольфраму відповідним досліджуваним водним цитратним електролітам, встановлено наступне. Отримувані нікелеві покриття володіють більш грубокристалічною структурою ніж такі, що отримані з водних електролітів. Співосадження вольфраму у покриття не відбувається, а вихід за струмом нікелю варіюється в межах 40...65%. Це може бути зумовлене недостатнім вмістом додаткового комплексоутворювача – цитрат іонів. Крім цього, на основі циклічної вольтамперометрії показана можливість електровідновлення компонентів НЕР. Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення складу електролітів на основі НЕР з метою досягнення співосадження і підвищення вмісту вольфраму в нікелевих покриттях.

Список літератури:

1. Zhong Z., Clouser S. J. Nickel–tungsten alloy brush plating for engineering applications. *Surface and Coatings Technology*. 2014. V. 240. P. 380–386.
2. Hou K., Chang Y., Chang S., Chang C. The heat treatment effect on the structure and mechanical properties of electrodeposited nano grain size Ni–W alloy coatings. *Thin Solid Films*. 2010. V. 518. № 24. P. 7535–7540.
3. Oue S., Nakano H., Kobayashi S., Fukushima H. Structure and Codeposition Behavior of Ni–W Alloys Electrodeposited from Ammoniacal Citrate Solutions. *Journal of The Electrochemical Society*. 2008. V. 156. № 1. D17.
4. Hou K., Chang Y., Chang S., Chang C. The heat treatment effect on the structure and mechanical properties of electrodeposited nano grain size Ni–W alloy coatings. *Thin Solid Films*. 2010. V. 518. № 24. P. 7535–7540.
5. Abbott A. P., et al. Bright metal coatings from sustainable electrolytes: the effect of molecular additives on electrodeposition of nickel from a deep eutectic solvent. *Phys. Chem*. 2017. V. 19. P. 3219–3231.
6. Winiarski J., et al. Ni/cerium Molybdenum Oxide Hydrate Microflakes Composite Coatings Electrodeposited from Choline Chloride: Ethylene Glycol Deep Eutectic Solvent. *Materials*. 2020. V. 13. P. 924–941.
7. Abbott A. P., et al. A Comparative Study of Nickel Electrodeposition Using Deep Eutectic Solvents and Aqueous Solutions. *Electrochimica Acta*. 2015. V. 176. P. 718–726.
8. Rosoiu S.P., et al. Comparative Study of Ni–Sn Alloys Electrodeposited from Choline Chloride-Based Ionic Liquids in Direct and Pulsed Current. *Coatings*. 2019. V. 9. P. 801–815.
9. Costovici S., Manea A.-C., Visan T., Anicai L. Investigation of Ni–Mo and Co–Mo alloys electrodeposition involving choline chloride based ionic liquids. *Electrochimica Acta*. 2016. V. 207. P. 97–111.
10. Danilov F. I., et al. Electrodeposition of Nanocrystalline Nickel Coatings from a Deep Eutectic Solvent with Water Addition. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2017. V. 53. № 6. P. 1131–1138.
11. Uschapovskiy D., Vorobyova V., Vasyliov G., Linucheva O. Electrodeposition of polyfunctional Ni coatings from deep eutectic solvent based on choline chloride and lactic acid. *J. Electrochem. Sci. Eng.* 2022. V. 12. № 5. P. 1025–1039.
12. Hu Y., Yu Y., Ge H., Wei G., Jiang L. Study on mechanical and anticorrosion performance of NiW alloy coatings prepared by induced codeposition. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2019. V. 14. P. 1649–1657.
13. Benaicha M., Allam M., Dakhouche A., Hamla M. Electrodeposition and characterization of W-rich NiW alloys from citrate electrolyte. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2016. V.11. P. 7605–7620.
14. Younes O., Gileadi E. Electroplating of Ni/W Alloys : I. Ammoniacal Citrate Baths. *J. Electrochem. Soc.* 2002. V. 149. № 2. P. C100–C111.

Uschapovskiy D.Yu., Zabaluyev A.S., Vorobyova V.I., Vasiliev G.S., Linyucheva O.V. INFLUENCE OF THE SOLVENT NATURE ON THE ELECTRODEPOSITION OF Ni AND Ni-W COATINGS

The article comparative studies of the processes of electrodeposition of nickel-based coatings from aqueous citrate electrolytes and electrolytes based on a deep eutectic mixture of choline chloride and urea in a molar ratio of 1:2 M have been shown. It was established that at a molar ratio of nickel ions to tungstate of 0,75 : 0,07 M in a citrate electrolyte, with an increase in the current density in the range of 0,5...5 A/dm², the content of tungsten in the nickel coating decreases from 16,3 to 6,14 wt.%. On the one hand, co-deposition of tungsten in the nickel alloy has been occurred with the depolarization of the cathodic process, on the other hand, the grinding of the crystalline structure of the coating has been found. The crystal grain size for electrodeposited nickel coatings with a thickness of 20 μm varies between 2 and 5 μm, and for a nickel-tungsten alloy with a tungsten content of 14 wt.% within 0,5 and 2 μm. In general, the current efficiency of both nickel and nickel tungsten alloy correspond to those achieved by galvanic nickel plating from Watts electrolyte.

During electrodeposition of nickel coatings from an electrolyte based on a deep eutectic mixture of choline chloride and urea in a molar ratio of 1:2 M, the following have been established. Semi-bright nickel coatings with a current efficiency of about 40% can be obtained at a thickness of up to 5 μm. In general, from an electrolyte based on a deep eutectic mixture, more coarse crystalline nickel deposits are electrodeposited than from an aqueous citrate electrolyte. The size of the crystal grains increases to 5...15 μm with a corresponding coating thickness of 20 μm. Cyclic current-voltage curves obtained on a platinum electrode confirm the possibility of electrochemical transformation on the cathode of the corresponding deep eutectic mixture in the area of nickel electrodeposition potentials. This, in turn, may be the reason for the lack of co-deposition of tungsten in the alloy and the low current efficiency of electrodeposition of nickel coatings.

Key words: galvanic coating, nickel, nickel-tungsten alloy, deep eutectic solvent, crystal structure.

Черняк Л.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мельник Л.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пахомова В.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шнирук О.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЕРАМІЧНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ ВУЛКАНІЧНИХ ПОРІД

Метою роботи стало вивчення можливості отримання керамічного композиту на основі комплексу вулканічних порід з підвищенням деформаційної стійкості при термічній обробці. У роботі використовувалося поєднання сучасних фізико-хімічних методів аналізу силікатних матеріалів із стандартизованими випробуваннями властивостей кераміки. Проведено аналіз складу вулканічних порід – відсівів видобутку андезиту та цеоліту родовищ Закарпаття. Встановлено відмінності спікання зразків вказаних порід в інтервалі максимальних температур випалу 800–1100°C. Зроблено висновок про доцільність комплексного використання андезиту та цеоліту в складі керамічного композиту. Визначено склад дослідних керамічних мас, що характеризуються високою концентрацією опіснюючих компонентів при їх кількісному співвідношенні із зв'язуючим – глиною 4:1; варіюванням кількісного співвідношення андезит: цеоліт від 1:1 до 7:1; застосуванням легкоплавкої полімінеральної глини як зв'язуючого компонента. Показано залежність ступеня спікання кераміки при швидкісному випалі в інтервалі максимальних температур 1125–1200°C від кількісного співвідношення андезит: цеоліт з розширенням інтервалу спікання зі збільшенням концентрації андезиту. Встановлено можливість підвищення деформаційної стійкості кераміки з вивчених мас, обумовленої малою усадкою 0,1–2,6% при спіканні до водопоглинання 13,4–1,6 мас. %, що важливо для технології виробництва керамічних плиток. Відзначено особливості структурних змін – пористості та фазового складу кераміки при швидкісних режимах випалу як факторів впливу на показники властивостей. Отримані результати досліджень та випробувань показують ефективність та особливості комплексного використання відсівів видобутку вулканічних порід як опіснювача-плавня в керамічних масах на основі системи андезит-цеоліт – глина.

Ключові слова: композит, кераміка, андезит, цеоліт, склад, випал, усадка, деформація, структура, властивості.

Постановка проблеми. Розвиток виробництва кераміки різного призначення, у тому числі плиток, пов'язаний з розширенням сировинної бази, удосконаленням технології та обладнання [1-3].

Сучасна технологія керамічних плиток передбачає використання вихідних мас, що містять флюсуєчі компоненти-плавні, які сприяють розвитку рідкої фази та інтенсифікації спікання при швидкісному випалі. Конструктивною особливістю керамічних плиток є значне перевищення розмірів по довжині і ширині над товщиною, що особливо

характерно для сучасного асортименту. Зазначені технологічні та конструктивні особливості у процесі виробництва плиток стають факторами зменшення деформаційної стійкості внаслідок нерівномірної усадки при сушінні та випалі, а в результаті призводять до викривлення та браку виробів [4].

Аналізу процесів усадки та деформації кераміки при термічній обробці приділяється постійна увага дослідників [5, 6]. При цьому враховуються відповідні характеристики сировинних компонентів вихідних мас [7-9].

Ефективним способом підвищення деформаційної стійкості кераміки є застосування гранично опіснених мас [10-12], основні компоненти яких у процесах технології та структуроутворення виконують функції опіснювача при сушінні та опіснювача-плавня при випалі.

У цьому напрямку стосовно технології плиток виконана дана робота, метою якої стало вивчення можливості отримання керамічного композиту на основі комплексу вулканічних порід як опіснювачів (армуючих) і плавнів (матриці) в процесі спікання при випалі.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі використовувалося поєднання сучасних фізико-хімічних методів аналізу силікатних матеріалів із стандартизованими випробуваннями властивостей кераміки [13, 14].

Визначення хімічного складу проб проводилося відповідно до чинних стандартів і сучасних методик [15].

Рентгенофазовий аналіз матеріалів (порошкові препарати) проводився за допомогою дифрактометра ДРОН-4-0, підключеного через інтерфейс до комп'ютера, що дозволило здійснювати зйомку дифрактограм у чисельному вигляді в діапазоні 2–70 2 θ з регулюванням кроку 0,05°. Тривалість експонування кожної точки – 6 секунд. При розшифровці фазового складу використовували базу даних Міжнародного комітету порошкових дифракційних стандартів (JCPDS).

Відповідно до сучасної технології виробництва керамічних плиток зразки з дослідних мас готували напівсухим пресуванням з сушкою і випалом на промислових потоково-конвеєрних лініях. При цьому випал проходив у роликівих газових печах за швидкісними режимами: тривалість 55 і 65 хвилин при максимальних температурах 1125 і 1200°C.

Усі зразки, показники яких порівнювались, випалювали разом, аби уникнути можливої різниці в ступені термічної обробки.

Об'єктом дослідження стали керамічні композиційні матеріали на основі системи вулканічні породи – глина.

Серед порід вулканічного походження були обрані попутні продукти їх видобутку – відсіви андезиту і цеоліту родовищ Закарпаття, а як

зв'язуючий матеріал – спондилову глину родовища Київської області.

Відмінності хімічного складу вихідних матеріалів полягають у наступному (табл. 1).

Андезит є природним непластичним матеріалом, хімічний склад якого характеризується переважним вмістом оксидів кремнію та алюмінію при кількісному співвідношенні SiO₂ : Al₂O₃ = 3,5, підвищеним вмістом оксидів заліза та лужноземельних CaO+MgO.

Цеоліт також є непластичним матеріалом, що за хімічним складом відрізняється від андезиту більшим вмістом діоксиду кремнію при кількісному співвідношенні SiO₂ : Al₂O₃ = 5,2, меншою кількістю оксидів заліза та лужноземельних CaO+MgO.

Спондилова глина є пластичним матеріалом, що за хімічним складом відрізняється від андезиту і цеоліту меншим вмістом оксидів кремнію та алюмінію при більшому кількісному співвідношенні SiO₂ : Al₂O₃ = 6,1, найбільшою кількістю лужноземельних оксидів.

Аналіз отриманих експериментальних даних показав суттєві відмінності у ступені спікання та фізико-механічних показниках зразків, виготовлених із відсівів андезиту та цеоліту (рис. 1, 2). Встановлено, що при випалі протягом 15 годин в інтервалі максимальних температур 800–1100°C зразки кераміки із досліджуваних вулканічних порід характеризуються відмінностями у кінетиці спікання та значеннях показників водопоглинання та густини.

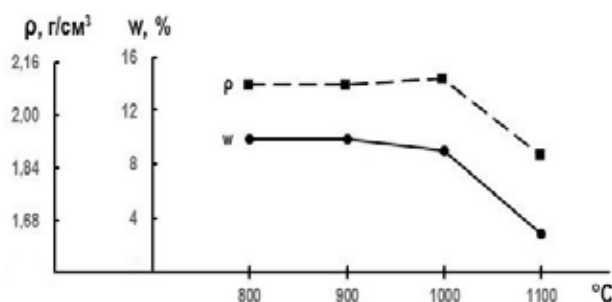


Рис. 1. Залежність водопоглинання (w) і густини (ρ) кераміки на основі андезиту від максимальної температури випалу

Таблиця 1

Хімічний склад вихідних матеріалів

Матеріал	Вміст оксидів, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Андезит	59,70	16,97	8,42	0,72	5,76	1,21	2,68	1,82	1,11
Цеоліт	68,02	13,04	1,92	0,30	2,71	1,63	1,57	2,64	16,94
Глина	53,62	8,87	3,26	0,10	14,60	2,00	0,29	2,36	13,72

Зразки андезиту після випалу в інтервалі максимальних температур 800–1000°C характеризуються водопоглинанням 9,9–9,0 мас. % та густиною 2,09–2,11 г/см³, при випалі на 1100°C – зменшенням водопоглинання до 2,8 мас. %, при одночасному зменшенні густини до 1,88 г/см³, що вказує на спучування.

Зразки цеоліту після випалу в інтервалі максимальних температур 800–1000°C характеризуються водопоглинанням 18,2–15,3 мас. % та густиною 1,69–1,77 г/см³, при випалі на 1100°C – зменшенням водопоглинання до 2,6 мас. %, зростанням густини до 2,16 г/см³.

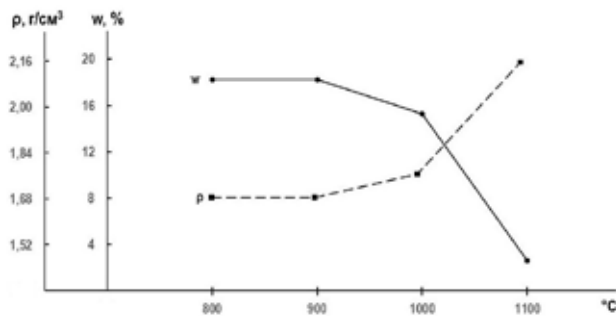


Рис. 2. Залежність водопоглинання (w) і густини (ρ) кераміки на основі цеоліту від максимальної температури випалу

Рентгенофазовий аналіз дозволив оцінити ступінь та особливості фізико-хімічних перетворень і структурних змін при випалі зразків вулканічних порід (рис. 3, 4). При цьому очевидно, що андезит

характеризується переважним розвитком кристалічних фаз, а цеоліт переважним розвитком скло фази.

Окрім вказаних загальних відмінностей у кількісному розвитку фаз, значно відрізняється їх якісний склад:

- щодо зразків андезиту це проявляється в різновидах польових шпатів;
- щодо цеоліту це проявляється у вмісті клиноптилоліту.

Виявлені особливості складу та спікання досліджуваних вулканічних порід вказують на доцільність їх комплексного використання як складової частини керамічних композитів.

Обрані для дослідження керамічні маси характеризуються (табл. 2):

- високою концентрацією опіснюючих компонентів при їх кількісному співвідношенні із зв'язуючим – глиною 4:1;
- комплексним використанням вулканічних порід як опіснювача-плавня;
- застосуванням легкоплавкої полімінеральної глини як зв'язуючого компонента.

Таблиця 2

Склад композицій

Код проби	Вміст компонентів, мас. %		
	Андезит < 2 мм	Цеоліт < 1 мм	Глина спондилова
56	40	40	20
66	50	30	20
76	60	20	20
86	70	10	20

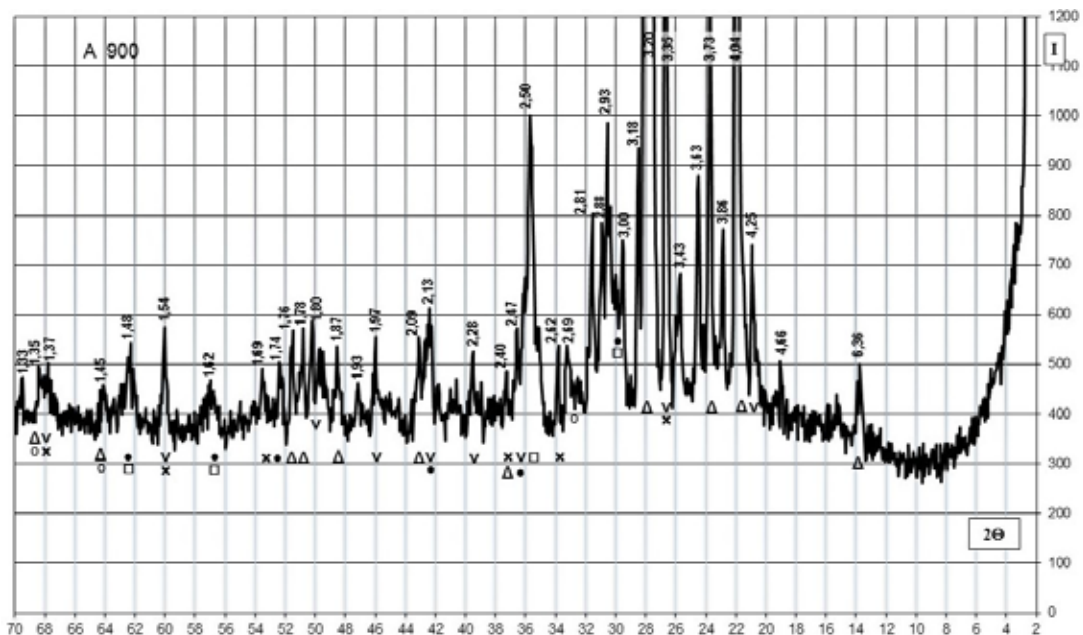


Рис. 3. Дифрактограма проби андезиту після випалу: Δ олігоклаз-андезин, ● авгіт, □ магнетит, ○ рогова обманка, x біотит

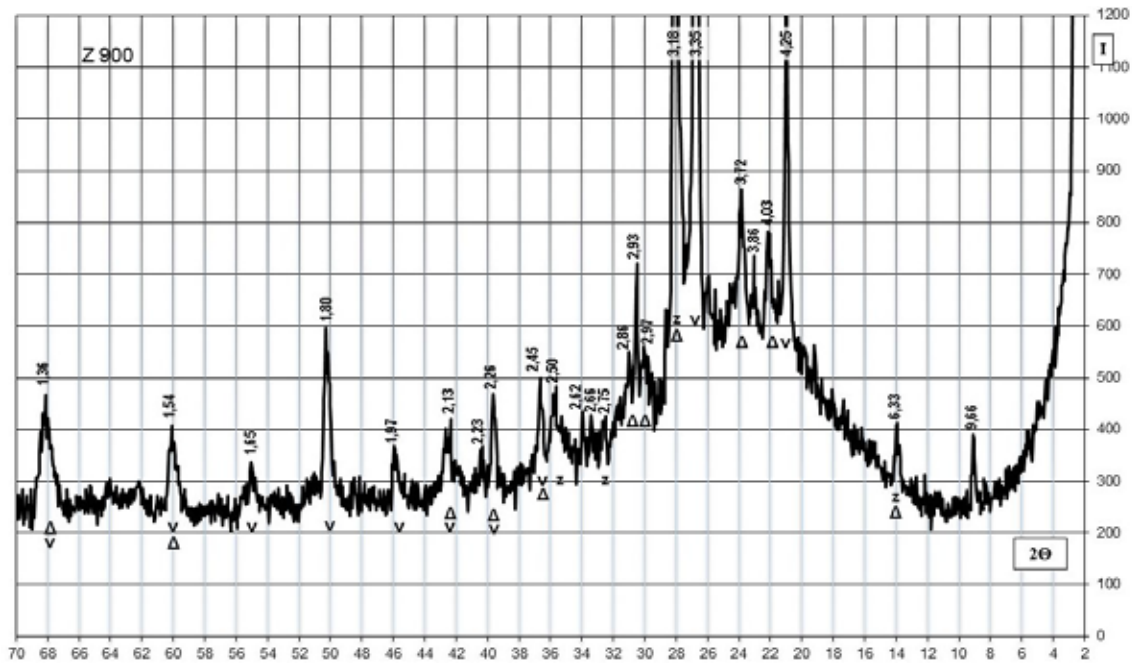


Рис. 4. Дифрактограма проби цеоліту після випалу:
z клинофтилоліт, v кварц, • гідрослюда,
Δ польовий шпат

Таблиця 3

Хімічний склад композицій

Код проби	Вміст оксидів, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
56	61,81	13,78	4,76	0,43	6,30	1,53	1,76	2,26	9,96
86	59,31	14,95	6,73	0,55	7,22	1,40	2,10	2,13	5,22

При постійній концентрації глинистого зв'язуючого варіювання кількісного співвідношення андезиту і цеоліту від 1:1 (проба 56) до 7:1 (проба 86) призводить до підвищення вмісту оксиду алюмінію, зменшення співвідношення SiO₂ : Al₂O₃ і кількості оксидів типу RO (табл. 3).

Аналіз структури і властивостей кераміки

Структурні особливості кераміки з дослідних мас виявляються під час аналізу пористості та фазового складу після випалу.

Встановлено (рис. 5), що після швидкісного випалу на 1125°C кераміка з маси 86 відрізняється від зразків 56 меншою загальною пористістю при низькому ступені розвитку закритих пор.

При збільшенні максимальної температури швидкісного випалу до 1200°C кераміка з маси 86 характеризується зменшенням загальної пористості з 23,1 до 17,7% при незначному розвитку закритих пор, питома частина яких зростає з 0,1 до 80,5% (рис. 5). Зразки 56 відрізняються одночасним збільшенням загальної та закритої пористості.

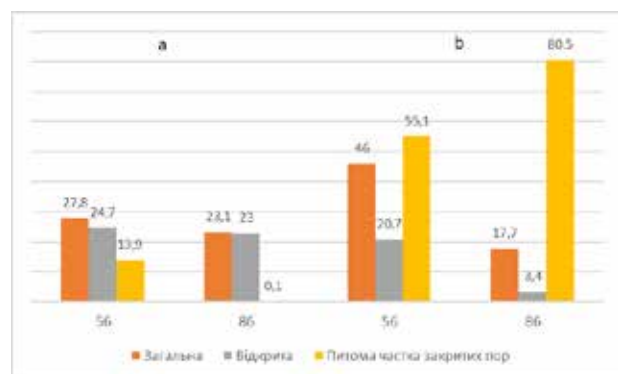


Рис. 5. Пористість кераміки після швидкісного випалу на 1125°C (а) і 1200°C (б)

За даними рентгенофазового аналізу (рис. 6), після швидкісного випалу на 1200°C кераміка з маси 86 характеризується наявністю комплексу кристалічних фаз, розподілених у розвиненій склофазі.

Проведені випробування дозволили оцінити рівень залежності показників властивостей кераміки з дослідних мас від їх складу та режиму випалу (табл. 4).

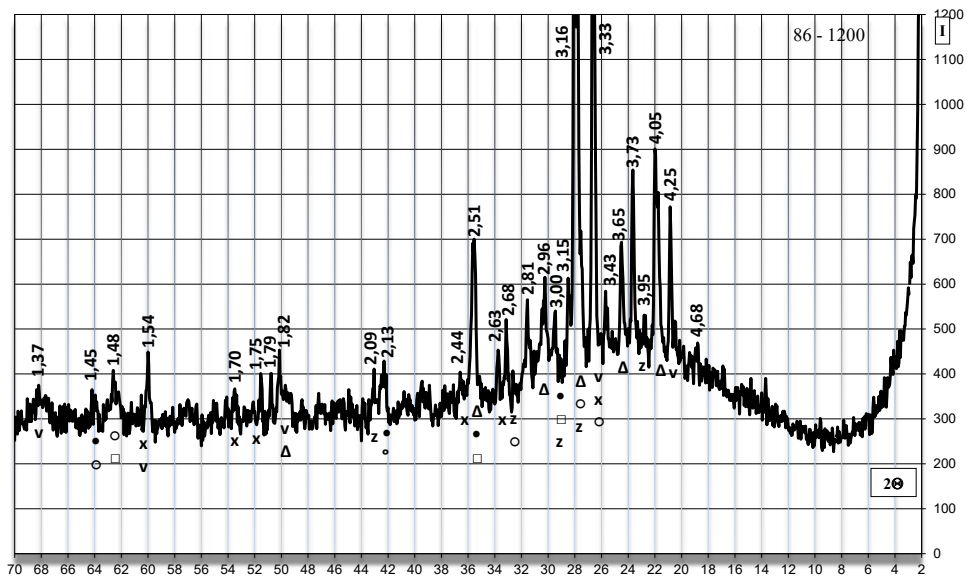


Рис. 6. Дифрактограма кераміки 86 після скоростного обжигу на 1200°C: Δ олигоглаз-андезин, ● авгіт, □ магнетит, ○ рогова обманка, x біотит, z клиноптилоліт, v кварц

Встановлено, що після швидкісного випалу протягом 55 хвилин з максимальною температурою 1125°C кераміка з маси 86 відрізняється від зразків 56 більшим ступенем спікання – меншим водопоглинанням (w) і більшою середньою густиною (ρ) при мінімальній усадці (l).

Таблиця 4

Властивості кераміки з дослідних мас

Код проби	1125°C			1200°C		
	l, %	w, %	ρ , г/см ³	l, %	w, %	ρ , г/см ³
56	1,4	13,4	1,84	+1,5	15,2	1,36
86	0,1	11,4	2,04	2,6	1,6	2,15

При швидкісному випалі протягом 65 хвилин з максимальною температурою 1200°C відзначається істотна інтенсифікація спікання кераміки з маси 86: водопоглинання зменшається з 11,4 до 1,6 мас. %, середня густина зростає з 2,04 до 2,15 г/см³. При цьому важливо, що інтенсифікація спікання відбувається при відносно малій усадці зразків 0,1–2,6%.

Маса 56 вирізняється більш коротким інтервалом спікання: при збільшенні температури випалу

від 1125 до 1200°C середня густина зразків значно зменшується, має місце спучення.

Висновки.

1. Отримані результати досліджень та випробувань показують ефективність та особливості комплексного використання відсівів видобутку вулканічних порід як опіснювача-плавня в керамічних масах на основі системи андезит-цеоліт – глина.

2. Показано залежність ступеня спікання кераміки при швидкісному випалі в інтервалі максимальних температур 1125–1200°C від кількісного співвідношення андезит : цеоліт з розширенням інтервалу спікання зі збільшенням концентрації андезиту.

3. Встановлено можливість підвищення деформаційної стійкості кераміки з вивчених мас, обумовленої малою усадкою 0,1–2,6% при спіканні до водопоглинання 13,4–1,6 мас. %, що важливо для технології виробництва керамічних плиток.

4. Відзначено особливості структурних змін – пористості та фазового складу кераміки при швидкісних режимах випалу як факторів впливу на показники властивостей.

Список літератури:

1. Nassetti G. Technological and productive innovations in the ceramic industry with particular reference to ceramic floor and wall tiles. Materials Science and Engineering: A. 1989. Vol. 109. P. 417-425.
2. Philippe Boch, Jean-Claude Niepce. Ceramic Materials: Processes, Properties, and Applications. John Wiley & Sons. 2010. 573 p.
3. Alan G. King. Ceramic Technology and Processing: A Practical Working Guide (Materials and Processing Technology), 1st Edition. William Andrew. 2003. 533 p.

4. Лисов Ф.М. Влияние структурно-механических изменений плиточных масс на деформацию неглазурованных плиток. Научные основы технологии и развития производства стеновой строительной керамики. К.: Наукова думка. 1972. С. 180-185.
5. Andreev D. V., Zakharov A. I. Ceramic item deformation during firing: Effects of composition and microstructure (review). *Refractories and Industrial Ceramics*. 2009. Vol. 50(4). P. 298-303.
6. Sighinolfi D. Experimental study of deformations and state of tension in traditional ceramic materials. *Industrial Ceramics*. 2010. Vol. 30(3). P. 187-194.
7. Swapan Kr Das, Kausik Dana, Nar Singh, Ritwik Sarkar. Shrinkage and strength behaviour of quartzitic and kaolinitic clays in wall tile compositions. *Applied Clay Science*. 2005. Vol. 29. Is. 2. P. 137-143.
8. Pondee B., Thiemsorn W. Influences of pyrophyllite and CaO/K₂O on phase transformation and properties of ceramic body and glaze for single firing. *Conference Proceedings AIP* Vol. 2279, Is. 1. 060008. 2020. <https://doi.org/10.1063/5.0023385>
9. Çetin Öztürk, Süleyman Akpınar, Müge Tarhan. Investigation of the usability of Sille stone as additive in floor tiles. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2021. Vol. 57. Is. 2. P. 567-577.
10. Страшненко С.В., Черняк Л.П. Хімічно стійка кераміка з гранично опіснених мас. Вісник Національного технічного університету "ХПІ": Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків: НТУ "ХПІ". 2004. № 34. С. 157-165.
11. Черняк Л.П., Страшненко С.В. Повышение деформационной стойкости при обжиге керамических труб. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. К.: Знання. 2007. Вип. 25. С. 117-121.
12. Авт. св. 1655948 СССР на изобретение, МПК СС04В 33/00. Керамическая масса / Белостоцкая Л.А., Страшненко С.В., Черняк Л.П.; заявник та патентовласник «ХПІ». № 4663123/33; заявл. 06.02.1989, опубл. 15.06.1991, Бюл. № 22.
13. Edgel G. J. I. *The Testing of Ceramics in Construction*. Whittles. 2005. 278 p.
14. Пахомова В.М., Дорогань Н.О., Черняк Л.П. Виготовлення та тестування композитів з різновидами мінеральних зв'язуючих і наповнювачів: лабораторний практикум. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, вид-во «Політехніка». 2019. 68 с.
15. Ribeiro Ana C. F., Cecilia I. A. V. Santos, Gennady E. Zaikov. *Chemical Analysis: Modern Materials Evaluation and Testing Methods*. CRC Press. 2016. 302 p.

Chernyak L.P., Melnyk L.I., Pakhomova V.M., Shnyruk O.M. CERAMIC COMPOSITE BASED ON VOLCANIC ROCKS

The purpose of the work was to study the possibility of obtaining a ceramic composite based on a complex of volcanic rocks with increased deformation resistance during heat treatment. The combination of modern physico-chemical methods of analysis of silicate materials with standardized tests of ceramic properties are used. An analysis of the composition of volcanic rocks - screenings of andesite and zeolite mining of Zakarpattia deposits was carried out. Differences in sintering of samples of the specified rocks in the range of maximum firing temperatures of 800–1100°C were established. A conclusion about the expediency of the complex use of andesite and zeolite in the composition of a ceramic composite was made. The composition of experimental ceramic masses characterized by a high concentration of descriptive components with their quantitative ratio to the binder – clay of 4:1 was determined; by varying the quantitative ratio of andesite: zeolite from 1:1 to 7:1; using low-melting polymineral clay as a binding component. The dependence of the degree of sintering of ceramics during high-speed firing in the range of maximum temperatures of 1125–1200°C on the quantitative ratio of andesite: zeolite is shown, with an increase in the sintering interval with an increase in the concentration of andesite. The possibility of increasing the deformation resistance of ceramics from the studied masses due to a small shrinkage of 0,1–2,6% during sintering to a water absorption of 13,4–1,6 mass has been established. %, which is important for the production technology of ceramic tiles. Features of structural changes – porosity and phase composition of ceramics during high-speed firing regimes as influencing factors on property indicators were noted. The obtained results of research and tests show the effectiveness and features of the complex use of screenings of volcanic rock mining as a thickener in ceramic masses based on the andesite-zeolite-clay system.

Key words: composite, ceramics, andesite, zeolite. composition, firing, shrinkage, deformation, structure, properties.

Черьопкіна Р.І.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Яценко С.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Денисенко А.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОТРИМАННЯ КАРТОНУ ІЗ НАПІВФАБРИКАТІВ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ

За результатами аналізу розвитку світового ринку картонно-паперової продукції сформовано тенденції щодо збільшення випуску пакульних видів паперу і картону. Розглянуто недоліки використання макулатури як основної сировини у виробництві картону та вирішення проблеми за рахунок додавання первинного волокна листяних порід. Відзначено виняткову роль швидко зростаючих порід деревини для отримання волокнистих напівфабрикатів, які дозволяють підвищити конкурентноздатність целюлозно-паперової галузі.

Досліджено хімічний склад *Paulownia Clone in Vitro 112*® та доведено перспективність використання її як повноцінного джерела сировини для ЦПВ. Виходячи з хімічного складу павловнії, запропоновано застосування модифікованого сульфітного способу перероблення деревини у слабо лужному середовищі. Вивчено вплив тривалості варіння та застосування каталізатора антрахінону на показники якості напівфабрикатів. Ефективність проведення варіння лужно-сульфітним способом деревини павловнії доведена результатами отримання напівфабрикатів від напівцелюлози до целюлози підвищеного виходу з показниками міцності як для лужних волокнистих напівфабрикатів. За результатами дослідження сформовано напрямки використання отриманих напівфабрикатів, які співпадають зі світовими тенденціями щодо виготовлення пакувальних видів продукції. Експериментально доведено, що напівцелюлоза отримана за нетривалого варіння характеризується підвищеною жорсткістю, що найкраще забезпечує властивості картону для споживчого пакування. Показано, що волокна з низьким вмістом лігніну, отримані тривалим варінням павловнії, а також в присутності антрахінону за фізико-механічними показниками є повноцінною сировиною для виробництва картону тарного макулатурного та картону для плоских шарів гофрокартону.

Вирощування швидко зростаючого сорту *Paulownia Clone in Vitro 112*® та використання деревини з метою перероблення на волокнисті напівфабрикати є перспективним практичним напрямом, реалізація якого допоможе у пошуку дефіцитної листяної сировини. Отримані результати досліджень можуть бути корисними для целюлозно-паперової промисловості, лісового господарства.

Ключові слова: *Paulownia Clone in Vitro 112*®, лужно-сульфітне варіння, напівцелюлоза, целюлоза підвищеного виходу, картон.

Постановка проблеми. Для виробництва картону нині, в основному, використовується макулатура. Однак треба відмітити, що вторинна сировина у вигляді макулатури не може забезпечити необхідні споживчі властивості різних видів паперу і картону. У першу чергу це пов'язано з низькими паперотворними властивостями таких волокон за рахунок багаторазового їх перероблення. Ця закономірність пояснюється поступовим ороговінням волокон, що призводить до

зниження набухання і, відповідно, фібрилювання, а також їх укорочення [1, 2].

Альтернативою підвищення втраченого потенціалу макулатури вважається додавання у композицію свіжого волокна. Практичними випробуваннями доведено, що саме напівфабрикати з високим вмістом пентозанів отриманих з листяних порід мають максимальну здатність до набухання, фібрилювання, утворення водневих зв'язків [3].

Тому важливим завданням дослідження є використання листяних порід для перероблення на волокнисті напівфабрикати. Для зниження шкідливого впливу на довкілля перспективним способом отримання напівфабрикатів може бути модифікація нейтрально-сульфітного способу за рахунок використання луку у розчині. Це дозволить проводити процес варіння у слабо лужному середовищі з максимальним розчиненням мінеральної і екстрактивної частин деревини та отриманням напівфабрикатів з усіма перевагами лужного варіння щодо їх показників міцності [4].

За останнє десятиліття у світовій целюлозно-паперовій промисловості спостерігається тенденція до підвищення на 30% виробництва пакувального паперу та картону, що пояснюється попитом на електронну торгівлю [5]. У 2022 році зростання випуску тарних видів картону за минуле десятиліття досягло піку і планується, що у 2023 році і подальші роки їх виробництво досягне нових історичних максимумів [6].

Складаються нові умови для підприємств галузі, які потребують гнучкого переходу на випуск затребуваних різних видів упаковки. Актуальним постає також питання забезпечення виробництв якісною сировиною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складні часи переживає вітчизняне картоно-паперове виробництво. Різні суб'єктивні та об'єктивні причини останніх трьох років призвели не тільки до створення дефіциту сировини, але і скорочення кількості виробництв. На початок 2020 року в Україні налічувалося біля 100 підприємств, які займалися виробництвом паперу і картону та їх переробленням [7]. За даними асоціації Укрпапір до складу учасників асоціації входило 35 підприємств, що діють на території України. Через військову агресію росії кількість підприємств учасників асоціації на початок 2023 року, які можуть продовжувати свою роботу скоротилося до 14 [7].

Підприємствами галузі за 2022 рік знизилося виробництво паперу та картону і індекс обсягів виробництва по відношенню до 2021 складає лише 55,8%, а для виробництва ящиків для гофкартону 58,9% [7].

Однією з причин треба визнати той факт, що майже всі підприємства для виробництва паперу і картону використовують вторинну сировину у вигляді макулатури [8, 9]. Однак традиційно впродовж багатьох років власної макулатури недостатньо. Пояснення цьому просте – через низький рівень збору і її заготівлі неможливо

забезпечити технологічні потреби виробників цим цінним видом сировини. Як наслідок відзначається висока залежність підприємств галузі від імпортової макулатури [10].

За останні три роки карантинні обмеження призвели до підвищення попиту на макулатуру і тому ціни на неї постійно зростали не тільки в Україні, але і в Європі. Необхідно зауважити, що із поширенням діджиталізації у багатьох сферах, збільшилося споживання пакувальних і санітарно-гігієнічного видів паперу та виробів із картону, які використовують у композиції 80–100% макулатури. Така тенденція пояснюється легкістю забезпечення санітарних норм під час пандемії, зручністю пакування, особливо, у харчовій сфері, а також зниженням навантаження на навколишнє середовище [10].

Для підвищення конкурентоздатності виготовлення упаковки з макулатури неминучим є впровадження сучасних інноваційних технологій. Вони, в першу чергу, стосуються отримання волокнистих напівфабрикатів швидко зростаючих порід деревини.

Останнім часом вченими та практиками значна увага приділяється переробленню на целюлозу листяних порід деревини і, особливо, тих, які швидко ростуть [11]. До найбільш вивчених і таких, що має промислово практичне застосування у целюлозно-паперовому секторі є листяна деревина евкالیпту. Целюлоза із цієї деревини відноситься до коротковолокнистих напівфабрикатів і успішно використовується у композиції багатьох видів паперу і картону, а також для хімічного перероблення [11].

За дослідженнями світових трендів попит на напівфабрикати із листяних порід буде зберігатися [11]. Це пояснюється специфічними властивостями таких волокон як надання м'якості паперу, непрозорості, щільності, [11, 12].

Однозначно превалюючим фактором конкурентоздатності хімічного перероблення листяних порід деревини є високий приріст деревини у короткий термін, що дозволить забезпечити зростаючі потреби у волокнистих напівфабрикатах.

Потужний розвиток генної інженерії дозволяє виводити все нові сорти дерев, які швидко ростуть і забезпечують високий приріст деревини. До таких дерев, що мають потенціал вирощування у різних кліматичних зонах відноситься павловнія [13]. З урахуванням найкращих умов вирощування цієї деревини вченими досліджено та виведено більше 9 сортів [13].

На сьогоднішній день можна впевнено констатувати, що на території України майже у всіх областях стали культивувати вирощування такого виду павловнії як Clone in Vitro 112® з метою отримання як ділової деревини, так і біопалива [14, 15].

До переваг цього сорту необхідно віднести універсальність вирощування рослини з точки зору швидкості росту. На п'ятий рік деревина досягає розмірів ділової та після її зрізання рослина здатна регенерувати новий пагін. З 1 га можна отримати до 400 м³ маси кругляка [16]. Стовбур деревини павловнії рівний, чистий і гладкий та не містить вузлів. Дерево відроджується природним шляхом із наявної кореневої системи, тому його ще називають Фенікс Деревом. Це означає, що можна зібрати від мінімум 3 до максимум 5 поколінь деревини без необхідності пересадки дерева [17].

До переваг використання павловнії у целюлозно-паперовому виробництві треба віднести те, що за хімічним складом деревина знаходиться на рівні з хвойними і листяними породами. Це дає можливість характеризувати її як повноцінну сировину для перероблення на волокнисті напівфабрикати [16, 18].

Формулювання цілей статті. Метою роботи є отримання волокнистих напівфабрикатів модифікованим лужно-сульфітним способом з деревини павловнії та їх використання для виготовлення картону.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження хімічного складу використовували однорічні пагони павловнії *Paulownia Clone in Vitro 112®*, які подрібнювали до стану тирси довжиною 1–2 мм.

У сировині, відповідно до стандартів TAPPI, проаналізовано вміст холоцелюлози – Т 249, целюлози азотнокислим способом, лігніну TAPPI 60(10):143 (1977), золи Т 211, речовини, що екстрагуються спирто-бензольною сумішшю (СЖВ) – Т 204,

речовини, що екстрагуються холодною водою та гарячою водою – Т 257 та речовини, що екстрагуються 1% NaOH – Т 212 [19].

Відомо, що на початку росту деревина характеризується більшим вмістом лігніну. З віком поступово відбуваються зміни хімічного складу в сторону збільшення вмісту целюлози, а лігнін, навпаки – знижується. З аналізу даних хімічного складу однорічної деревини павловнії видно, що за вмістом целюлози вона наближається до хвойних порід деревини та дещо перевищує ці показники для листяних. Щодо лігніну, то закономірно для такого віку його вміст підвищений у порівнянні із листяними породами. Особливо треба відмітити низький вміст екстрактивних речовин у вигляді СЖВ, що важливо для перероблення деревини сульфітними способами. Дещо підвищені значення отримано зольності, що обумовлює використання у розчині лужного реагенту для її розчинення.

Дослідження хімічного складу деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®*, а також тенденції щодо екологічності варіння дозволили визначитися щодо застосування модифікованого нейтрально-сульфітного способу варіння у лужному середовищі з використанням розчинної основи та подальшою регенерацією хімікатів.

Підготовка деревини павловнії до варіння лужно-сульфітним способом складалася з трьох етапів: висушування, обкорування, отримання трісок.

Однорічні пагони павловнії після технічного зрізання досягали довжини від 1,3 до 2,7 м, тому їх укорочували до приблизно 60–70 см і висушували впродовж трьох місяців на повітрі.

Обкорування деревини проводили вручну. З обкорованих пагонів отримували тріски довжиною 2,5–3 см, товщиною 1,8–2,2 мм.

Для приготування лужно-сульфітного варильного розчину використовували сіль Na₂SO₃ та

Таблиця 1

Хімічний склад деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* у порівнянні із хвойними та листяними породами

Сировина	<i>Paulownia Clone in Vitro 112®</i> (один рік)	Павловнія [18]	Сосна [18]	Береза [18]
Целюлоза, %	46,3	50,6	47,0	41,0
Лігнін, %	23,9	21,4	27,5	21,0
Холоцелюлоза, %	71,4	-	-	-
Геміцелюлози, (пентозани) %	-	(13,6)	10,4	28,0
Екстракція H ₂ O, %	7,6	-	6,7	2,2
Екстракція NaOH, %	27,6	-	19,4	11,2
СЖВ, %	1,5	-	3,4	1,8
Зола, %	0,8	0,5	0,2	0,5

NaOH як буфер. Розчин для варіння готували концентрацією 4,5% SO_2 з додаванням 0,1% антрахінону (АХ) від маси абс. сух. сировини та без нього.

Процес варіння трісок павловнії проводили у гліцериновій бані за температурним режимом, який наведено на графіку (рис. 1).

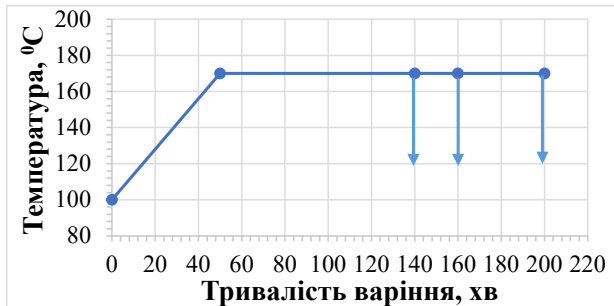


Рис. 1. Температурний режим варіння павловнії лужно-сульфитним способом

Схематичний процес делігніфікації деревини павловнії в лабораторних умовах можна навести наступним чином: з деревини павловнії отримують тріски до яких додають розчин для варіння – в результаті отримують целюлозу і відпрацьований розчин (рис. 2).



Рис. 2. Схематичний процес делігніфікації деревини павловнії лужно-сульфитним способом

Заповнені трісками і варильним розчином за ГМ 5:1 автоклави опускали у наперед нагріту гліцеринову баню до температури 100°C. Підйом температури впродовж 70 хв до кінцевої супроводжується просоченням трісок за рахунок витіснення води і повітря з пор та порожнин сировини і підвищенням тиску в автоклаві. Одночасно відбуваються реакції між активними реагентами варильного розчину SO_2 та OH^- і компонентами рослинної сировини. До основних реакцій треба віднести сульфонування лігніну, розчинення лужного лігніну і екстрактивних речовин та низькомолекулярних фракцій вуглеводів. Швидкість розчинення лігніну залежить від температури та тривалості варіння. Тому після досягнення кінцевої температури 170°C варіння продовжували 90 хв 120 хв та 150 хв.

По закінченні варіння автоклави витягали згідно графіка, охолоджували, відділяли твердий залишок від відпрацьованого щолоку і промивали його проточною водою на ситах.

У твердому залишку визначали вихід, залишковий вміст лігніну та фізико-механічні показники [19].

Для визначення показників міцності волокнисті напівфабрикати розмелювали і виготовляли лабораторні зразки у відповідності до методик TAPPI T 205 та T 262 [19].

Показники якості, отриманих в результаті варіння волокнистих напівфабрикатів, наведено на рис. 3–4.

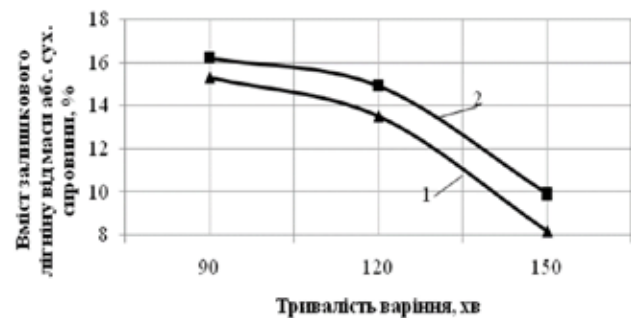
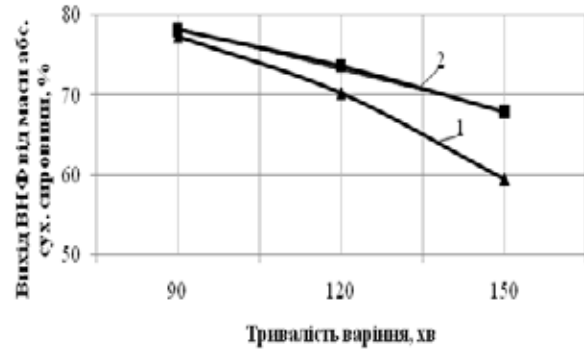


Рис. 3. Залежність виходу волокнистих напівфабрикатів, вмісту залишкового лігніну від тривалості варіння та каталізатора: 1 – варіння з антрахіноном; 2 – варіння без антрахінону

Як видно із наведених даних, отримано волокнисті напівфабрикати в широкому діапазоні виходу – від напівцелюлози до целюлози підвищеного виходу. Закономірно з тривалістю варіння відбувається поглиблення делігніфікації трісок, що позначається на зниженні виходу і залишкового лігніну. Важливим фактором впливу на процеси, які відбуваються під час варіння, можна вважати використання антрахінону як каталізатора. У всіх випадках використання антрахінону призводить до покращення ступеня делігніфікації трісок у порівнянні без антрахінону. Частково процеси, які протікають під час варіння можна пояснити одночасною взаємодією з компонентами деревини як сульфитних, так і гідроксильних іонів. У лужному середовищі просочування трісок варильним розчином пришвидшується, що призводить до скорочення тривалості варіння. Під дією гідроксильних іонів у ході варіння утворюється лужний лігнін, а сульфит-

них іонів – лігносульфонати. Особливістю застосування більш лужного розчину в даному випадку сприяє також розчиненню екстрактивних речовин і золи, що відображається у зниженні виходу (рис. 3), але, з іншого боку, позитивно впливає на показники міцності волокон (рис. 4).

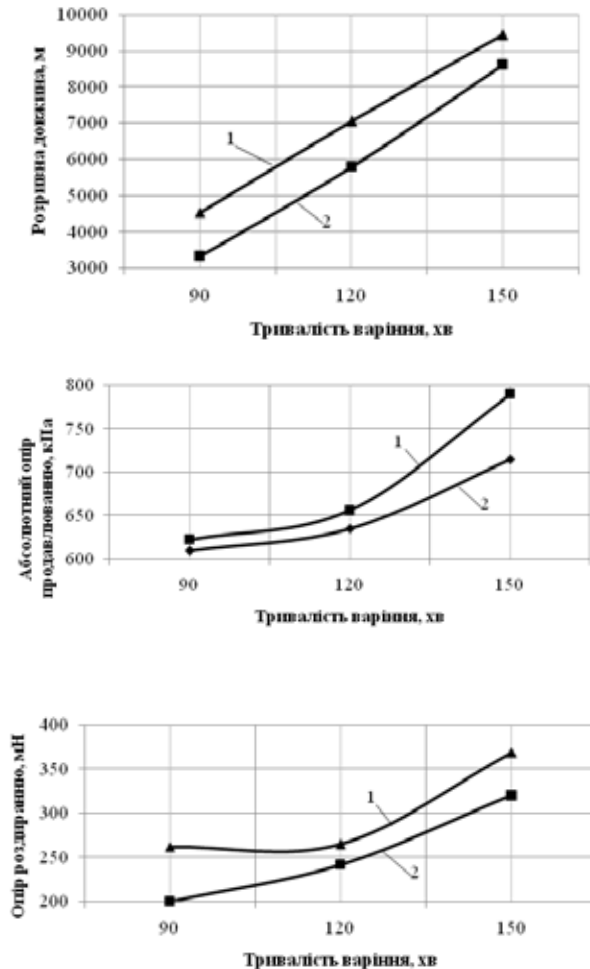


Рис. 4. Залежність розривної довжини абсолютного опору продавлюванню, опору роздиранню від тривалості варіння та каталізатора: 1 – варіння з антрахіноном; 2 – варіння без антрахінону

Показники розривної довжини із збільшенням тривалості варіння від 90 хв до 150 хв покращуються без АХ на 61,4%, з АХ на 52%, однак за однієї тривалості варіння ці показники для ВНФ з АХ вищі на 26–8% відповідно. Така ж закономірність спостерігається щодо опору роздиранню, де значення вищі для ВНФ, отриманих з АХ приблизно на 23%, а з тривалістю варіння в межах 14–37%.

На показник опору продавлюванню переважаючий вплив має також використання АХ, що призводить до підвищення значень з тривалістю варіння на 21% проти 14% без АХ.

Особливістю отриманих ВНФ є високі значення показника міцності на злом під час бага-

торазових перегибах, які знаходяться в межах 1500–5000 к.п.п., що наближається до показників целюлози із хвойних порід.

Таким чином, варіння трісок павловнії в умовах підвищеної лужності дозволяє отримувати напівфабрикати з високими показниками міцності. Характерною ознакою такого процесу може бути поглиблення делігніфікації сировини та збереження значної частини геміцелюлоз, які розподіляються приблизно рівномірно у товщі клітинної стінки, що сприяє набухання і подальшому якісному внутрішньому і зовнішньому фібрилюванню. У результаті це призводить до утворення та збереження міцних водневих зв'язків, які знаходяться на рівні лужних напівфабрикатів.

Отримані волокнисті напівфабрикати за різної тривалості варіння з використанням АХ та без нього, використовували для виготовлення картону.

Для визначення показників міцності картону волокнисті напівфабрикати розмелювали до 40 °ШР та виготовляли лабораторні зразки картону масою 200г/м² у відповідності до методик ТАРРІ Т 220 [19].

Після проведення ряду досліджень та оброблення даних отримано фізико-механічні характеристики досліджуваних зразків картону. На основі аналізу експериментальних даних побудовано діаграми для кожного виду картону від якості отриманих напівфабрикатів у залежності від тривалості варіння та використання антрахінону (рис. 5–8).

Картон для споживчого пакування. Для більшості видів картону жорсткість є однією з основних характеристик, оскільки упаковка, що виготовляється з картону виконує функцію захисту.

Під жорсткістю картону прийнято розуміти його опір деформаціям, що виникають під впливом зовнішніх сил і навантажень. Жорсткість картону визначається його товщиною та пружними властивостями вихідної сировини. Показники якості картону для споживчого пакування показано на рис. 5.

Як видно з діаграми, найбільшою жорсткістю характеризуються напівфабрикати у вигляді напівцелюлози з вищим вмістом лігніну, тобто отримані за нетривалого варіння. У даному випадку лігнін виступає армувальним матеріалом, надає жорсткості волокну і перешкоджає деформаціям, що виникають від статичних та динамічних навантажень у процесі експлуатації картону. За основними показниками, які висуваються для картону для споживчого пакування, всі напівфабрикати забезпечують значення показників, а у деяких випадках перевищують їх у три рази [20].

Картон тарний. Жорсткість картону поряд з руйнівним зусиллям під час стиснення кільця (RCT,Н/мм) та зусиллям стиснення на коротку відстань (SCT,кН/м) відноситься до його деформаційних характеристик.

Картон тарний під час експлуатації піддається динамічним навантаженням та статичним, які обумовлені стисненням і розтягуванням.

Сутність методу руйнівного зусилля під час стиснення кільця (RCT, Н/мм) полягає у визначенні руйнівного зусилля під час осьового стиснення встановленої на ребро і звернутої в кільце смужки картону.

Метод стиснення на коротку відстань (SCT, кН/м) відображає реальне зусилля, необхідне для руйнування структур міжволоконних зв'язків (рис. 6).

Як видно із даних наведених на рис. 6 показники руйнівного зусилля під час стиснення кільця та зусилля стиснення на коротку відстань підвищуються зі збільшенням тривалості оброблення,

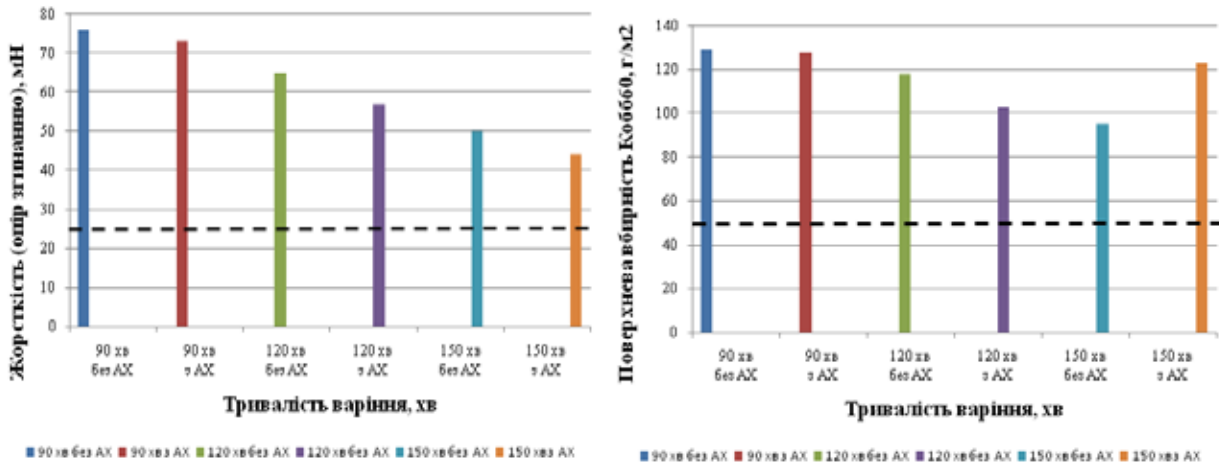


Рис. 5. Показники якості картону для споживчого пакування із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння з використанням каталізатора або без нього

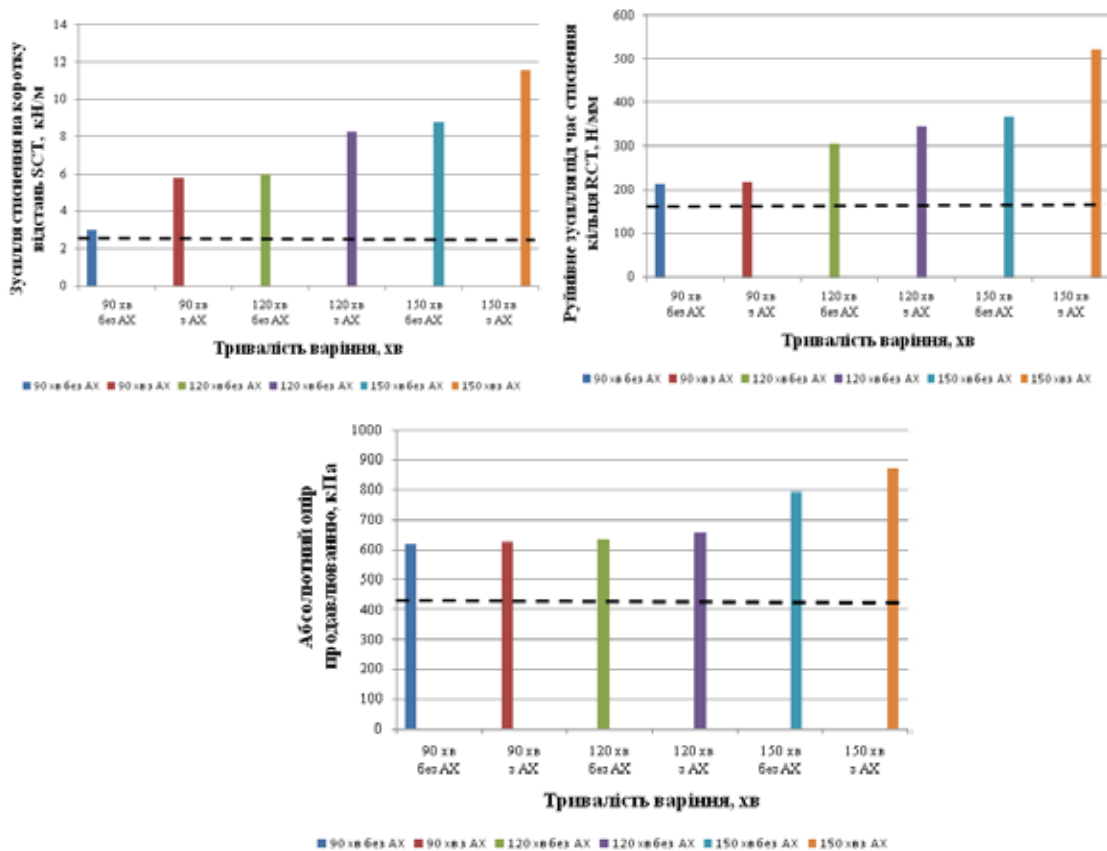


Рис. 6. Показники якості картону для споживчого пакування із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння в присутні каталізатора або без нього

а відповідно, поглиблення ступеня проварювання напівфабрикатів. Показник абсолютного опору продавлюванню відноситься до показників міцності і залежить, в основному, від гнучкості та еластичності волокон, що характеризуються меншим вмістом лігніну, їх довжиною. Його значення у всіх випадках перевищують показники запропонованого стандарту [20].

Картон для плоских шарів гофрокартону.

Картон для плоских шарів гофрокартону призначений для виготовлення пакувальної тари у вигляді ящиків або лотків для пакування овочів, фруктів та ін.

Чинними стандартами якості картону для плоских шарів гофрованого картону регламентується опором продавлюванню, міцність на злом під час багаторазових перегинів та руйнівним зусиллям під час стиснення кільця. Остання характеристика відображає здатність стінки картонної тари зберігати стійкість під впливом стискаючого навантаження та багато в чому визначає її споживчі характеристики.

Отримані значення порівнювали з показниками картону для плоских шарів гофрованого із первинних волокон (СТ СЭВ 1686-89) (рис. 7).

Як видно із діаграм, показники міцності картону прямопропорційно залежать від ступеня проварювання напівфабрикатів, з яких його виготовлено. Спостерігається закономірне зростання показників опору продавлюванню, руйнівного зусилля під час стиснення кільця, міцності на злом під час багаторазових перегинів із продовженням варіння та використанням каталізатора, що призводить до зниження вмісту залишкового лігніну у напівфабрикатах. Найбільший позитивний вплив у даному випадку позначається для показника руйнівного зусилля під час стиснення кільця, оскільки його значення підвищується у 2,5 рази у порівнянні із найменшою тривалістю варіння і без АХ. Опір продавлюванню за тих же умов підвищується приблизно на 30%.

Показник міцність на злом під час багаторазових перегинів характеризує здатність смужки зразка шириною 15 мм витримувати багаторазовий злом на кут 180°. Картон, виготовлений із напівфабрикатів, отриманих лужно-сульфітним

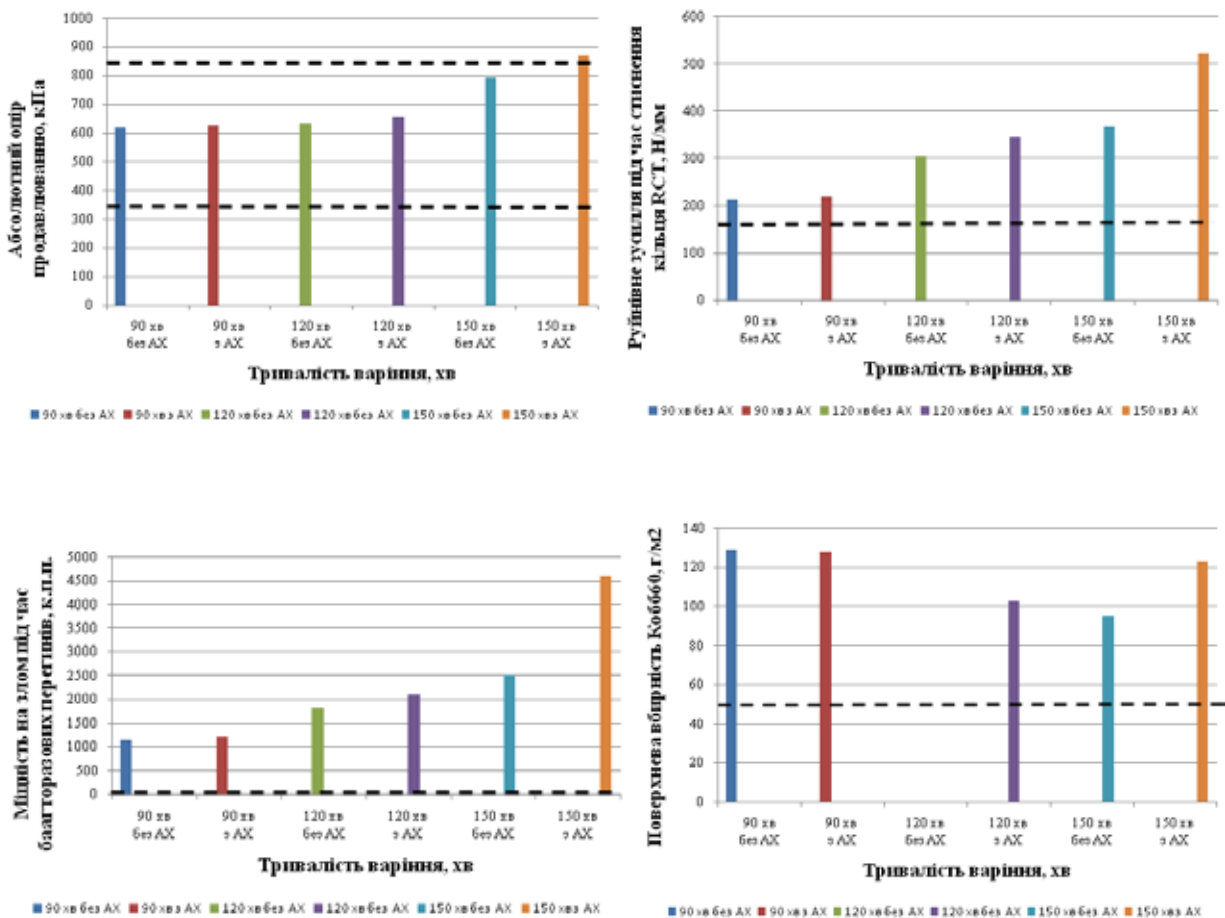


Рис. 7. Показники якості картону для плоских шарів гофрокартону із напівфабрикатів павловнії, отриманих за різної тривалості варіння в присутні каталізатора або без нього

способом характеризується високими показниками злому в межах 1000–5000 к.п.п., що значно перевищують значення для марки КВС.

Такий характер зміни міцності картону залежить від ступеня проварювання напівфабрикатів, міцності окремих волокон, їх гнучкості та сил зв'язку між ними.

На рис. 8 показано візуалізацію лабораторних зразків картону.

Висновки. Показано глобальні трансформації у світовій целюлозно-паперовій галузі направлених на підвищення її конкурентноздатності. Досліджено хімічний склад Paulownia Clone in Vitro 112 і за отриманими даними охарактеризовано деревину як перспективний вид швидкозростаючих порід для перероблення на напівфабрикати. Запропоновано лужно-сульфітний спосіб варіння з використанням каталізатора та отриманням волокнистих напівфабрикатів у широкому діапазоні виходу. Доведено використання напів-



Рис. 8. Візуалізація лабораторних зразків картону, отриманих із волокнистих напівфабрикатів павловнії

фабрикатів з деревини павловнії отриманих лужно-сульфітним способом для виробництва картону для споживчого пакування, картону тарного макулатурного, картону для плоских шарів гофрокартону.

Список літератури:

1. The Effects of Paper Recycling and its Environmental Impact. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/16296> (date of appeal: 05.07.2011).
2. The Problems with Paper Recycling. URL: <https://www.worldcentric.com/journal/problems-with-paper> (date of appeal: 22.09.2021).
3. Benefits and Downsides of Waste Paper Recycling. URL: https://ebrary.net/192272/engineering/benefits_downsides_waste_paper_recycling.
4. Denysenko A.M., Yatsenko S.Y., Cheropkina R.I. On the way to raw materials independence. *Scientific progress: innovations, achievements and prospects: proceedings of the 1st International scientific and practical conference.* (October 9-11, 2022). Munich, Germany: MDPC Publishing. 2022. P. 99–103.
5. Production volume of paper and paperboard worldwide from 2010 to 2021, by type. URL: <https://www.statista.com/statistics/270317/production-volume-of-paper-by-type/> (date of appeal: 25.01.2023).
6. Pulp and Paper Industry 2022 Year in Review. URL: <https://www.fisheri.com/blog/pulp-and-paper-2022-year-in-review> (date of appeal: 20.12.2022).
7. Новини асоціації – УкрПапір. URL: <http://www.ukrpaper.org/news.php>.
8. Державна підтримка українського експорту: целюлозно-паперова промисловість України (2007 р.). URL: <http://www.ukrexport.gov.ua/ukr/p%0Arom/ukr/25.html>.
9. Загальнодержавна цільова програма розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року. URL: http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article;jsessionid=D944B63339CEEEAA38DF66524EE1F845?art_id=74110&cat_id=42148.
10. Ринок вторсировини страждає від незговірливості. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/rinok-vtorsirovini-strazhdaje-vid-uprjaistva-ukrajintsiv-1833401.html> (дата звернення: 12.09.2017).
11. B. Demuner and E. Claudio-da-Silva, Jr. Eucalyptus: Today's Preferred Short-fiber Pulp. *Chapter 6: Essays on Market Pulp.* P. 89–93. URL: https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2005_Preferred_Short_fiber_Pulp.pdf.
12. Celso Foelkel. Advances in eucalyptus fiber properties and paper products. URL: https://www.researchgate.net/publication/237581805_Advances_in_eucalyptus_fiber_properties_and_paper_products.
13. Marcin Jakubowski. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests.* 2022. Vol. 13, № 5. P. 668. DOI: 10.3390/f13050668.
14. PAULOWNIA GROUP UKRAINE. PAULOWNIA CLONE IN VITRO 112®. URL: <http://paulowniagroup.com.ua/>.
15. Anna Stochmal, Barbara Moniuszko-Szajwaj, Malgorzata Szumacher-Strabel, Adam Cieslak. Paulownia Clon in vitro 112®: The tree of the future. *Journal of Nutrition & Food Sciences: 21st World Congress* (July 09-10, 2018). Sydney, Australia. 2018. Vol. 8. P. 33. DOI: 10.4172/2155-9600-C4-063.
16. А.М. Денисенко, С.Ю. Яценко, Р.І. Черьопкіна Павловнія для целюлозно-паперової промисловості Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство»

(20–21 травня м. Київ, Україна, 2021 р.)/ Укладач Д. Е. Бенатов. К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2021. С. 153–156.

17. Szabolcs Koman, Sandor Feher. Physical and mechanical properties of Paulownia clone in vitro 112. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2020. Vol. 78, № 2. P. 421–423. DOI: 10.1007/s00107-020-01497-x.

18. Мацкевич О.В., Філіпова Л.М., Мацкевич В.В., Андрієвський В.В. Павловнія: науково-практичний посібник. Біла Церква: БНАУ, 2019. 80 с.

19. TAPPI test methods. Tappi Press. Atlanta, Georgia. 2004.

20. ТУ У 21.1-05509659-031:2012. Картон для споживчого пакування. Обухів: ПАТ «Київський картоно-паперовий комбінат». 2016.

21. ТУ У 21.1 05509659-026:2005. Картон тарний макулатурний. Обухів: ПАТ «Київський картоно-паперовий комбінат». 2005.

Cheropkina R.I., Yatsenko S.Yu., Denysenko A.M. RECEIVING CARDBOARD FROM SEMI-FINISHED PAULOWNIA WOOD

According to the results of the analysis of the development of the world market of cardboard and paper products, trends have been formed regarding the increase in the production of the current types of paper and cardboard. The disadvantages of using waste paper as the main raw material in the production of cardboard and solving the problem by adding the primary fiber of hardwoods are considered. The exceptional role of fast-growing wood species in producing fibrous semi-finished products, which increase the competitiveness of the pulp and paper industry, is noted. The chemical composition of Paulownia Clone in Vitro 112® was studied and the prospects of its use as a full-fledged source of raw materials for CPV were proven. Based on paulownia's chemical composition, a modified sulfite method of processing wood in a slightly alkaline environment is proposed. The effect of cooking duration and the use of an anthraquinone catalyst on the quality indicators of semi-finished products was studied. The effectiveness of cooking paulownia wood by the alkaline-sulfite method is proven by the results of obtaining semi-finished products from semi-cellulose to high-yield cellulose with strength indicators similar to alkaline fibrous semi-finished products. Based on the results of the research, directions for the use of the obtained semi-finished products were formed, which coincide with world trends in the manufacture of packaging types of products. It has been experimentally proven that semi-cellulose obtained by short-term cooking is characterized by increased rigidity, which best provides the properties of cardboard for consumer packaging. It is shown that fibers with a low lignin content, obtained by long-term cooking of paulownia, as well as in the presence of anthraquinone, according to physical and mechanical parameters, are a complete raw material for the production of packaging waste paperboard and cardboard for flat layers of corrugated cardboard. Cultivation of the fast-growing variety Paulownia Clone in Vitro 112® and the use of wood for processing into fibrous semi-finished products is a promising practical direction, the implementation of which will help in the search for scarce leafy raw materials. The obtained research results can be useful for the pulp, paper industry, and forestry.

Key words: Paulownia Clone in Vitro 112®, alkaline-sulfite cooking, semi-cellulose, high-yield cellulose, cardboard.

Чигиринець О.Е.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ ШКАРАЛУПИ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА НА ЇЇ ЕКСТРАКТИВНІСТЬ ТА АНТИКОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ

У статті наведено результати досліджень із впливу ультразвукової обробки дисперсних порошків шкаралупи волоського горіха на екстрактивність у воді та їх протикорозійну ефективність для захисту прокородованої металевої поверхні. Встановлено, що ефективність протикорозійного захисту Ст3 залежить від рівня екстрагованості шкаралупи волоського горіха. Механізм впливу екстрактивних речовин шкаралупи на корозійні процеси на поверхні металу полягає у хімічній взаємодії з продуктами корозії з утворенням малорозчинних комплексних сполук, які сприяють гальмуванню швидкості корозії. В роботі показано, що для підвищення екстрактивності порошку шкаралупи волоського горіха можливо застосування ультразвукової обробки, яка дозволяє збільшити дисперсність порошку. За 15 хвилин ультразвукової обробки середній розмір частинок змінюється зі 100 мкм до 50 мкм. Дослідженнями встановлено, що обробка ультразвуком протягом 15 хвилин сприяє також збільшенню кількості водорозчинних органічних речовин шкаралупи на 22%. Підвищення екстрагованості порошку рослинного походження можна також досягти за рахунок поєднання ультразвукової обробки порошкової суміші у сухому вигляді з додатковим використанням хімічних речовин – модифікаторів. Найбільш ефективним модифікатором, який сприяє збільшенню водорозчинної частини порошку є цинк фосфорнокислий. Вірогідно під час ультразвукової обробки відбувається ряд хімічних реакцій з компонентами рослинного порошку з утворенням водорозчинних речовин. Комплексна обробка порошку шкаралупи ультразвуком з цинк фосфорнокислим дозволяє збільшити екстрактивність вихідного порошку шкаралупи майже на 50%. Збільшує екстрактивність також щавлевокислий амоній. Модифікатори двовуглекислий цинк та двовуглекислий амоній не демонструють підвищення екстрагованості за рахунок вірогідного розкладу солі з утворенням вуглекислого газу. Показано, що швидкість корозії сталі із шаром іржі суттєво гальмується в водних екстрактах порошків шкаралупи волоського горіха. Модифікація порошку за допомогою ультразвуку дозволяє збільшити ефективність протикорозійного захисту сталі із шаром модельної іржі.

Ключові слова: ультразвукова обробка, шкаралупа волоського горіха, екстрактивність, інгібітор корозії, протикорозійна ефективність.

Постановка проблеми. Підготовка поверхні металопродукції та металопрокату для нанесення захисних протикорозійних покриттів, особливо у випадку, коли на поверхні присутні продукти корозії, вимагає додаткових витрат. Методи, за допомогою яких вирішуються подібні операції, пов'язані із використанням або токсичних реагентів, таких як неорганічні та органічні кислоти, або механічних методів, таких як дробе- та піскоструминна обробка, які також є проблемними, оскільки сприяють забрудненню середовища. Проте підвищення рівня захисних властивостей покриттів, що наносяться по прокородованій поверхні, можна досягти за рахунок використання в лакофарбових покриттях спеціальних добавок, які за рахунок власної екстрактивної частини призводять до інертизації продуктів атмосферної корозії на поверхні металу та підвищення стійкості лакофарбового покриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективними є складові у лакофарбові покриття, які виготовлені із натуральної рослинної сировини, яка щорічно відновлюється. Одним із напрямків в розробці таких складових є використання кісточкових відходів від переробки фруктів та ягід, наприклад шкаралупи горіхів, кісточок персиків, абрикоса, вичавок винограду. Всі ці добавки мають виражені протикорозійні властивості [1-2]. При введенні в ґрунти-праймери, вони надають останнім властивості до взаємодії із продуктами корозії, що знаходяться на поверхні металу. Механізм впливу на продукти корозії пов'язують із хімічною взаємодією органічних екстрактивних сполук рослинних порошків з утворенням нерозчинних комплексних сполук на основі катіонів заліза та високомолекулярних жирних кислот, альдегідів та фенольних

сполук [3]. Екстрактивні речовини рослинних кісточкових порошків є високо реакційними, проте їх кількість може бути недостатньою для повної інертизації продуктів корозії.

Оскільки саме екстрактивна частина грає найважливішу роль у подавленні корозійних процесів під плівкою покриття, то важливою задачею є підвищення вмісту екстрактивної частини пігментів та наповнювачів.

Вибір кісточкової сировини для використання її в складі лакофарбових покриттів обумовлений їх щорічним багатоннажним накопиченням та екологічною чистотою. На сьогодні відомо про широкі дослідження порошків шкаралупи горіхів кеш'ю, кокосової шкаралупи, рисового лушпиння, фінікового насіння та ін. [4]. Причому як протикорозійний компонент використовується не тільки помелена шкаралупа, але і його екстрактивні компоненти. Так авторами [5] досліджено шкаралупу горіха кеш'ю, в якій встановлено наявність широкого спектру екстрактивних органічних речовин, які можна застосувати для отримання «зелених» покриттів, що володіють, в тому числі, і протикорозійними властивостями.

Порошок шкаралупи волоського горіха відомий як протикорозійна добавка для лакофарбових грунтів з властивостями до хімічної модифікації шару іржі на поверхні металу [3]. Загальною рисою рослинних порошків є те, що вони є малорозчинними речовинами, проте при настоюванні в розчиннику здатні до часткового екстрагування.

Механізм впливу антикорозійних наповнювачів рослинного походження у складі лакофарбових матеріалів полягає у впливі на поверхню металу та оксиди заліза саме екстрактивної частини рослинних порошків. Тому кількість екстрактивних компонентів сировини наповнювачів перш за все обумовлює їх протикорозійну ефективність.

Зрозуміло, що у вихідній кісточковій рослинній сировині вміст екстрактивних компонентів не достатній. Так, за результатами досліджень авторів [6] в шкаралупі волоського горіха міститься лише 10,6%, в шкаралупі мигдалю 5,7%, а в шкаралупі кедрового горіха лише 4,5% екстрактивних речовин. Підвищення вмісту екстрактивної частини можна досягти різними методами, наприклад підвищенням дисперсності порошку наповнювача або за рахунок хімічних реакцій з реагентами - модифікаторами.

На сьогоднішній день набув популярності метод подрібнення великої кількості різноманітних матеріалів за допомогою дії ультразвуку (УЗ). Отримання матеріалів надтонкої дисперсності

(частки розміром 1 мкм і менше) має велике значення, оскільки від ступеня подрібнення залежить багато їх властивостей [7]. Існує безліч способів подрібнення твердих речовин (подрібнення сухих порошків, подрібнення в рідкому середовищі за допомогою кульових, струминних та вібраційних млинів), але вони подрібнюють до розмірів близько 100 мкм. І лише ультразвукове подрібнення дозволяє отримати частинки розміром 1 мкм і менше.

Ультразвуковий спосіб екстракції (особливо біологічно активних речовин) є економічно вигідним у промисловості. Диспергування відбувається за рахунок кавітації і взаємного тертя часток, що швидко рухаються і співударяються. Застосування ультразвуку високої інтенсивності дозволяє збільшити швидкість перебігу процесу (у 10–100 разів), підвищити вихід речовин, що екстрагуються, забезпечити екстракцію речовин, недоступних іншими способами, проводити екстракцію при кімнатній температурі, відмовитися від застосування токсичних екстрагуючих агентів, наприклад спирту або бензину.

Постановка завдання. Враховуючи багатифункціональність методу ультразвукового подрібнення, актуальним є дослідження впливу ультразвуку на процес подрібнення шкаралупи волоського горіха та збільшення кількісного виходу екстрактивних речовин. Необхідним є підбір модифікаторів для процесу сухого ультразвукового подрібнення шкаралупи, які сприятимуть збільшенню кількості водорозчинної екстрактивної частини сировини та ефективності протикорозійного захисту Ст3 з шаром продуктів корозії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обробку рослинної сировини ультразвуком здійснювали за допомогою вітчизняного приладу УЗДН – А на максимальному рівні інтенсивності та синхронізації. Ультразвукова обробка сумішей порошків проводилася у сухому вигляді протягом 15 хвилин. Контролювали температуру порошку до та після обробки ультразвуком. Вона не повинна збільшуватися більше ніж 50–60°C.

Екстрактивність порошків визначали до та після ультразвукової обробки, а також у присутності та без добавок реактивів, що виконують роль модифікаторів сировини. Як модифікатори використовували амоній двовуглекислий NH_4HCO_3 (АД), амоній шавлевокислий $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (АЩ) та цинк двовуглекислий (ЦД) в концентраціях 2%, цинк фосфорнокислий $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ЦФ) в концентраціях 2, 5, 10%.

Для визначення вмісту екстрактивних речовин у рослинній сировині отримували водні екстра-

кти шляхом настоювання в дистильованій воді порошку шкаралупи горіха у співвідношенні 1:10 протягом доби. Через добу одержаний розчин ретельно фільтрували. Після цього відфільтрований розчин упарювали у відповідному посуді, у сушильній шафі при температурі 80°C.

Визначення протикорозійної ефективності рослинної сировини здійснювали методом поляризаційного опору. Протикорозійні випробування проводили на зразках циліндричних сталі марки Ст3 із шаром модельної іржі товщиною 20 мкм, які досліджувались у водних екстрактах наповнювачів для лакофарбових покриттів.

Для отримання іржі циліндричні зразки, які були попередньо підготовлені шляхом ретельного зачищення за допомогою шліфувальної машинки та вручну, знежирювали етиловим спиртом та закріплювали на спеціальних тримачах. Наступною підготовчою операцією було травлення протягом 6 хвилин у 10%-ній соляній кислоті при температурі 60–70°C, після чого ретельно промивали дистильованою водою.

Іржу отримували на попередньо підготовлених зразках. Для цього зразки поміщали в ємність з водою, що інтенсивно аерується, на 15 хвилин, після чого сушили 15 хвилин на повітрі. Таку операцію повторювали 3 рази. Після завершення процесу зразки з іржею залишали сушитися на повітрі на 1 добу. Сформований шар іржі мав товщину 20 мкм.

Рівень корозійного руйнування оцінювали за поляризаційним струмом (I_p), який вимірювали за допомогою приладу для вимірювання поляризаційного опору УК-2М. Заміри проводили протягом 10 днів в один і той же час доби. Після закінчення експериментів аналізували зовнішній вигляд зразків.

Для однокомпонентних розчинів за значеннями I_p на останній день вимірів розраховували коефіцієнт гальмування корозії (γ) за формулою

$$\gamma = \frac{I_0}{I_i},$$

де I_0 – поляризаційний струм в системі без інгібуючої добавки (у дистильованій воді), мм/рік;

I_i – поляризаційний струм в системі з інгібуючою добавкою, мм/рік.

У роботі проведено дослідження щодо визначення екстрактивності досліджуваних порошків шкаралупи волоського горіха за впливу ультразвукової обробки. Показано, що без ультразвукового впливу кількість екстрагованих речовин складає 1,73%. Проведення ультразвукової обробки призводить до значного збільшення виходу екстрагованих речовин практично прямо пропорційно часу

обробки (рис. 1). Отримані дані показують, що найбільшу екстрактивність порошок шкаралупи волоського горіха має при обробці ультразвуком протягом 15 хвилин, яка досягає 2,12%. Враховуючи, що подальше збільшення часу обробки не є економічно доцільним, то всі дослідження проведено за умови обробки сировини ультразвуком протягом 15 хвилин.

Дослідження зміни дисперсності обробленого ультразвуком порошку шкаралупи волоського горіха порівняно з вихідним за допомогою мікроскопа біологічної серії «БЮЛАН 70» показало, що дисперсність збільшується від 50 мкм (необроблений порошок ультразвуком) до 25 мкм (15 хвилин ультразвукової обробки).



Рис. 1. Вплив часу обробки ультразвуком на екстрактивність порошку шкаралупи волоського горіха

Оскільки екстрактивність порошку шкаралупи волоського горіха є недостатньою, то закономірно, що додаткова обробка модифікатором може вплинути на підвищення вмісту водорозчинних речовин шкаралупи. В якості модифікаторів обрано амоній двовуглекислий (АД), цинк фосфорнокислий (ЦФ), цинк двовуглекислий (ЦД), амоній щавлевокислий (АЩ) та натрій лимоннокислий (НЛ). Дослідження свідчать, що одночасне подрібнення порошку шкаралупи та модифікаторів призводить до підвищення рівня екстрагованості порошку шкаралупи (рис. 2).

Аналіз отриманих даних досліджень впливу різних добавок на екстрактивність показує, що найбільший вміст екстрактивних речовин утворюється при використанні модифікатора цинку фосфорнокислого, а менший – у присутності двовуглекислого амонію. Останній ефект, мабуть, пов'язаний з тим, що під час ультразвукової обробки двовуглекислий амоній розкладається з утворенням газів.

У той самий час, у роботі [8] показано, що при взаємодії з двовуглекислим амонієм утворюються амонійні солі жирних кислот, які грають

позитивну роль у підвищенні протикорозійної ефективності порошку шкаралупи волоського горіха.

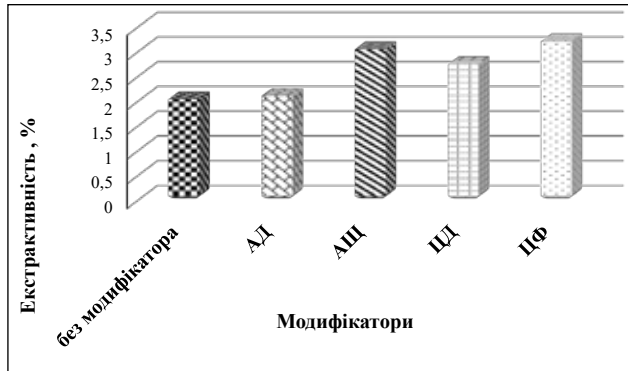


Рис. 2. Вміст екстрактивних речовин порошку шкаралупи волоського горіха при спільній дії ультразвукової обробки та модифікаторів (2 мас.%, 15 хвилин ультразвукової обробки)

В роботі досліджено вплив концентрації модифікатора цинку фосфорнокислого на екстрагованість порошку шкаралупи волоського горіху. Результати представлені на рис. 3. Встановлено, що зі збільшенням концентрації модифікатора від 2 до 10% екстрактивність порошку прямо пропорційно зростає.

Протикорозійну ефективність екстракту порошку шкаралупи волоського горіха, обробленого ультразвуком та модифікаторами, досліджено шляхом визначення зміни швидкості миттєвої корозії сталі у розчинах екстрактів (табл. 1).

Отримані результати свідчать, що модифікатор ЦФ сприяє більш ефективному екстрагуванню та значному гальмуванню корозійного процесу, що відбувається на поверхні прокородованої Ст3 в водному екстракті волоського горіха.

Такий ефект, вірогідно, пов'язаний зі збільшенням екстрактивної частини порошку шкаралупи.

Також ймовірним є утворення на поверхні металу комбінаційних шарів на основі як органічних речовин екстракту рослинного порошку, так і фосфатів цинку. Зі збільшенням концентрації цинку фосфорнокислого та ультразвукової обробки ефективність гальмування корозійного процесу зростає від 2,47 до 4,14, що збільшує ефективність гальмування швидкості корозії практично в 2 рази.

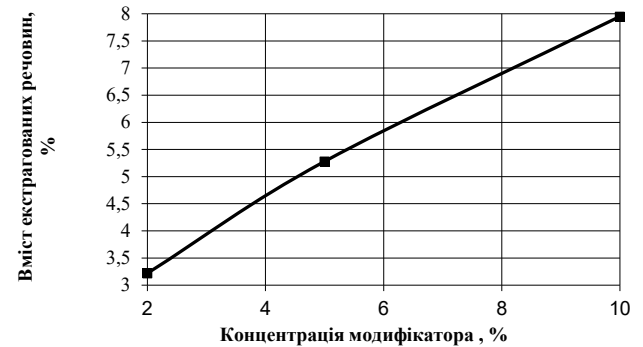


Рис. 3. Вплив концентрації цинку фосфорнокислого при обробці ультразвуком порошку шкаралупи волоського горіха на його екстрактивність

Серед інших модифікаторів ефективним є амоній двовуглекислий, в присутності якого при ультразвуковій обробці суміші утворюється екстракт, який забезпечує гальмування процесу корозії більше, ніж утричі.

Висновки. В роботі показано, що для підвищення екстрагованості рослинних порошоків шкаралупи волоського горіха при ультразвуковому подрібненні доцільно використовувати модифікатори, серед яких найбільш ефективним є цинк фосфорнокислий, який сприяє підвищенню як екстрактивності сировини, так і рівня протикорозійної ефективності Ст3 з шарами продуктів корозії.

Таблиця 1

Коефіцієнт гальмування швидкості корозії, визначена поляризаційним методом, на 10 добу експозиції зразка Ст3 із шаром модельної іржі в екстрактах шкаралупи волоського горіха

Модифікатор	Вміст модифікатора в суміші з порошком шкаралупи волоського горіха %	Наявність обробки ультразвуком, 15 хв.	Коефіцієнт гальмування γ (на 10 добу)
Цинк фосфорнокислий	—	—	2,47
	2	+	4,23
	5	+	6,04
	10	+	4,17
Цинк двовуглекислий	2	+	1,65
Амоній шавлевокислий		+	1,51
Амоній двовуглекислий		+	3,79

Список літератури:

1. Чигиринец Е.Э. Защита от коррозии преобразователями ржавчины на основе промышленных отходов растительного происхождения. *Теория и практика металлургии*. 2001. №1. С. 58–60.
2. Чигиринец Е.Э., Пинчук С.И., Стовпченко А.П., Полякова Н.В. Разработка принципов рационального использования ресурсов при защите прокорродированных металлоконструкций от коррозии. *Теория и практика металлургии*. 2005. № 1–2. С. 127–130.
3. Чигиринец Е.Э., Феденко В.С., Стовпченко А.П., Липатов С.Ю. Спектральные исследования изменения продуктов коррозии стали под воздействием соединений растительных веществ. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2005. № 2. С. 13–17.
4. Sienkiewicz N., Dominic M., Parameswaranpillai Jy. Natural Fillers as Potential Modifying Agents for Epoxy Composition: A Review. *Polymers*. 2022. 14(2). 265. <https://doi.org/10.3390/polym14020265>
5. Zafar F., Ghosal A., Sharmin E., Nishat N. Cashew Nut Shell Liquid (Phenolic Lipid) Based Coating: Polymers to Nanocomposites. // Shahid- ul -Islam. *Integrating Green Chemistry and Sustainable Engineering*. 2019. P. 255–290.
6. Queirós Carla S. G. P., Cardoso S., Lourenço A., Ferreira J., Miranda I., Lourenço Maria José V., Pereira H. Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020. V. 10. P. 175–188. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00424-2>
7. Ye X., Jun Xue S., Shi J. Physical and Mechanical Pretreatment of the Raw Material for the Extraction of Health-Promoting Components.// Jingdun Jia, Donghong Liu, Haile Ma *Advances in Food Processing Technology*. 2019. P. 209–230.
8. Чигиринец Е.Э., Торопин Н.В., Липатов С.Ю. Влияние механохимической прививки азотсодержащих соединений на состав водного экстракта порошка скорлупы грецкого ореха. *Вопросы химии и химической технологии*. 2004. № 6. С. 128–131.

Chyhyrynets O.E. INFLUENCE OF ULTRASONIC TREATMENT OF COMBINED MIXTURES BASED ON WALNUT SHELL AND TITANIUM DIOXIDE ON THEIR EXTRACTIVENESS

The article presents the results of research on the effect of ultrasonic treatment of dispersed powders of walnut shell on extractability in water and their anti-corrosion effectiveness for the protection of a corroded metal surface. It was established that the effectiveness of the anti-corrosion protection of St3 depends on the level of extractability of the walnut shell. The mechanism of influence of extractive substances of the shell on corrosion processes on the surface of the metal consists in chemical interaction with corrosion products with the formation of poorly soluble complex compounds that contribute to inhibition of the corrosion rate. The work shows that to increase the extractability of the walnut shell powder, it is possible to use ultrasonic treatment, which allows to increase the dispersion of the powder. In 15 minutes of ultrasonic treatment, the average particle size changes from 100 μm to 50 μm . Studies have shown that ultrasound treatment for 15 minutes also increases the amount of water-soluble organic substances in the shell by 22%. Increasing the extractability of powder of plant origin can also be achieved by combining ultrasonic treatment of the powder mixture in dry form with the additional use of chemical substances – modifiers. The most effective modifier that helps increase the water-soluble part of the powder is zinc phosphate. Probably, during ultrasonic treatment, a number of chemical reactions occur with the components of the plant powder with the formation of water-soluble substances. Complex treatment of shell powder with ultrasound with zinc phosphate allows to increase the extractability of the original shell powder by almost 50%. Ammonium oxalic acid also increases extractability. Modifiers zinc bicarbonate and ammonium bicarbonate do not show an increase in extractability due to the probable decomposition of the salt with the formation of carbon dioxide. It is shown that the rate of corrosion of steel with a layer of rust is significantly inhibited in aqueous extracts of walnut shell powders. Modification of the powder with the help of ultrasound allows to increase the effectiveness of anti-corrosion protection of steel with a layer of model rust.

Key words: *ultrasonic processing, walnut shell, extractability, corrosion inhibitor, anti-corrosion efficiency.*

Якименко І.К.

Черкаський державний технологічний університет

Солодовнік Т.В.

Черкаський державний технологічний університет

АДСОРБЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ДООЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ВІД СПОЛУК ЗАЛІЗА ТА МАНГАНУ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Децентралізоване водопостачання призначене для забезпечення питною водою окремих будинків або невеликої групи будівель. З цією метою можуть використовуватися різні за походженням води: атмосферні, поверхневі, підземні. Та незважаючи на поширену думку, що вода з джерел, каптажів та колодязів є достатньо якісною для питних потреб, в умовах постійно зростаючого антропогенного впливу на водні ресурси, з'являється необхідність додаткового дослідження якості та доочищення. Основними елементами, що перевищують норми безпечності та якості питної води в ґрунтових водах є залізо та манган. У роботі досліджено адсорбційні властивості різних типів матеріалів для ефективного очищення води від сполук заліза і мангану при одночасній присутності даних елементів у водних розчинах. Для цього було проведено дослідження кінетики таких адсорбентів як кокосове активоване вугілля, цеоліт, шунгіт, кремній та кварц, а також синтетичний сплав цинку та міді (KDF). Розглянуто переваги та недоліки кожного матеріалу, що спостерігались виходячи з результатів експерименту. Встановлено, що адсорбенти кварц та кремній мають низький ступінь вилучення заліза та мангану, а використання шунгіту та цеоліту супроводжується утворенням дрібнодисперсних зависей, що в свою чергу викликають необхідність додаткових етапів очищення. Також, в процесі дослідження одним із суттєвих недоліком є поява похідних від матеріалів елементів, такі як алюміній, цинк та мідь, що за умови збільшення часу контакту перевищують гранично допустимі межі. За даними дослідження було зроблено висновок про оптимальний час використання матеріалів. За результатами експериментальних досліджень було обрано адсорбенти KAU та KDF, як основні для додаткових досліджень в статичних та динамічних умовах, а також як матеріал для синтезу комбінованого адсорбенту.

Ключові слова: децентралізовані води, залізо, манган, адсорбенти.

Постановка проблеми. Постачання населенню якісної питної води, яка відповідає санітарним нормам та є безпечною в епідемічному та радіаційному відношеннях, нешкідливою за хімічним складом і має сприятливі органолептичні властивості є надзвичайно актуальною задачею сьогодення [1].

Проведений аналіз даних проекту «Карта якості води» ВВО WaterNet і Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні, показав, що основними проблемами децентралізованої води є підвищена каламутність, високий вміст солей жорсткості, заліза, мангану, а також нітратів [2].

В питних водах, що використовуються населенням в системах децентралізованого водопостачання Черкаської області, також спостерігається підвищений вміст заліза і мангану, що перевищує допустимі норми, як мінімум, в 30-40 % аналізованих проб [3].

В зв'язку з цим, актуальним питанням сьогодення є пошук функціональних та ефективних матеріалів для використання в якості сорбентів очищення питної води від іонів заліза та мангану з можливістю їх швидкої заміни та регенерації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вода відіграє ключову роль на Землі, адже вона є тим середовищем в якому протікають всі процеси життєдіяльності живих організмів. Також вода має велике значення для фізіологічних, санітарно-гігієнічних та господарських потреб людини.

Серед методів очищення води в домашніх умовах, таких як кип'ятіння, відстоювання, дія сріблом, відстоювання з активованим вугіллям та використання побутових фільтрів, найбільш ефективним є використання побутових фільтрів, яке включає комплексну очистку води [4]. Для використання в побутових фільтрах найбільш поширеними є адсорбційні матеріали на основі природних

та штучних матеріалів, таких як глинисті породи, природні цеоліти, алюмосилікати, іонообмінні смоли, активоване вугілля та інше [5-9].

Найбільш часто в якості сорбенту використовують активоване вугілля для зменшення, або навіть вилучення домішок, які надають незвичайні запах і смак воді, а також неприродних органічних речовин: пестициди, нафтопродукти і т.п. Активоване вугілля також застосовується для видалення вільного хлору з води.

Цеоліти мають здатність селективно виділяти і знову вбирати різні речовини, а також обмінювати катіони. Цеоліт можна використовувати тільки для видалення речовин, у яких розміри молекул менші від вхідного отвору пор. Цеоліти затримують ПАВ, барвники, пестициди, колоїдні і бактеріальні забруднення та органічні сполуки, збагачують води іонами кальцію та зменшують вміст іонів амонію та важких металів, зокрема мангану та купруму [10].

З давніх-давен люди очищали воду за допомогою шунгіту, кремнію, кварцу та інших мінералів і каменів. Основний компонент, що входить до їх складу – кремнезем (діоксид кремнію). Вважається, що ці мінерали здатні поступово очистити воду від важких металів, роблять її приємною на смак та кристально чистою на вигляд, та подовжують термін її зберігання. Так, наприклад, шунгіт можна використовувати як альтернативний адсорбент для видалення $Zn(II)$ [11], а композит кварцовий пісок/кокосове вугілля здатен адсорбувати важкі метали (адсорбційна здатність видалення металічного мангану 94%) [12].

KDF (Kinetic Degradation Fluxion) – гранули мідь-цинкового сплаву високої чистоти, що використовуються у підготовці питної води та обробці стічних вод. В процесі очищення води адсорбент KDF виступає як каталізатор окисно-відновних реакцій і матеріалом, що зв'язує важкі метали і деякі види домішок, що видаляються при промиванні. Матеріал KDF ефективно очищає воду від хлору, заліза, важких металів та бактерій і використовується самостійно або як доповнення до існуючих технологій очищення води [13]. Використання KDF спільно з гранульованим активованим вугіллем (GAC), дозволяє значно збільшити період працездатності вугілля. У порівнянні з іншими технологіями очищення води, використання KDF дозволяє скоротити матеріальні витрати, а це сприяє виготовленню більш компактних та економічних систем.

Оскільки KDF не містить хімічних добавок і є 100% придатним для повторного викорис-

тання, таким чином, необхідність дорогої утилізації просто відпадає. До того ж, KDF безпечний для навколишнього середовища. Також KDF позиціонується як матеріал, що здатен видаляти залізо, сірководень, важкі метали (такі як ртуть, мідь і нікель) та контролювати здатність мікроорганізмів до розмноження та функціонування.

Постановка завдання. Мета роботи – дослідження адсорбційних властивостей різних типів матеріалів для ефективного очищення води від сполук заліза і мангану при одночасній присутності даних іонів у водних розчинах та для подальшої їх рекомендації до застосування у процесі доочищення децентралізованих вод в домашніх умовах.

Для досягнення мети необхідно було провести дослідження кінетики адсорбції різних типів матеріалів в статичних умовах в інтервалі часу 5–60 хвилин, а також дослідити очищені водні розчини на вміст важких металів, які могли бути результатом застосування даних адсорбентів.

Наступною задачею дослідження був вибір найбільш ефективних та безпечних сорбентів за отриманими результатами ступеня вилучення заліза та мангану. Для цього використовували модельні розчини з концентрацією близькою до їх вмісту у природних водах. [3]

Виклад основного матеріалу дослідження. В якості адсорбентів використовували:

Кокосове активоване вугілля КАУ з ефективним розміром пор 2,36–4,75 мкм. Кварц з твердістю 7,0 за шкалою Мооса та щільністю 2,6 г/см³. Цеоліт природний з вмістом кліноптилоліту до 80% та пористістю 26–40%. Шунгіт зі фуллереноподібними регулярними структурами та складом 30% вуглецю, 45% кварцу, 20% силікатної слюди. Кремній – природний мінерал опалово-халцедонової групи, який містить приблизно 99,9% кремнезему а також до 0,1% мікроелементів (таких як Mg, Ca, Mn, P, Sr, Zn, Cu, і ін.). Мідно-цинковий сплав KDF-55 (55% Cu та 45% Zn). Мідно-цинковий сплав KDF-85 (85% Cu та 15% Zn).

Модельний розчин отримували при розчиненні 0,01 г $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ та 0,0015 г $MnSO_4 \cdot H_2O$ в 1 дм³ дистильованої води, розрахункова концентрація іонів заліза складає 2 мг/дм³ та мангану 0,5 мг/дм³, що відповідає 10-кратному перевищенню ГДК (показники для водопровідної води) [14].

Визначення початкової та залишкової концентрації заліза та мангану в пробах проводили атомно-емісійною спектроскопією (ICPE) на спектрометрі марки ICPE-9800 (Shimadzu, Japan).

Визначення кінетики процесу адсорбції проводили відповідно методики [15, с. 177]. Для

цього в конічні колби об'ємом 250 см³ вносили по 100 см³ модельного розчину та додавали 0,1 г адсорбенту (з розрахунку 1 г адсорбенту на 1 дм³ модельного розчину). Колби встановлювали в апарат для струшування. Тривалість адсорбції 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 та 60 хвилин. Після закінчення процесу адсорбції розчини фільтрували крізь фільтр (синя стрічка) та аналізували на вміст іонів заліза та мангану.

Ступінь вилучення іонів (X , %) розраховували за формулою:

$$X = \frac{c_0 - c_1}{c_0} \cdot 100\%$$

де c_0 і c_1 – вихідна і кінцева концентрація іонів, відповідно, мг/дм³.

Результати досліджень та обговорення. Результати дослідження ефективності адсорбентів при вилученні елементів Fe(II) та Mn(II) з модельного розчину концентрацією 2 мг/дм³ та 0,5 мг/дм³ відповідно представлено на рисунках 1 та 2.

Аналіз кінетичних кривих для сорбентів кварцу та кремнію показав, що спостерігається низький ступінь вилучення як іонів заліза так і іонів мангану, а також для процесу адсорбції на даних сорбентах виявлено нестабільність одержаних результатів (рис. 1, рис. 2 криві 6 та 7 відповідно), що дає змогу зробити висновок про недоречність їх застосування для одночасного очищення води від іонів заліза та мангану.

Адсорбенти цеоліт та шунгіт хоча і виявляють достатньо високий ступінь вилучення, але процес супроводжується утворенням дрібнодисперсних зависей в очищеному модельному розчині

(рис. 1, рис. 2 криві 4 та 5). В зв'язку з цим, при використанні даних адсорбентів є необхідність в поєднанні адсорбції та процесів осадження або додаткового застосування мікрофільтрів для ефективного вилучення іонів заліза та мангану.

Процес адсорбції на кокосовому активованому вугіллі відбувається з доволі високим ступенем вилучення заліза (рис. 1 крива 3), та дещо нижчого значення ефективності вилучення мангану (рис. 2 крива 3). Очищений модельний розчин не містить сторонніх зависей, а також зберігається збільшення ступеня вилучення при збільшенні тривалості процесу як для іонів заліза, так і для іонів мангану.

Що стосується сорбентів КДФ-55 та КДФ-85, які відрізняються за механізмом вилучення іонів металів від інших адсорбентів, що досліджувались в даній роботі, то ми можемо спостерігати доволі низький ступінь вилучення іонів заліза та мангану, і це, на нашу думку, виникає за рахунок використання недостатньої кількості завантаженого матеріалу, що, в свою чергу зменшує площу активної поверхні сорбенту (рис. 1, рис. 2 криві 1 та 2).

На другому етапі досліджень були проведені експерименти, присвячені аналізу очищених модельних розчинів на вміст домішок атомів важких металів. Результати даного дослідження представлені в таблиці 1.

Встановлено, що очищення модельного розчину при використанні сорбентів марки KDF супроводжується забрудненням очищеної води атомами таких металів як купрум та цинк.

На нашу думку, це відбувається за рахунок наступних окисно-відновних реакцій, що супро-

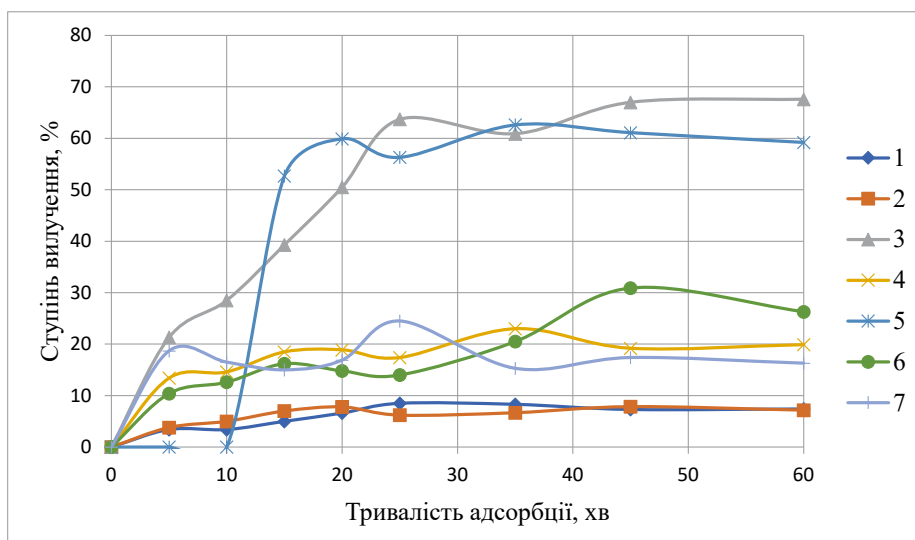


Рис. 1. Графічна залежність ступеню вилучення іонів заліза (%) від тривалості адсорбції (хв): 1 – КДФ-55; 2 – КДФ-85; 3 – КАУ; 4 – цеоліт; 5 – шунгіт; 6 – кварц; 7 – кремній

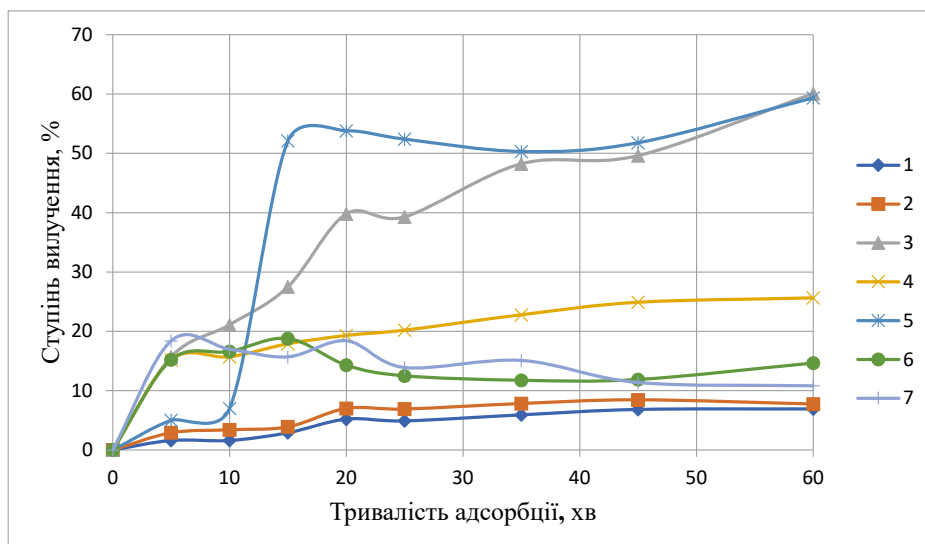


Рис. 2. Графічна залежність ступеню вилучення іонів марганцю (%) від тривалості адсорбції (хв): 1 – КДФ-55; 2 – КДФ-85; 3 – КАУ; 4 – цеоліт; 5 – шунгіт; 6 – кварц; 7 – кремній

Таблиця 1

Вміст важких металів в очищеному модельному розчині

Час, хв	КДФ-55		КДФ-85		Цеоліт	Шунгіт	Кварц
	Cu*, мг/дм ³	Zn**, мг/дм ³	Cu*, мг/дм ³	Zn**, мг/дм ³	Al*** мг/дм ³	Al*** мг/дм ³	Al*** мг/дм ³
5	0,003	0,062	0,022	0,041	0,0718	0,081	-
10	0,003	0,146	0,028	0,056	0,085	0,0944	-
15	0,005	0,183	0,031	0,069	0,102	0,027	-
20	0,014	0,212	0,071	0,082	0,135	0,14	0,162
25	0,137	0,111	0,19	0,109	0,14	0,151	0,212
35	0,336	0,789	1,002	0,189	0,203	0,535	0,130
45	0,596	0,855	1,082	0,146	0,330	0,636	0,214
60	0,796	1,100	1,402	0,142	0,312	0,842	0,194

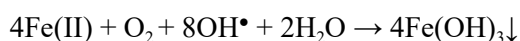
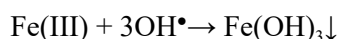
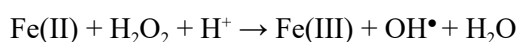
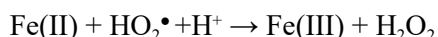
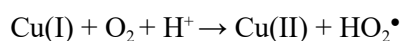
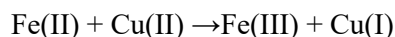
* – гранично допустима концентрація 1 мг/дм³ згідно [14];

** – гранично допустима концентрація 1 мг/дм³ згідно [14]

*** – гранично допустима концентрація 0,1 мг/дм³ згідно [14]

Примітка: як еталон взято показники для водопровідної води.

вводжують процес вилучення іонів заліза та мангану з модельного розчину:



Також слід відмітити, що зі збільшенням часу проведення процесу сорбції йде зростання концентрації металів (купруму та цинку) в очищеному розчині з перевищенням ГДК.

Спостерігається зростання вмісту алюмінію в очищеному розчині при застосуванні таких

адсорбентів як: шунгіт, кварц та цеоліт. На нашу думку це відбувається за рахунок мінеральної алюмінієво-вмісної основи даних адсорбентів. Отримані дані також свідчать про те, що вміст іонів алюмінію в очищеному розчині збільшується при збільшенні тривалості процесу адсорбції.

Висновки. Проведені дослідження кінетики адсорбційних матеріалів дозволили оцінити переваги і недоліки використання таких адсорбентів як КАУ, KDF-55, KDF-85, цеоліт, шунгіт, кварц та кремній. Встановлено, що адсорбенти кварц та кремній недоречно використовувати як основний матеріал для очищення заліза та мангану через низький ступінь вилучення. Використання цеоліту та шунгіту супроводжується утворенням дрібнодисперсних зависей, що в свою чергу потребує додаткового етапу очищення. Так як природні

адсорбенти на основі мінеральних порід (цеоліт, шунгіт, кварц) мають в своїй структурі алюміній, використання даних матеріалів супроводжується виділенням його у вихідну воду. Застосування таких адсорбентів більше 10 хв збільшують вміст алюмінію, що перевищує норми ГДК.

За результати експериментальних досліджень було обрано матеріали KDF та КАУ з метою подальшого дослідження та інтенсифікації для використання в статистичних та динамічних умовах, так як:

– КДФ характеризується стабільним ступенем вилучення зі збільшенням тривалості контакту, не потребує особливих умов для регенерування (а лише промивання водою), має ряд додаткових

властивостей, а саме: пригнічення розмноження мікроорганізмів та подовження роботи активованого вугілля. Також, можна зазначити, що дані типи матеріалів необхідно використовувати у комбінації з іншими адсорбентами та з тривалістю не більше 20 хв, тобто у швидких або проточних фільтрах.

– КАУ характеризується високим ступенем очищення як для заліза, так і для марганцю, має вищу освітлюючу здатність в порівнянні з цеолітом. Також його можна використати як основу для синтезу комбінованого адсорбенту з метою збільшення ефективності вилучення не тільки заліза та марганю, але і можливих похідних елементів після застосування КДФ.

Список літератури:

1. В. Я. Кобилянський, Безпека та якість питної води. Вода. Екологія. Суспільство: Тези доповідей та інформаційні матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, Харків, 1–2 жовтня 2020 р. / За ред. К. Б. Сорокіної; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. С. 32.
2. Солодовник Т. В., Якименко І. К. ПРОБЛЕМИ ТА СПОСОБИ ДООЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2021. № 2. С. 63–81. URL: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.239703>
3. Якименко І.К., Солодовник Т.В. Перспективи дослідження якості децентралізованих вод Черкаської області. Матеріали Х Ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Хімія та сучасні технології» м. Дніпро, 23–24 листопада 2021 р. С. 137–138.
4. Д. Нечипорук, Н.В. Тарасенко І.В. Лісовська, Очищення питної води в домашніх умовах, / *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2017. № 6. С. 139–143.
5. Твердохліб М. М. Інтенсифікація процесів очищення води від сполук заліза та марганцю: дис... канд. тех. наук : 21.06.01. Київ, 2019. 235 с.
6. М. М. Твердохліб, М. Д. Гомеля, “Сорбційно-каталітичне очищення води від сполук марганцю”, *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*, Т. 30 (69) № 3 част. 2, с. 42–46. 2019. doi: 10.32838/2663-5941/2019.3-2/08.
7. Переносний пристрій для очищення води, пат. 114353 Україна: МПК В01D 35/26 (2006.01) В01D 24/10 (2006.01) С02F 3/06 (2006.01), № 201507010, заявл. 14.07.2015, опубл. 25.05.2017, Бюл.№ 10. 4 с.
8. Спосіб порційного очищення води з природних джерел за допомогою мобільного пристрою, пат. 98944 Україна, МПК: С02F 1/18 (2006.01), № 201413209, заявл. 09.12.2014, опубл. 12.05.2015, Бюл.№ 9. 6 с.
9. Спосіб очистки природних і стічних вод, пат. 118596 Україна, № 201702868, МПК: (2017.01) С02F 1/00 С02F 1/48 (2006.01), заявл. 27.03.2017, опубл. 10.08.2017, Бюл.№ 15. 5 с.
10. Засідко І. Б. Дослідження цеоліту для очищення природних і стічних вод комунальних підприємств. / І. Б. Засідко, М. С. Полутренко, О. М. Мандрик // *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(5). С. 63.
11. Axel R. Fischer, L. Sgolik, A. Kreller, Ch. Dornack Zinc(II) Adsorption by Low-Carbon Shungite: The Effect of pH, *Water* 2018, 10(4), ISSN: 2073-4441. DOI: 10.3390/w10040422
12. Pranoto I, Tri Martini I, Fitri Astuti I and Winda Maharditya, Test The Effectiveness and Characterization of Quartz Sand/Coconut Shell Charcoal Composite as Adsorbent of Manganese Heavy Metal, *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 858, 4th International Conference on Advanced Material for Better Future 2019 (ICAMBF 2019) 7-8 October 2019, Surakarta, Indonesia, DOI 10.1088/1757-899X/858/1/012041
13. H. S.Majdia, M. Sh. Jaafar, A. M. Abed, “Using KDF material to improve the performance of multi-layers filters in the reduction of chemical and biological pollutants in surface water treatment”, *South African Journal of Chemical Engineering*, 2019, vol. 28, p. 39-45. doi: 10.1016/j.sajce.2019.01.003
14. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : Наказ МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400 : станом на 22 берез. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
15. Іваненко І. М., Донцова Т. А., Феденко Ю. М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 233 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29419>.

Yakymenko I.K., Solodovnik T.V. ADSORPTION MATERIALS FOR ADDITIONAL CLEANING OF DRINKING WATER FROM IRON AND MANGANESE COMPOUNDS IN DECENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS

Decentralized water supply is designed to provide drinking water to individual houses or a small group of buildings. Water of different origins can be used for this purpose: atmospheric, surface, and underground. But despite the widespread opinion that water from springs, catchments and wells is of sufficient quality for drinking needs, in the conditions of constantly increasing anthropogenic influence on water resources, there is a need for additional quality research and purification. Iron and manganese are the main elements that exceed the norms of safety and quality of drinking water in groundwater. The paper investigated the adsorption properties of various types of materials for effective water purification from iron and manganese compounds with the simultaneous presence of these elements in aqueous solutions. For this purpose, a study of the kinetics of such adsorbents as coconut activated carbon, zeolite, shungite, silicon and quartz, as well as a synthetic alloy of zinc and copper was carried out (KDF). The advantages and disadvantages of each material, which were observed based on the results of the experiment, were considered. It has been established that quartz and silicon adsorbents have a low degree of iron and manganese extraction, and the use of shungite and zeolite is accompanied by the formation of finely dispersed suspensions, which, in turn, require additional stages of purification. Also, in the process of research, one of the significant disadvantages is the appearance of derivatives of elements, such as aluminum, zinc and copper, which, if the contact time is increased, exceed the maximum permissible limits. According to the research data, a conclusion was made about the optimal time of use of materials. According to the results of experimental studies, adsorbents coconut activated carbon and KDF were chosen as the main ones for additional studies in static and dynamic conditions, as well as as a material for the synthesis of a combined adsorbent.

Key words: *decentralized water, iron, manganese, adsorbents.*

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 637.07

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/14>

Карбівнича Т.В.

Державний біотехнологічний університет

Сподар К.В.

Державний біотехнологічний університет

Лісніченко О.О.

Державний біотехнологічний університет

Татар Л.В.

Державний біотехнологічний університет

РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЇХ ТОВАРОЗНАВЧОЇ ОЦІНКИ

У статті проаналізовано внутрішній ринок йогуртів та встановлено, що український споживач частіше віддає свою перевагу йогуртам із фруктовими начинками та креативним поєднанням харчових добавок.

Для розробки нового йогурту з начинками було обрано грушу та м'яту. За основу розроблених йогуртів був обраний класичний йогурт «Галичина» 3,0% жирності. Було проведено оцінку його якості за органолептичними та фізико-хімічними показниками, встановлено відповідність вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови».

На основі йогурту «Галичина» було розроблено 5 нових йогуртів з наповнювачами «груша» (у вигляді варення) та «м'ята» (у вигляді порошку) у різному відсотковому співвідношенні.

За результатами порівняльної органолептичної оцінки якості встановлено, що зразки № 1, № 2, № 3, № 4 мають кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів смак і запах; однорідну, з не порушеним згустком, без газотворення консистенцію. Зразок № 5 (йогурт з наповнювачем груша (13 г.) і м'ята (2 г.) мав дуже солодкий, смак, який перебиває кисломолочний смак йогурту, що не відповідає вимогам стандарту.

Аналіз фізико-хімічних показників досліджуваних зразків показав, що масова частка жиру, масова частка сухих знежирених речовин, титрована кислотність, вміст пероксидази відповідає вимогам ДСТУ. Масова частка сахарози більшості зразків знаходиться у допустимих межах – вище за 5,0%. Тільки масова частка сахарози досліджуваного зразка № 2 (йогурт з наповнювачем м'ята (2 г.)) становить 4,7%, що не задовольняє норми стандарту та є недопустимим показником.

Оцінка якості розроблених йогуртів з харчовими добавками (наповнювачами) виявила підвищення харчової цінності та поліпшення смаку йогурту «Галичина», який було взято за основу. Зразок № 3 (йогурт з наповнювачем груша (4 г.) і м'ята (1 г.)) був найбільш гармонійно поєднаним за органолептичними показниками та повністю відповідав всім вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови». Цей розроблений йогурт може розширити асортимент продукції «Галичина».

Ключові слова: кисломолочні напої, йогурт з наповнювачами, товарознавча оцінка, показники оцінки якості.

Постановка проблеми. Сьогодні споживач віддає перевагу більш корисним та натуральним харчовим продуктам, тому спостерігається стрімке збільшення асортименту корисних, позбавлених консервантів та барвників, зба-

гачених додатково необхідними вітамінами та мінералами харчових продуктів. Така тенденція також стосується йогуртів, які виготовляють зі збільшеним вмістом корисних білків і бактерій. Доволі популярні серед споживачів йогурти зі

збільшеною харчовою цінністю продукту завдяки доданню харчових добавок (фруктів, ягід, горіхів, насіння тощо), додатковим вмістом вітамінів. Задля отримання якісного безпечного йогурту виробникам потрібно використовувати свіжу відповідну сировину, дотримуватись вимог діючих стандартів щодо технології виробництва та спожиткової тари [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Асортимент кисломолочної продукції дуже різноманітний. Він складається з різних напоїв, сирів, соусів та сирково-десертних виробів [2]. Йогурт – це кисломолочний продукт, який виробляють шляхом квашення молока чистими культурами молочнокислих бактерій. Також йогурти можна поділити на йогурти із застосуванням харчових добавок або наповнювачів або без застосування цих інгредієнтів. Таким чином виробники можуть збільшити свій асортимент йогуртів, аналіз наявних йогуртів з наповнювачами на ринку України показує, що йогурти частіше поєднують з фруктами, ягодами, горіхами та насінням. Йогурти з вишнею, персиком та полуницею – найпопулярніші смаки, які представлені на полицях торгових маркетів України [3].

Усі виробники йогуртів різних видів мають дотримуватись вимог ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» [4]. Дотримуватись вимог цього стандарту можливо за умови використання якісної сировини, дотримання усіх умов під час виробництва, використання якісного обладнання.

Для успішної реалізації своєї продукції на ринку України додатково до дотримання вимог стандартів необхідно звертати увагу на тенденції молочного ринку. Внесення змін у спожиткове пакування продукту або складників кисломолочного продукту, або об'єднання різних видів продуктів в один, або вдосконалення вже наявного продукту допоможе підприємствам створювати потрібну і актуальну продукцію. У разі введення обраних змін у рецептуру йогуртів підприємство-виробник може розробити та задокументувати власне ТУ.

Актуальним і найліпшим способом підвищити харчову цінність йогурту – це поєднання кисломолочного продукту з фруктовими, овочевими, рослинними наповнювачами (харчовими добавками) та прянощами. Створення нового унікального смаку дає змогу виділити новий йогурт з-поміж усіх інших. Такі поєднання смаків дозволені ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» [4] та ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014 «Харчові добавки. Номенклатура та загальні вимоги» [5].

Постановка завдання. Мета дослідження – розширення асортименту кисломолочних продуктів, для досягнення чого необхідно розробити рецептури йогурту підвищеної харчової цінності та зробити аналіз органолептичних та фізико-хімічних показників йогурту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Після детального аналізу ринку молочної продукції в Україні був зроблений висновок, що українці віддають свою перевагу йогуртам із фруктовими начинками та креативним поєднанням харчових добавок.

Для розробки нового йогурту з начинками було обрано фрукт груша. Груша дуже смачний та солодкий фрукт, який використовується при виробництві соків та сиропів. Груша містить багато соку, фруктози і калію, що робить її смачною та корисною водночас. Для створення унікального і креативного смаку йогурту було вирішено використати в якості додаткового інгредієнту м'яту.

За основу розроблених йогуртів був обраний класичний йогурт «Галичина» 3,0% жирності. Даний йогурт є якісним продуктом і відповідає вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» [4].

Якість обраного йогурту встановлювали за допомогою органолептичної та фізико-хімічної оцінки якості. Результати дослідження наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Органолептичні показники якості йогурту «Галичина» 3,0%

Назва показників	Результат
Смак і запах	Чистий, кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів.
Консистенція	Однорідна, ніжна з неповнорозбитим згустком, у міру щільна, без газоутворення.
Колір	Білий

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості йогурту «Галичина» 3,0%

Назва показників	Результат
Масова частка жиру	3,0%
Масова частка сухих знежирених речовин	9,9%
Кислотність: • титрована	94 °Т
Пероксидаза або кисла фосфатаза	Відсутня

На основі йогурту «Галичина» було розроблено 5 нових йогуртів з наповнювачами, а саме:

- Зразок № 1 – йогурт з наповнювачем груша (10 г.) 100 г;

- Зразок № 2 – йогурт з наповнювачем м'ята (2 г.) 100 г.;
- Зразок № 3 – йогурт з наповнювачем груша (4 г.) і м'ята (1 г.) 100 г.;
- Зразок № 4 – йогурт з наповнювачем груша (9 г.) і м'ята (1 г.) 100 г.;
- Зразок № 5 – йогурт з наповнювачем груша (13 г.) і м'ята (2 г.) 100 г.

Наповнювач груша представлений у вигляді варення, який було виготовлено відповідно до вимог ДСТУ 4899:2007 «Варення. Загальні технічні умови» [6]. Варення було виготовлено зі свіжих груш сорту «Лимонка», які були уварені у цукровому сиропі без додання харчових кислот, прянощів або сорбінової кислоти.

Наповнювач м'ята представлений у вигляді порошкоподібних перетертих листків м'яти, який було виготовлено відповідно до ДСТУ ISO 2256:2005 «М'ята кучерява сушена. Технічні умови» [7]. М'ята сушена виготовлена з висушених листиків сорту «Кучерява» («Колосоподібна»), які було перетерто у порошок.

Вміст наповнювачів (харчових добавок) у розроблених йогуртах було обрано відповідно до діючих стандартів України.

Йогурти без або з харчовими добавками повинні відповідати вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» і вироблятися згідно з технологічними інструкціями і рецептурами з дотриманням санітарних правил для підприємств молочної промисловості [4].

Усі досліджувані зразки йогуртів мають харчові добавки (наповнювачі), тому їх органолеп-

тичні показники повинні відповідати нормам, які наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Вимоги до органолептичних показників йогуртів з наповнювачами

Назва показників	Характеристика йогуртів з харчовими добавками або наповнювачами
Смак і запах	Чистий, кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів. У міру солодкий, з присмаком відповідного наповнювача або ароматизатора.
Консистенція	Однорідна, ніжна з порушеним або непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення. За додавання стабілізатора – желе- або кремopodobна. З частками внесених добавок або наповнювачів, які розподілені за всією масою йогурту або шарами.
Колір	Обумовлений кольором застосованого наповнювача.

Опираючись на вимоги стандарту була проведена експертиза органолептичних показників розроблених йогуртів. Експертиза якості показників йогуртів була проведена органолептичним методом, результати якої записані в таблиці 4.

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що більшість досліджуваних зразків відповідає вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» за органолептичними показниками.

Зразки № 1, № 2, № 3, № 4 мають кисло-молочний, без сторонніх присмаків, запахів смак

Таблиця 4

Органолептичні показники розроблених зразків йогуртів

Назва показників	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 3	Зразок № 5
Смак і запах	Кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів. Солодкий, з присмаком груші.	Кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів. У міру солодкий, з освіжаючим присмаком м'яти.	Кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів. У міру солодкий, з присмаком груші та з освіжаючим присмаком м'яти.	Кисломолочний, без сторонніх присмаків і запахів. У міру солодкий, з присмаком груші та з освіжаючим присмаком м'яти.	Без сторонніх присмаків і запахів. Дуже солодкий, з присмаком груші та м'яти.
Консистенція	Однорідна, з непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення. З частками груші, які рівномірно розподілені за всією масою йогурту.	Однорідна, з непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення.	Однорідна, з непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення. З частками груші, які рівномірно розподілені за всією масою йогурту.	Однорідна, з непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення. З частками груші, які рівномірно розподілені за всією масою йогурту.	Однорідна, з непорушеним згустком, у міру щільна, без газоутворення. З частками груші, які рівномірно розподілені за всією масою йогурту.
Колір	Білий з ледь помітним зелено-жовтим відтінком.	Білий з зеленим відтінком.	Білий з зеленим відтінком.	Білий з зеленим відтінком.	Білий з зеленим відтінком.

і запах; однорідну, з не порушеним згустком, без газоутворення консистенцію.

Зразки № 2, № 3, № 4 і № 5 мають білий з зеленим відтінком колір

Смак, який не відповідає вимогам стандарту, має зразок № 5 – йогурт з наповнювачем груша (13 г.) і м'ята (2 г.). Цей зразок має дуже солодкий, смак, який перебиває кисломолочний смак йогурту.

Органолептичні показники зразка № 3 – йогурт з наповнювачем груша (4 г.) і м'ята (1 г.) – є найбільш гармонійно поєднаними та повністю відповідають вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови».

Досліджувані зразки йогуртів належать до жирних йогуртів. Згідно зі стандартом жирними йогуртами називають продукти з жирністю у межах 1,0–6,0%.

Для жирних йогуртів з наповнювачами норми фізико-хімічних показників якості наведені в таблиці 5.

Таблиця 5

Норми фізико-хімічних показників йогуртів з наповнювачами

Назва показників	Норма
Масова частка жиру	Від 1,0% до 6,0% (включно)
Масова частка сухих знежирених речовин	Не менше 9,5%
Титрована кислотність	Від 80 °Т до 140 °Т
Масова частка сахарози	Не менше ніж 5,0%
Пероксидаза	Відсутня

Опираючись на вимоги стандарту була проведена експертиза фізико-хімічних показників якості досліджуваних зразків йогуртів.

Оцінка якості була виконана фізико-хімічними методами, усі обчислення були виконані з урахуванням похибки, результати записані в таблиці 6.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що масова частка жиру усіх зразків знаходиться у межах, які зазначені стандартом. Також показники масової частки жиру повністю збігаються із лімітом для жирних йогуртів.

Масова частка сухих знежирених речовин досліджуваних йогуртів з наповнювачами також знаходяться у необхідних межах – не менше 9,5%. Досліджувані йогурти мають масову частку сухих знежирених речовин у межах від 10,0% до 10,8%. Найменший показник має зразок № 2, який становить 10,0%, а найбільший у зразка № 5 – 10,8%. У зразка № 1 масова частка сухих знежирених речовин становить 10,3%, у зразка № 3 – 10,1%, а у зразка № 4 – 10,4%. Усі показники відповідають чинному стандарту.

Титрована кислотність усіх зразків йогуртів також задовольняє умовам ДСТУ. Значення показників кислотності досліджуваних йогуртів знаходяться у межах від 94,2 °Т до 120,3 °Т. Найнижчий показник у зразка № 1 – 94,2 °Т, трохи більший у зразка № 2 – 94,7 °Т, ще вищих у зразка № 3 – 102,7 °Т, 113,1 °Т – титрована кислотність зразка № 4 і найвищий показник титрованої кислотності у зразка № 5 – 120,3 °Т. Кожний зразок має різну титровану кислотність, показник якої рівномірно зростає відповідно до кількості та виду використуваного наповнювача.

Відповідно до ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» масова частка сахарози йогурту з харчовими добавками повинна бути не менше ніж 5,0%. Аналізуючи результати фізико-хімічної оцінки якості стосовно вмісту сахарози, можна стверджувати, що тільки зразок № 2 (йогурт з наповнювачем м'ята (2 г.)) не задовольняє умови стандарту, масова частка сахарози цього йогурту менше ніж 5,0%, а саме 4,7%.

Інші досліджувані йогурти мають масову частку сахарози вищу за 5,0%. Найвищі показники мають зразки № 4 і № 5 – 6,82% і 8,9% відповідно, найближчі показники до 5,0% вмісту сахарози мають зразки № 1 і № 3 – 5,41% і 5,9%.

Пероксидази не було встановлено в досліджуваних зразках йогуртів.

Висновки. В рамках дослідження було проведено детальний аналіз ринку молочної продукції в Україні, який показав, що українці віддають свою перевагу йогуртам із фруктовими начинками та креативним поєднанням харчових добавок.

Таблиця 6

Фізико-хімічні показники розроблених йогуртів з наповнювачами

Назва показників	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4	Зразок № 5
Масова частка жиру	3,5 %	3,03 %	3,2 %	3,4 %	3,7 %
Масова частка сухих знежирених речовин	10,3 %	10,0 %	10,1 %	10,4 %	10,8 %
Титрована кислотність	94,2 °Т	94,7 °Т	102,7 °Т	113,1 °Т	120,3 °Т
Масова частка сахарози	5,41 %	4,7 %	5,9 %	6,82 %	8,9 %
Пероксидаза	Відсутня	Відсутня	Відсутня	Відсутня	Відсутня

В якості наповнювачів було обрано грушу та м'яту. За основу розроблених йогуртів був обраний класичний йогурт «Галичина» 3,0% жирності. Даний йогурт є якісним продуктом і відповідає вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови». Була проведена органолептична та фізико-хімічна оцінка якості йогурту «Галичина», яка показала відповідність до умов стандарту.

Наповнювач груша додавався у вигляді варення, яке було виготовлено відповідно до вимог ДСТУ 4899:2007 «Варення. Загальні технічні умови». Наповнювач м'ята – це порошкоподібні перетерті листки м'яти, які було виготовлено відповідно до ДСТУ ISO 2256:2005 «М'ята кучерява сушена. Технічні умови».

Варення було виготовлено зі свіжих груш сорту «Лимонка», які були уварені у цукровому сиропі без додання харчових кислот, прянощів або сорбінової кислоти. М'ятний порошок виготовлений з висушених листків сорту «Кучерява» («Колосоподібна»), які було перетерто.

Досліджувані зразки розроблених йогуртів з наповнювачами груша та м'ята пройшли органолептичну та фізико-хімічну оцінку якості показників якості.

Усі вимоги оцінки якості показників були дотримані, розрахунки виконані з урахуванням похибки.

Оцінка органолептичних показників якості зразків виявила відповідність до вимог ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» більшості досліджуваних зразків – смак, запах, консистенція і колір йогуртів задовольняє вимоги стандарту. Тільки зра-

зок № 5 не відповідав вимогам стандарту за смаком, йогурт мав дуже солодкий смак через великий вміст доданого наповнювача груші.

Оцінка якості фізико-хімічних показників розроблених йогуртів проходила за рахунок визначення масової частки жиру, масової частки сухих знежирених речовин, титрованої кислотності, масової частки сахарози, пероксидази.

Масова частка жиру розроблених йогуртів задовольняє вимоги стандарту. Досліджувані йогурти мають масову частку сухих знежирених речовин у межах від 10,0% до 10,8%, що також відповідає ДСТУ. Титрована кислотність усіх зразків йогуртів різна і знаходиться в необхідних межах від 94,2 °Т до 120,3 °Т. Пероксидаза відсутня у всіх досліджуваних йогуртів.

Масова частка сахарози більшості зразків знаходиться у допустимих межах – вище за 5,0%. Тільки масова частка сахарози досліджуваного зразка № 2 (йогурт з наповнювачем м'ята (2 г.)) становить 4,7%, що не задовольняє норми стандарту та є недопустимим показником.

Оцінка якості розроблених йогуртів з харчовими добавками (наповнювачами) виявила підвищення харчової цінності та поліпшення смаку йогурту «Галичина», який було взято за основу. Зразок № 3 (йогурт з наповнювачем груша (4 г.) і м'ята (1 г.)) був найбільш гармонійно поєднаним за органолептичними показниками та повністю відповідав всім вимогам ДСТУ 4343:2004 «Йогурти. Загальні технічні умови». Цей розроблений йогурт може розширити асортимент продукції «Галичина».

Список літератури:

1. Корман І.І., Лементовська В.А., Семенда О.В. Маркетингове дослідження ринку молока та молочних продуктів України. Економіка та держава. Економічна наука. 2022. № 4. С. 62-68.
2. Види молочних продуктів : Щедрий стіл. URL : <http://www.sibko.ru/molohnie/19-vidmol.html>
3. Вступ на ринок України. URL : <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/sourcream-market.asp>.
4. Йогурти. Загальні технічні умови : ДСТУ 4343:2004. [Чинний від 2004-05-30]. К. : Держспоживстандарт України, 2004. 11 с. (Національний стандарт України).
5. Харчові добавки. Номенклатура та загальні вимоги : ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014. [Чинний від 2014-01-10]. К. : Держспоживстандарт України, 2014. 17 с. (Національний стандарт України).
6. Варення. Загальні технічні умови : ДСТУ 4899:2007. [Чинний від 2007-01-01]. Держспоживстандарт України. 2007. 18 с.
7. М'ята кучерява сушена. Технічні умови : ДСТУ ISO 2256:2005. [Чинний від 2005-03-01]. Держспоживстандарт України. 2005. 22 с.

Karbivnycha T.V., Spodar K.V., Lisnichenko O.O., Tatar L.V. EXPANDING THE RANGE OF ENHANCED FOOD VALUE DAIRY PRODUCTS AND CARRYING OUT THEIR MARKET ASSESSMENT

The article analyzes the domestic market of yogurts and found that the Ukrainian consumer often prefers yogurts with fruit fillings and a creative combination of food additives.

Pear and mint were chosen to develop a new yogurt with fillings. The classic "Halychyna" 3.0% fat yogurt was chosen as the basis of the developed yogurts. Its quality was evaluated according to organoleptic and physico-chemical indicators, it was established that it meets the requirements of DSTU 4343:2004 "Yogurts. General technical conditions".

On the basis of "Galichyna" yogurt, 5 new yogurts were developed with fillers "pear" (in the form of jam) and "mint" (in the form of powder) in different percentage ratios.

According to the results of the comparative organoleptic quality assessment, it was established that samples No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 have a sour-milk taste and smell without extraneous flavors and odors; homogeneous, with an intact clot, without gas formation consistency. Sample No. 5 (yogurt with pear filling (13 g) and mint (2 g)) had a very sweet taste, which interrupts the sour-milk taste of yogurt, which does not meet the requirements of the standard.

The analysis of physico-chemical parameters of the studied samples showed that the mass fraction of fat, mass fraction of dry defatted substances, titrated acidity, peroxidase content meet the requirements of DSTU. The mass fraction of sucrose in most samples is within the permissible limits – above 5.0%. Only the mass fraction of sucrose of the studied sample No. 2 (yogurt with mint filler (2 g)) is 4.7%, which does not meet the standard and is an unacceptable indicator.

The evaluation of the quality of the developed yogurts with food additives (fillers) revealed an increase in the nutritional value and an improvement in the taste of the "Galichyna" yogurt, which was taken as a basis. Sample No. 3 (yogurt with pear filling (4 g) and mint (1 g)) was the most harmoniously combined according to organoleptic indicators and fully met all the requirements of DSTU 4343:2004 "Yogurts. General technical conditions". This developed yogurt can expand the range of "Galichyna" products.

Key words: *fermented milk drinks, yogurt with fillers, product evaluation, quality evaluation indicators.*

Любич В.В.

Уманський національний університет садівництва

Лещенко І.А.

Уманський національний університет садівництва

ВМІСТ ВІТАМІНІВ У ЦІЛІЙ КРУПІ З ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ ЛУЩЕННЯ

В умовах глобалізації, важливим є поєднання збереження генетичного різноманіття і використання малопродатних для вирощування пшениці м'якої території, з одночасним забезпеченням сучасних тенденцій споживачів щодо харчових продуктів. Вирощування малопоширених видів пшениці сприятиме забезпечення населення якісними, безпечними харчовими продуктами, що нині є досить перспективним напрямком. Пшениця полба займає все більшу нішу серед інших видів пшениць, оскільки поряд з високим вмістом білка має значну кількість резистентного крохмалю, клітковини, каротиноїдів, антиоксидантів і характеризується меншою калорійністю. Крім цього, зерно і продукти його перероблення мають вищу біологічну цінність.

Статтю присвячено вивченню вмісту вітамінів у цілій крупі з пшениці полби залежно від тривалості лушення. Встановлено, що зі збільшенням тривалості лушення (20–200 с) зерна пшениці полби вміст вітаміну B_7 зменшувався у 1,4 рази від 0,11 до 0,008 мг/100 г, вітамінів B_6 і B_9 у 1,2–1,3 рази – відповідно з 0,29–0,37 до 0,057–0,068 мг/100 г. Натомість, кількісний склад вітамінів B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 і пігментів (лютеїн + зеаксантин) змінювався не істотно.

Встановлено, що вміст вітаміну K_1 у крупі з пшениці полби № 1 (сорт Голіковська) істотно змінювався – від 4,6 до $3,8 \times 10^{-3}$ мг/100 г залежно від тривалості лушення зерна. Вміст β -каротину, β - і γ -токоферолу були більш стабільними – відповідно 0,002–0,003, 0,21–0,23 і 1,67–1,71 мг/100 г.

Комплексно оцінивши динаміку зміни вмісту вітамінів у процесі лушення зерна пшениці полби, було встановлено їх рівномірний розподіл у зернівці, оскільки, в цілому, їх вміст змінювався неістотно.

Вміст окремих вітамінів у крупі з пшениці полби № 1 із зерна сорту Голіковська істотно (майже на 43 %) змінювався залежно від тривалості лушення. Так, найбільш істотно зменшувався вміст вітамінів K_1 ($4,6-3,8 \times 10^{-3}$ мг/100 г), B_7 (0,11–0,008 мг/100 г), B_6 (0,29–0,37 мг/100), B_9 (0,057–0,068 мг/100 г). Кількісний склад β -каротину, β - і γ -токоферолу пігментів (лютеїн + зеаксантин) і вітамінів B_1 , B_2 , B_3 , B_4 і B_5 змінювався не істотно.

Ключові слова: крупа ціла, пшениця полба, зерно, лушення зерна, вітаміни.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

В умовах глобалізації, важливим є поєднання збереження генетичного різноманіття і використання малопродатних для вирощування пшениці м'якої території, з одночасним забезпеченням сучасних тенденцій споживачів щодо харчових продуктів. Вирощування малопоширених видів пшениці сприятиме забезпечення населення якісними, безпечними харчовими продуктами, що нині є досить перспективним напрямком [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Пшениця полба займає все більшу нішу серед інших видів пшениць, оскільки поряд з високим вмістом білка має значну кількість резистентного крохмалю, клітковини, каротиноїдів, антиоксидантів і характеризується меншою калорійністю [2]. Хліб, макаронні вироби та крупи з пшениці полби

є ідеальними харчовими продуктами для здорового харчування. Внаслідок повільнішого засвоєння крохмалю, зерно цього виду пшениці має низьке значення глікемічного індексу, що робить її придатною для спеціальних дієт, наприклад діабеті [3]. Зерно пшениці полби містить менше алергенних речовин, ніж у пшениці м'якої та спельти, що надає їй статус продовольчої культури для здорового харчування, проте не рекомендується до вживання хворим на целиацію [4].

Дослідженням питання раціонального використання зерна пшениці полби займалися вітчизняні та закордонні вчені [5–7]. Більшість науковців відмічає, у її зерні високий вміст білка (понад 20 %) з ознаками слабкої клейковини. Це зумовлює доцільність його використання для виробництва круп'яних продуктів [8, 9]. У дослідженнях

[10] встановлено, що в зерні пшениці полби містилось значно більше бета-каротину і вітамінів групи В. Так, середні значення вмісту бета-каротину, вітамінів В₁, В₂, В₅ і В₆ становили відповідно 65,48 ± 2,39 мкг/кг, 4,22 ± 0,13 мг/кг, 0,36 ± 0,05 мг/кг, 3,60 ± 0,21 мг/кг і 2,06 ± 0,09 мг/кг.

Необхідно відзначити, що вміст мікроскладових у зерні малопоширених видів пшениць має значну мінливість [11]. Така тенденція може бути зумовлена морфологічними і селекційно-генетичними особливостями виду і сорту [12]. При цьому зерно малопоширених видів пшениць має вдвічі більше каротиноїдів, у 10 разів більше лютеїну, у чотири рази більше вітамінів В₂ і В₆ порівняно з сучасними сортами пшениці [13]. Необхідно відзначити, що в дослідженнях вивчали вміст мікроскладових лише в зерні.

Вітаміни нерівномірно розподілені в зернівці пшениці. Так, значна кількість вітаміну Е знаходиться в зародку зерна, а каротину – в алейроновому шарі [14]. Тканини ендосперму пшениці містять незначну кількість вітамінів, зокрема, А, В і Е. Встановлено [15], що вміст вітамінів змінюється залежно від технологічних елементів виробництва зернопродуктів. Тому вивчення впливу проведення на вміст вітамінів у крупі пшениці полби № 1 (ціла крупа) є актуальним.

Сутність проблеми полягає в тому, що в науковій літературі недостатньо досліджено питання формування вмісту вітамінів у круп'яних продуктів залежно від елементів технології перероблення. Тому необхідно проводити додаткові дослідження.

Формування цілей статті. Метою роботи є вивчення вмісту вітамінів у цілій крупі з пшениці полби залежно від тривалості лущення.

Матеріали і методи дослідження. Експериментальну частину роботи проводили у лабора-

торії «Оцінювання якості зерна і продуктів його перероблення» кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Для проведення досліджень використовували зерно пшениці полби ярої сорту Голіковська.

Підготовка зерна пшениці полби перед виготовленням круп'яних продуктів включала очищення зернової суміші за допомогою лабораторного пневматичного сепаратора РЕТКУС К-293 та очищення від дрібного зерна – прохід пробивного сита 1,7x20 мм – розсів РЛУ-1.

Зерно лущили у лабораторному лущильнику УШЗ-1. Це обладнання призначене для оброблення поверхні зерна методом інтенсивного стирання оболонки, у процесі якого відбувається видалення плодкових і насінневих оболонки, алейронового шару та частково зародку.

Вміст вітамінів – методом рідинної хроматографії на аналізаторі Хромос-301. Інтегральний скор – за такою формулою:

$$I = \frac{\Phi}{D} \times 100,$$

де I – інтегральний скор, %; Φ – фактичний вміст компоненту, мг/100 г зерна; D – добова потреба компоненту організмом здорової людини, мг.

Виклад основного матеріалу дослідження. Встановлено, що вміст вітамінів у крупі з пшениці полби змінювався залежно від тривалості лущення. Так, результати дослідження свідчать (табл. 1), що зі збільшенням тривалості лущення (20–200 с) зерна пшениці полби вміст вітаміну В₇ зменшувався у 1,4 рази від 0,11 до 0,008 мг/100 г, вітамінів В₆ і В₉ у 1,2–1,3 рази – відповідно з 0,29–0,37 до 0,057–0,068 мг/100 г. Натомість, кількісний склад вітамінів В₁, В₂, В₃, В₄, В₅ і пігментів (лютеїн + зеаксантин) змінювався не істотно.

Таблиця 1

Вміст водорозчинних вітамінів і пігментів у крупі з пшениці полби № 1 залежно від тривалості лущення, мг/100 г

Тривалість лущення, с	Вміст вітаміну								Лютеїн + зеаксантин
	В ₁	В ₂	В ₃	В ₄	В ₅	В ₆	В ₇	В ₉	
20	0,38	0,10	6,81	95,8	1,09	0,37	0,011	0,068	0,166
40	0,38	0,11	6,81	95,8	1,09	0,37	0,011	0,066	0,166
60	0,38	0,11	6,81	95,8	1,10	0,36	0,010	0,066	0,168
80	0,39	0,11	6,81	95,5	1,10	0,36	0,010	0,061	0,170
100	0,39	0,12	6,80	95,6	1,10	0,35	0,009	0,059	0,169
120	0,39	0,11	6,80	95,4	1,11	0,35	0,009	0,057	0,168
140	0,38	0,11	6,80	95,4	1,08	0,35	0,009	0,057	0,165
160	0,38	0,11	6,80	95,4	1,08	0,34	0,009	0,058	0,164
180	0,38	0,10	6,80	95,3	1,08	0,33	0,009	0,057	0,161
200	0,38	0,11	6,78	95,0	1,07	0,29	0,008	0,057	0,161

Таблиця 2

Вміст жиророзчинних вітамінів у крупі з пшениці полби № 1 залежно від тривалості лушення, мг/100 г

Тривалість лушення, с	Вміст провітамінів			
	K ₁	β-каротину	β-токоферолу	γ-токоферолу
20	4,6×10 ⁻³	0,003	0,21	1,71
40	4,5×10 ⁻³	0,003	0,21	1,68
60	4,5×10 ⁻³	0,003	0,22	1,69
80	4,4×10 ⁻³	0,003	0,21	1,68
100	4,3×10 ⁻³	0,003	0,22	1,69
120	4,2×10 ⁻³	0,003	0,21	1,68
140	4,2×10 ⁻³	0,003	0,23	1,67
160	4,1×10 ⁻³	0,003	0,22	1,68
180	4,1×10 ⁻³	0,002	0,21	1,67
200	3,8×10 ⁻³	0,002	0,22	1,68

Таблиця 3

Інтегральний скор вітамінів у крупі з пшениці полби № 1 залежно від тривалості лушення, %

Тривалість лушення, с	Інтегральний скор вітаміну										
	A	K	E	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₉
20	0,03	5,8	12,8	34,5	9,1	48,6	19,2	21,8	28,5	22,0	17,0
40	0,03	5,6	12,6	34,5	10,0	48,6	19,2	21,8	28,5	22,0	16,5
60	0,03	5,6	12,7	34,5	10,0	48,6	19,2	22,0	27,7	20,0	16,5
80	0,03	5,5	12,6	35,5	10,0	48,6	19,1	22,0	27,7	20,0	15,3
100	0,03	5,4	12,7	35,5	10,9	48,6	19,1	22,0	26,9	18,0	14,8
120	0,03	5,3	12,6	35,5	10,0	48,6	19,1	22,2	26,9	18,0	14,3
140	0,03	5,3	12,7	34,5	10,0	48,6	19,1	21,6	26,9	18,0	14,3
160	0,03	5,1	12,7	34,5	10,0	48,6	19,1	21,6	26,2	18,0	14,5
180	0,02	5,1	12,5	34,5	9,1	48,6	19,1	21,6	25,4	18,0	14,3
200	0,02	4,8	12,7	34,5	10,0	48,4	19,0	21,4	22,3	16,0	14,3

Було встановлено, що вміст вітаміну K₁ у крупі з пшениці полби № 1 істотно змінювався – від 4,6 до 3,8×10⁻³ мг/100 г залежно від тривалості лушення зерна (табл. 2). Вміст β-каротину, β- і γ-токоферолу були більш стабільними – відповідно 0,002–0,003, 0,21–0,23 і 1,67–1,71 мг/100 г.

Комплексно оцінивши динаміку зміни вмісту вітамінів у процесі лушення зерна пшениці полби сорту Голіковська, було встановлено їх рівномірний розподіл у зернівці, оскільки, в цілому, їх вміст змінювався неістотно.

Результати розрахунків свідчать, що найбільше добову потребу 100 г крупі з пшениці полби забезпечує вітамінами B₃ і B₁ – відповідно 48,4–48,6 і 34,5 % залежно від варіанту дослідження (табл. 3).

Інтегральний скор для вітамінів B₆, B₄, B₂ і E був на рівні 9,1–21,8 %. Необхідно відзначити, що цей показник для вітамінів B₆ знижувався від 28,5 % за лушення зерна впродовж 20 с до 22,3 % за лушення впродовж 200 с. Інтегральний скор.

для вітаміну B₇ знижувався від 22,0 до 16,0 %, а вітаміну B₉ – від 17,0 до 14,3 %. Найменший інтегральний скор був для вітаміну A – лише 0,02–0,03 %.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Вміст окремих вітамінів у крупі з пшениці полби № 1 із зерна сорту Голіковська істотно (майже на 43 %) змінюється залежно від тривалості лушення. Так, найбільш істотно зменшується вміст вітамінів K₁ (4,6–3,8×10⁻³ мг/100 г), B₇ (0,11–0,008 мг/100 г), B₆ (0,29–0,37 мг/100 г), B₉ (0,057–0,068 мг/100 г). Кількісний склад β-каротину, β- і γ-токоферолу, пігментів (лютеїн + зеаксантин) і вітамінів B₁, B₂, B₃, B₄ і B₅ змінюється не істотно. Найбільшу добову потребу 100 г крупі з пшениці полби забезпечує вітамінами B₃ і B₁. Тривалість лушення знижує інтегральний скор для вітамінів B₆, B₇ і B₉. Інтегральний скор для решти вітамінів майже не змінювався від тривалості лушення.

Список літератури:

1. Aliyev R. T., Abbasov M. A., Mammadov A. C. Genetic Identification of Diploid and Tetraploid Wheat Species with RAPD Markers. *Turk J Biol.* 2007. Vol. 31. P. 173–180.
2. Al-Akhdar H. H., Zinhoum R. A., Abdelfattah N. A. H. Microwave energy as an alternative control method for stored grain pests. *Egyptian Journal of Plant Protection Research Institute.* 2019. Vol. 2 (4). P. 612–621.

3. Čurná V., Lacko-Bartošová M. Chemical composition and nutritional value of emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): a review. *Journal of Central European Agriculture*. 2017. Vol. 18 (1). P. 117–134.
4. Geisslitz S., Ludwig C., Scherf K. A., & Koehler P. Targeted LC–MS/MS Reveals Similar Contents of α -Amylase/Trypsin-Inhibitors as Putative Triggers of Nonceliac Gluten Sensitivity in All Wheat Species except Einkorn. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. Vol. 66 (46). P. 12395–12403.
5. Любич В. В., Твердохліб О. В. Круп'яні властивості зерна пшениці однозернянки. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 62–74.
6. Новак Ж. М., Полянецька І. О., Любич В. В. Порівняльна характеристика тетраплоїдних видів пшениці в Правобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. №100. С. 215–224.
7. Giacintucci V., Guardeno L., Puig A. et al. Composition, protein contents, and microstructural characterisation of grains and flours of emmer wheats (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) of the central Italy type. *Czech Journal of Food Sciences*. 2014. V. 32 № 2. P. 115–121.
8. Любич В. В., Железна В. В. Математичне моделювання водотеплового оброблення зерна пшениці спельти. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2022. Вип. 1. С. 28–33.
9. Koga S., Böcker U., Wieser H. et al. Polymerisation of gluten proteins in developing wheat grain as affected by desiccation. *Journal of Cereal Science*. 2017. Vol. 73. P. 122–129.
10. Tekin M, Cengiz MF, Abbasov M, Aksoy A, Canci H, Akar T. Comparison of some mineral nutrients and vitamins in advanced hulled wheat lines. *Cereal Chem*. 2018. Vol. 95. P. 436–444.
11. Konvalina P., Stehno Z., Capouchova I., Zechner E., Berger S., Grausgruber H., Moudry J. Differences in grain/straw ratio, protein content and yield in landraces and modern varieties of different wheat species under organic farming. *Euphytica*. 2014. Vol. 199. P. 31–40.
12. Любич В. В., Железна В. В., Стратуца Я. С. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Вип. 3. С. 133–143.
13. Ziegler J. U., Wahl S., Wurschum T., Longin C. F., Carle R., Schweiggert R. M. Lutein and lutein esters in whole grain flours made from 75 genotypes of 5 *Triticum* species grown at multiple sites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. P. 5061–5071.
14. Любич В. В., Войтовська В. І., Кононенко Л. М. Вміст вітамінів і мінеральних елементів у зернопродуктах різних сортів соризу. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2022. Вип. 101. Ч. 1. С. 78–86.
15. Rohi M., Pasha I., Butt M. S., Nawaz H. Variation in the levels of B-vitamins and protein content in wheat flours. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2013. 12 (5). P. 441–447.

Liubych V.V., Leshchenko I.A. VITAMIN CONTENT IN EMMER WHOLE GRAIN CEREAL DEPENDING ON HUSKING DURATION

In the conditions of globalization, it is important to combine the preservation of genetic diversity and the use of areas that are not suitable for soft wheat cultivation, with the contemporary provision of modern trends of consumers regarding food products. Cultivation of rare wheat types will contribute to providing the population with high-quality, safe food products, which is currently a rather promising trend. Emmer wheat occupies an increasing share among other wheat types, because, along with a high protein content, it has a significant amount of resistant starch, fiber, carotenoids, antioxidants and is characterized by a lower energy content. In addition, grain and products of its processing have a higher biological value.

The article is dedicated to the research of vitamin content in emmer whole grain cereal depending on husking duration. It was established that with an increase in husking duration (20–200 s) of emmer wheat grain, the content of vitamin B₇ decreased by 1.4 times from 0.11 to 0.008 mg/100 g, vitamins B₆ and B₉ by 1.2–1.3 times, respectively, from 0.29–0.37 to 0.057–0.068 mg/100 g. On the other hand, the quantitative composition of vitamins B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ and pigments (lutein + zeaxanthin) did not change significantly.

It was established that vitamin K₁ content in emmer wheat No. 1 (Holikovska variety) cereal varied significantly – from 4.6 to 3.8 × 10⁻³ mg/100 g, depending on husking duration. The content of β -carotene, β - and γ -tocopherol were more stable – 0.002–0.003, 0.21–0.23 and 1.67–1.71 mg/100 g, respectively.

Having comprehensively assessed the dynamic pattern in vitamin content in the process of emmer wheat grain husking, their uniform distribution in the kernel was established, since, in general, their content changed insignificantly.

The content of individual vitamins in emmer wheat No. 1 cereal of Holikovska variety grain changed significantly (by almost 43%) depending on husking duration. Thus, the content of vitamins K₁ (4.6–3.8 × 10⁻³ mg/100 g), B₇ (0.11–0.008 mg/100g), B₆ (0.29–0.37 mg/100), B₉ (0.057–0.068 mg/100 g) decreased most significantly. The quantitative composition of β -carotene, β - and γ -tocopherol pigments (lutein + zeaxanthin) and vitamins B₁, B₂, B₃, B₄ and B₅ did not change significantly.

Key words: whole grain cereal, emmer wheat, grain, husking, vitamins.

Ушкало М.М.

Національний університет харчових технологій

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА КРЕМ-СУПУ

На сьогоднішній день, дуже важливим етапом роботи закладів ресторанного господарства є дотримання вимог, щодо виготовлення якісної та безпечної продукції, одне з провідних місць, щодо управління безпечністю продукції займає система НАССР. Впровадження даної системи дозволяє: підвищити довіру споживача до наданої продукції та послуги; зменшити втрати, покращити безпечність продукції; віднайти небезпечні фактори та позбутися від них тощо. У наш час, досить високою популярністю користуються крем-супи, завдяки своїй кремовій консистенції та ніжному вершковому смаку, отже у даній роботі запропоновано провести моніторинг безпечності виробництва крем-супів. Моніторинг небезпечних факторів, що виникають під час виробництва продукції, вважається найбільш важливим етапом, адже саме під час приготування страви є ризик потрапляння сторонніх домішок з одягу персоналу, також погано вимитий посуд та руки можуть спричинити хімічне забруднення, а неправильне дотримання температури при випічці, охолодженні та подальшому зберіганні може призвести до швидкого псування та втрати безпечності страви. Тому для уникнення появи небезпечних чинників, необхідно їх ідентифікувати на всіх етапах виробництва. Найбільш висока вірогідність ураження страви небезпечними чинниками спостерігається на етапі варіння, пасерування, оформлення та реалізації, так як було виявлено найвищий ризик потрапляння сторонніх домішок та за рахунок недотримання технологічного процесу є можливість псування страви та виникнення небезпечних мікроорганізмів. Для того, щоб цього уникнути, було запропоновано запобіжні заходи, на кожному з етапів виробництва, такі як: ретельне миття рук, робочої поверхні, посуду, інвентарю та обладнання, дотримання технології приготування та температурних режимів, задля уникнення зараження страв патогенними мікроорганізмами при подальшому зберіганні. Після цього з допомогою «дерева прийняття рішень», було ідентифіковано Критичні контрольні точки (ККТ) на етапі приготування пюре, соусу та на етапі реалізації. Відповідно до попередньо проведених досліджень було створено: «План управління безпечністю страви «Крем-суп із зеленого горошку»» при виробництві.

Ключові слова: крем-суп, небезпечні фактори, моніторинг, критичні контрольні точки (ККТ).

Постановка проблеми. Головною метою праці закладів ресторанного господарства є виготовлення якісної та безпечної продукції та послуг. Безпечна продукція – це продукція, яка не несе у собі ризиків для здоров'я споживача. Кожен заклад намагається виготовити якомога більш якісну та безпечну страву, для задоволення потреб споживача та утримання своєї репутації. Саме для цього, у світі запроваджена низка систем управління якості, яких необхідно дотримуватися, задля можливості працювати та виготовляти безпечну продукцію.

Найбільшої уваги в Україні на даний час приділяють такій системі безпечності продукції як НАССР – система аналізу небезпечних факторів та контролю критичних точок на всіх етапах виробництва, для забезпечення виготовлення якісної та безпечної продукції. Завдяки оцінці та аналізу факторів (фізичного, хімічного та біологічного), що можуть призвести до виникнення ризику забруднення продукції та сировини, дося-

гається безпечність харчових продуктів. Введення НАССР запезпечує не тільки дотримання вимог гігієни та санітарії, але й зменшення ризиків отруєння споживачів, удосконалення процесів виробництва продукції [1].

Для проведення моніторингу безпечності була обрана така група продукції як супи, а саме крем-супи так як вони користуються шаленою популярністю серед споживачів завдяки своїм неперевершеним смаковим властивостям, тому більшої уваги необхідно приділити ділянці приготування супів. Дана ділянка повинна бути оснащена всім необхідним обладнанням та устаткуванням: виробничі столи з вбудованими холодильниками, ваги, індукційна плита, ситами для протирання овочів, тощо. Провівши аналіз літератури, було знайдено безліч інформації, щодо проведення досліджень у напрямку виготовлення та удосконалення супів, крем-супів та супів-пюре [2-5]. Але варто зазначити, що раніше не було проведено досліджень, щодо моніторингу безпечності крем-

супі на етапі виробництва, що робить дану роботу унікальною.

Проблема пов'язана із виробництвом безпечної продукції, а саме крем-супів є актуальною, адже виготовлення безпечної та якісної продукції це шлях до серця споживачів та головна мета роботи, будь-якого, закладу ресторанного господарства.

Мета та методи дослідження. Розробка системи моніторингу безпечності та якості виробництва крем-супів на основі принципів НААСР.

Для досягнення мети, необхідно:

- Проаналізувати технологію приготування крем-супів та встановити вимоги щодо їх безпечності та якості;
- Розробити систему моніторингу виробництва крем-супів;
- Розробити план управління безпечністю страви.

Результати та їх обговорення. Для виявлення ризиків та небезпечних факторів, які можуть негативно вплинути на готову страву, та для запобігання їх виготовлення в першу чергу необхідно скласти технологічну схему виготовлення крем-супу. Для дослідження було обрано страву «Крем-суп із зеленого горошку».

Для початку сировину необхідно прийняти, перевірити її на наявність дефектів. Після цього сировина відправляється на тимчасове зберігання

відповідно до температурних режимів та відносної вологості. Перед основним приготуванням супу овочі необхідно промити, очистити та нарізати, сипку сировини – просіяти з використанням сита, провести санітарну обробку яєць.

Для основного приготування овочі та горох необхідно довести до готовності методом припускання у невеликій кількості води, протерти для отримання однорідної ніжної консистенції, обов'язково необхідно використовувати сито, а не блендер, для уникнення утворення зайвих бульбашок повітря; окремо зварити білий соус на основі молока, борошна та вершкового масла з додаванням солі, соус з'єднати з протертим пюре та додати воду, проварити декілька хвилин в кінці заправити льезоном та оформити. Відповідна більш детальна технологічна схема приготування крем-супу із зеленого горошку наведена на рис. 1.

Моніторинг небезпечних факторів, що виникають під час виробництва продукції вважається найбільш важливим етапом, адже саме під час приготування страви є ризик потрапляння сторонніх домішок з одягу персоналу, також погано вимитий посуд та руки можуть спричинити хімічне забруднення, а не правильне дотримання температури при випічці, охолодженні та подальшому зберіганні може спричинити до швидкого псування та втрати безпечності. Тому для уник-

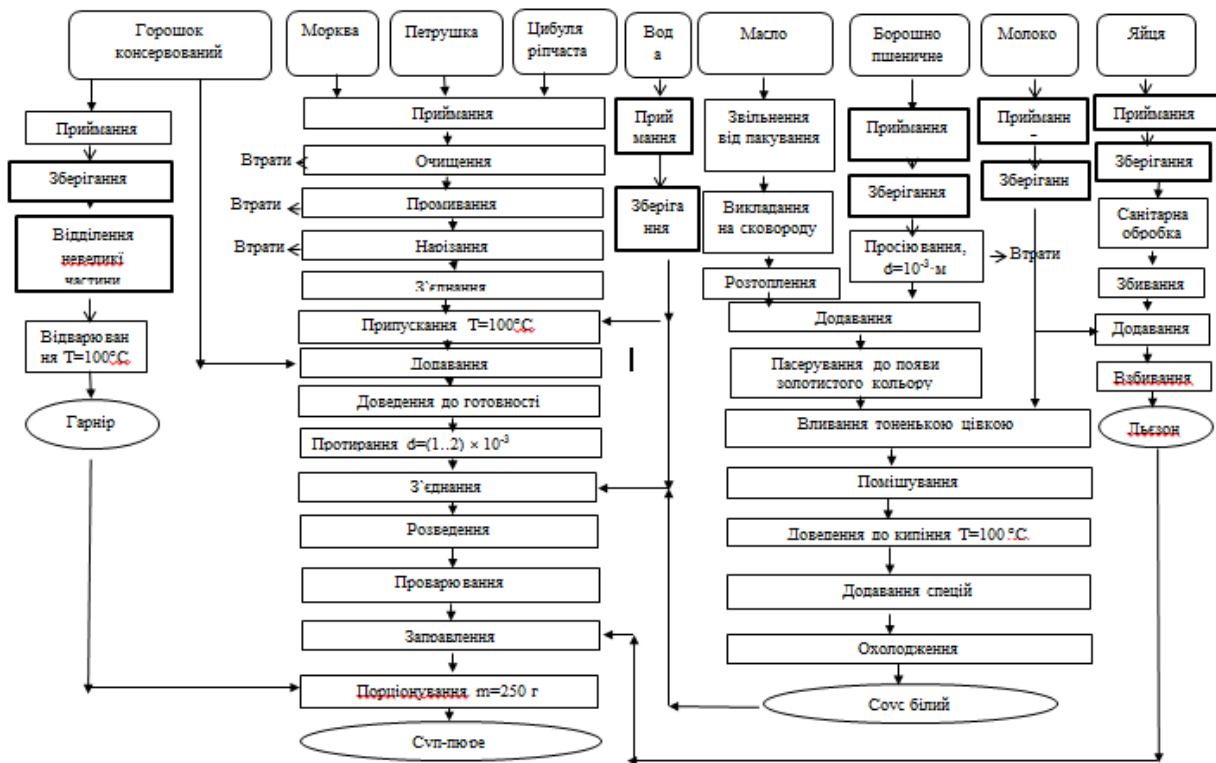


Рис. 1. Блок-схема виробництва страви «Крем-суп із зеленого горошку»

нення появи небезпечних чинників, необхідно їх ідентифікувати на всіх етапах виробництва, та отримані результати занести до таблиці 1.

Найбільш висока вірогідність ураження страви небезпечними чинниками спостерігається на етапі варіння, пасерування, оформлення та реалізації, так як найвищий ризик потрапляння сторонніх домішок та за рахунок недотримання технологічного процесу є можливість зіпсувати страву та спричинити утворення небезпечних мікроорганізмів. Для того, щоб цього уникнути, необхідно

запропонувати запобіжні заходи та представити їх у вигляді таблиці 2.

Тож, для запобігання утворення небезпечних чинників, необхідно ретельно мити руки, робочу поверхню, посуд, інвентар та обладнання, дотримуватися технології приготування та температурних режимів, щоб уникнути зараження страв патогенними мікроорганізмами при подальшому зберіганні.

Наступним кроком є аналіз етапів виробництва страви, щоб зрозуміти, коли небезпечний чинник

Таблиця 1

Ідентифікація небезпечних чинників на етапі виробництва супу із зеленого горошку

Етап процесу	Небезпечні фактори		Запропоновані регульовальні дії щодо запобігання, усунення або зменшення ступеня ризику небезпечного чинника
	Позначення	Причини появи	
Підготовчі операції, нарізання, просіювання	Б	Використання брудного посуду, не вимиті руки та поверхня	Контроль процесу, контроль миття обладнання, дотримання санітарних вимог персоналом
	Х	Погано вимитий посуд та інвентар, залишки миючих засобів та хімії	Ретельно промивати інвентар, руки та поверхні після миття миючими та дезінфікуючими засобами
	Ф	Наявність сторонніх предметів (скла, пластику, металу, волосся, нігтів)	Слідкувати за цілісністю тари, справністю обладнання, дотримання персоналом правил гігієни (правильно носити форму, нігті повинні бути обрізані)
Варіння, пасерування, припускання (приготування пюре)	Б	Недотримання температурних режимів, використання брудного посуду, порушення технології приготування	Контроль за параметрами технологічного процесу, миття обладнання, дотримання санітарних вимог
	Х	Погано вимитий посуд із залишками хімії	Ретельно промивати інвентар після миття миючими та дезінфікуючими засобами та добре змивати миючий засіб з рук та поверхонь
	Ф	Може містити сторонні домішки (нігті, волосся, гудзики)	Слідкувати за цілісністю тари, справністю обладнання, дотримання персоналом правил гігієни (правильно носити форму, нігті повинні бути обрізані)
Приготування соусу	Б	Недотримання температурних режимів, використання брудного посуду, порушення технології	Контроль за параметрами технологічного процесу, миття обладнання, дотримання санітарних вимог
	Х	Погано вимитий інвентар та руки із залишками хімії	Ретельно промивати інвентар після миття миючими та дезінфікуючими засобами та добре змивати миючий засіб з рук та поверхонь
	Ф	Може містити сторонні домішки (нігті, волосся, гудзики)	Слідкувати за цілісністю тари, справністю обладнання, дотримання персоналом правил гігієни (правильно носити форму, нігті повинні бути обрізані)
Оформлення, порціонування та реалізація	Б	Погано вимиті руки, порушення температури подачі	Контроль за параметрами технологічного процесу, миття обладнання, дотримання санітарних вимог
	Х	Залишки миючих засобів на руках та посуді	Ретельно промивати інвентар після миття миючими та дезінфікуючими засобами та добре змивати миючий засіб з рук та поверхонь
	Ф	Наявність сторонніх предметів (скла, пластику, металу, волосся, нігтів)	Слідкувати за цілісністю тари, справністю обладнання, дотримання персоналом правил гігієни (правильно носити форму, нігті повинні бути обрізані)

Літературне джерело використане для написання таблиці [6]

**Необхідні запобіжні дії для уникнення дії небезпечних чинників
на етапі приготування супу із зеленого горошку**

Ідентифікований небезпечний чинник	Процедура запобіжної дії
Етап: Підготовчі операції, нарізання, просівання Етап: порціонування, оформлення, реалізація	
Б: МАФАНМ, БГКП	Вірогідність появи середня. Контроль за санітарним станом тари, інвентарю, приміщень, дотримання гігієни персоналом. Управління: ПП-5 «Чистота поверхонь (процедури прибирання, миття й дезінфекції виробничих, допоміжних і побутових приміщень та інших поверхонь)» ПП-6 «Здоров'я та гігієна персоналу» Графік прибирання, журнал змивів.
Х: Токсичні елементи, залишки миючих засобів	Вірогідність появи висока Контроль за змивами технічного обладнання, інвентарю та тари. Управління: ПП-5 «Чистота поверхонь (процедури прибирання, миття й дезінфекції виробничих, допоміжних і побутових приміщень та інших поверхонь)» Журнал контролю змивів
Ф: уламки скла, металу, пластику, бруд, сторонні домішки (нігті, волосся, вії, гудзики, прикраси)	Контроль за цілісністю тари, обладнання, дотримання персоналом вимог щодо дотримання санітарних норм. Управління: ПП-2 «Вимоги до стану приміщень, обладнання, проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування обладнання, калібрування тощо, а також заходи щодо захисту харчових продуктів від забруднення та сторонніх домішок» ПП-6 «Здоров'я та гігієна персоналу» План проведення ремонтних робіт, графік технічного обслуговування обладнання, навчання персоналу
Етап: варіння, пасерування, припускання (приготування пюре), приготування соусу	
Б: <i>Bacillus subtilis</i> , <i>S.Aureus</i> , стрептококи	Вірогідність появи висока. Контроль за параметрами технологічного процесу, санітарним станом тари, інвентарю, приміщень. Управління: ПП-5 «Чистота поверхонь (процедури прибирання, миття й дезінфекції виробничих, допоміжних і побутових приміщень та інших поверхонь)» ПП-10 «Контроль за технологічними процесами» Журнал контролю технологічних режимів, журнал змиву обладнання.
Х: Залишки миючих засобів на руках та посуді, що використовується для приготування страви	Вірогідність появи середня. Контроль за змивами технічного обладнання, інвентарю та тари. Управління: ПП-5 «Чистота поверхонь (процедури прибирання, миття й дезінфекції виробничих, допоміжних і побутових приміщень та інших поверхонь)» Журнал контролю змивів
Ф: уламки скла, металу, пластику, бруд, сторонні домішки (нігті, волосся, вії, гудзики, прикраси)	Вірогідність появи середня Контроль за цілісністю тари, обладнання, дотримання персоналом гігієнічних вимог. Управління: ПП-2 «Вимоги до стану приміщень, обладнання, проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування обладнання, калібрування тощо, а також заходи щодо захисту продуктів від забруднення та сторонніх домішок» ПП-6 «Здоров'я та гігієна персоналу» План проведення ремонтних робіт, графік технічного обслуговування обладнання, навчання персоналу.

Літературне джерело використане для написання таблиці [7].

можна ідентифікувати як ККТ для контролю безпечності продукції, а коли для цього необхідно застосувати програми-передумови, для цього використовується система «Дерева прийняття рішень», яке в основному складається з чотирьох питань, відповівши на які можна виявити наявність на етапі виробництва критичних контрольних точок.

Перелік питань: Запитання 1: Чи існують на даному етапі чи на наступному етапі попереджувальні дії для цього небезпечного чиннику? Запитання 2: Чи може даний етап зменшити рівень небезпечного чиннику до прийнятого? Запитання 3: Чи є можливість на цьому етапі появи небезпечного чиннику або збільшення його до недопустимого рівня? Запитання 3: Чи є можливість на цьому етапі появи небезпечного чиннику або збільшення його до недопустимого рівня? Запитання 4: Чи гарантує наступний етап усунення небезпечного чиннику?

Отже, відповідно до алгоритму прийняття рішень, було визначено, що етап приготування пюре, приготування соусу та реалізація є критичними контрольними точками. Найбільш небезпечними факторами може бути недотримання технології приготування, температурних режимів, неякісна обробка та миття інвентарю, неякісна сировина та не дотримання гігієни працівника (миття та дезінфекція рук, відсутність форми тощо).

Для виправлення ситуації, необхідно прибїгти до певних заходів. П'ятим принципом системи НАССР є розробка коригувальних дій. Тому для завершення розробки плану НАССР, необхідно встановити коригувальні дії, для ККТ, ідентифікування яких було проведено в попередніх 2 розділах. Для кожної критичної точки контролю повинен бути розроблений порядок дій у випадку перевищення критичних меж.

Після виправлення ситуації потрібно запобігти її повторенню у майбутньому – знайти причину відхилення і ліквідувати її. Це також вимагає певних знань і відповідальності працівників, тому процедура з упровадження коригувальних дій у ККТ повинна містити не лише чіткий порядок заходів, а й розподіляти ролі та завдання кожного працівника, залученого у процес [8].

Отже, необхідно скласти план НАССР, зазначити небезпечні чинники, що відбуваються на етапі виробництва сировини, визначити коригувальні дії для попередньо ідентифікованих ККТ та зазначаємо відповідальну особу. Дані заносимо до табл. 3.

Висновок. Отже, під час створення плану НАССР для виготовлення страви «Крем-суп із зеленого горошку», було досліджено, що під час процесу виробництва виникає 3 критичні контрольні точки (ККТ), вони можуть виникнути на таких етапах виробництва як: приготування пюре, приготування соусу та реалізація. Для кожної ККТ було розроблено коригувальну дію та назначено відповідальну особу для контролю за їх дотриманням. Отже, систему моніторингу безпечності продукції, яка використовується для приготування страви «Крем-суп із зеленого горошку», можна вважати дієвою та придатною до використання у закладах ресторанного господарства.

Таблиця 3

План управління безпечністю виробництва страви «Крем-суп із зеленого горошку»

Найменування продукту «Крем-суп із зеленого горошку»							
Етап	Небезпечний чинник	№ ККТ	Критична гранична величина для кожної ККТ	Процедура моніторингу ККТ	Коригувальна дія	Протокол НАССР	Відповідальна особа
Приготування пюре	Недотримання технології приготування страви, та неякісна обробка інвентарю, що використовується для протирання, може викликати розвиток патогенної мікрофлори.	2	Температура приготування $t=100-110^{\circ}\text{C}$, час приготування: $\tau=30-40$ хв.	Дотримання технології приготування страви персоналом	Назначається особа, яка буде проводити контроль за процесом приготування страви, дотримання температури, часу приготування та контроль за обробкою інвентарю	Журнал контролю технологічних режимів	Старший кухар
Приготування соусу	Недотримання технології приготування страви, часу приготування та введення інгредієнтів невідповідної температури, може викликати розвиток патогенної мікрофлори.	3	Температура приготування $t=100-110^{\circ}\text{C}$, час приготування: $\tau=10-12$ хв.	Дотримання технології приготування соусу	Назначається особа, яка буде регулювати процес та час приготування страви, дотримання температури, часу приготування	Журнал контролю технологічних режимів	Старший кухар
Реалізація	При порушенні дотримання санітарно-гігієнічних норм, та недотримання температури подачі, виникає ймовірність ураження продукції патогенною мікрофлорою	4	Температура подачі: $t=65^{\circ}\text{C}$, час подачі $\tau=10-15$ хв. Заправлення льезоном безпосередньо перед оформленням	Дотримання санітарно-гігієнічних норм, дотримання температури подачі страви	Назначається відповідальна особа, що контролює правила, щодо дотримання санітарних норм та температурних режимів подачі	Журнал контролю технологічних режимів, журнал миття інвентарю та обладнання	Старший кухар

Список літератури:

1. Неефективне впровадження системи HACCP у закладах торгівлі. Платформа «Gov.ua». URL: <https://dp.dpss.gov.ua/news/neefektivne-vprovadzheniya-sistemi-nassr-u-zakladah-torgivli>.
2. Удосконалення технології супів із використанням рослинної сировини. Корецька І. Л., Польовик В. В., Чижевська Л. А. URL: https://www.tech.vernadskeyournals.in.ua/journals/2020/4_2020/33.pdf
3. Впровадження новітніх технологій пореподібних супів. Валентина Гончар. URL: https://www.researchgate.net/publication/336296501_VPROVADZENNA_NOVITNIH_TEHNOLOGIJ_PUREPODIBNIH_SUPIV
4. Магістрант Яцура Микола Миколайович. «Розробка технології смузі з біологічно цінною добавкою». URL: <http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/10758/1/%D0%9C%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%86.%D0%9E..pdf>
5. Могильний Іван Олександрович. «Удосконалення технології супу-пюре на основі гарбуза». URL: <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/10758>
6. Ризики при формуванні документації системи управління безпечністю харчових продуктів. Платформа «СФЕРО». URL: <https://sfero.org.ua/nassr/ryzyky-pry-formuvanni-dokumentatsiyi-systemy-upravlinnya-bezpechnistyuharchovyh-produktiv/>
7. Впровадження системи HACCP для операторів ринку харчових продуктів : практичний посібник / А. С. Ткаченко, Ю. О. Басова, О. О. Горячова та ін. ; за загальною редакцією А. С. Ткаченко. Полтава : ПУЕТ, 2020. 137 с.
8. Принцип HACCP №5. Встановлення коригувальних дій. Платформа «Знаймо». URL: <https://znaimo.gov.ua/pryntsyyp-nassr-5-vstanovlennia-koryhuvalnykh-dii>.

Ushkalo M.M. DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR CREAM SOUP PRODUCTION

Today, a very important stage in the work of restaurant establishments is compliance with the requirements for the manufacture of high-quality and safe products, and one of the leading places in product safety management is the HACCP system. Implementation of this system allows to Increase consumer confidence in the products and services provided; reduce losses, improve product safety; identify hazards and get rid of them, etc. Nowadays, cream soups are quite popular due to their creamy texture and delicate creamy taste, so this paper proposes to monitor the safety of cream soup production. Monitoring of hazards arising during production is considered the most important stage, because it is during the preparation of a dish that there is a risk of impurities from staff clothing, poorly washed dishes and hands can cause chemical contamination, and improper temperature control during baking, cooling and subsequent storage can lead to rapid spoilage and loss of safety of the dish. Therefore, to avoid the occurrence of hazards, it is necessary to identify them at all stages of production. The highest probability of exposure to hazards is observed at the stage of cooking, sautéing, packaging and sale, as the highest risk of impurities was identified and due to non-compliance with the technological process, there is a possibility of spoilage and the emergence of dangerous microorganisms. In order to avoid this, we proposed precautions at each stage of production, such as thorough washing of hands, work surfaces, utensils, inventory and equipment, compliance with cooking technology and temperature conditions to avoid contamination of food with pathogens during further storage. After that, using a decision tree, we identified critical control points (CCPs) at the stage of mashed potatoes, sauce and at the stage of sale. In accordance with the previous research, a "Safety Management Plan for the Creamy Green Pea Soup" during production.

Key words: cream soup, hazards arising, monitoring, critical control points (CCPs).

ТРАНСПОРТ

УДК 629.5+004.92

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/17>

Бойко С.О.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Якусевич Ю.Г.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Дорофєєва З.Я.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Бажак О.В.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В ГАЛУЗІ СУДНОБУДУВАННЯ

Метою роботи є дослідження шляхів забезпечення ефективного використання спеціалізованих систем автоматизованого проектування (САПР) в галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD (computer-aided design) моделей виробів для підвищення рівня автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна. На даний час існує значна кількість спеціалізованих систем САПР, які активно використовуються в суднобудуванні, зокрема, FORAN, TRIBON, NUPAS-CADMATIC, CATIA, PLATER, DEFCAR, NAPA та інші. При цьому більшість провідних світових суднобудівних заводів на теперішній час завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Однак практично всі на даний час верфі, як і раніше, випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу. У статті розглянуто особливості стандартів обміну геометричними характеристиками моделей при використанні САПР. При цьому визначено, що важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської моделі виробу для підтримки саме виробничих процесів. Визначено, що основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами автоматизованого виробництва і верстатами з числовим програмним управлінням є стандарт STEP-NC. Визначено, що найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості на основі стандарту STEP-NC є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. При цьому напрямком подальшого вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і специфікації виробу в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі з використанням стандартів в рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, двовимірний модель, тривимірний модель, креслення, виріб, суднобудування.

Постановка проблеми. Система автоматизованого проектування (САПР) – це автоматизована система, що реалізує інформаційні технології для виконання проектних функцій, являє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається з персоналу і сукупності технічних, програмних

та інших засобів автоматизації своєї діяльності. На теперішній час існує значна кількість спеціалізованих САПР, які активно використовуються у суднобудуванні, зокрема:

1) FORAN – спеціалізована суднобудівна система проектування (розроблена компанією SENER INGENIERIA Y SISTEMAS S. A.)

2) TRIBON – спеціалізована суднобудівна система проектування (розроблена компанією TRIBON SOLUTIONS, з 2004 року TRIBON увійшла до складу AVEVA);

3) NUPAS-CADMATIC – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена як NUMERIEK CENTRUM GRONINGEN B. V., так і CADMATIC Ltd.);

4) CATIA – система проектування, розроблена компанією DASSAULT SYSTEMES, Франція за підтримки корпорації IBM, США. У теперішній час оголошується як система, що враховує специфіку проектування в суднобудуванні;

5) AutoSHIP – спеціалізована система проектування суднобудування, розроблена корпорацією AUTOSHIP SYSTEMS;

6) PLATER – комплексна система автоматизації конструкторсько-технологічної підготовки корпусного виробництва суднобудівного заводу;

7) DEFCAR – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена компанією DEFCAR Eng.);

8) NAPA – спеціалізована система проектування суднобудування (розроблена Nara Oy).

При цьому слід зазначити, що даний клас САПР дозволяє здійснювати 2-мірне проектування (2D), 3-мірне проектування (3D), проводити необхідні розрахунки, розробляти конструкторську і технологічну документацію на різних етапах проектування, будівництва та модернізації судна. Разом з тим, наразі ще не є сталим та розвивається процес визначення взаємодії і взаємосумісності 2D та 3D CAD-моделей у галузі суднобудування, в тому числі з точки зору використання відповідних моделей для підтримки виробничих процесів.

Тому забезпечення ефективного використання САПР у галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD-моделей виробів є актуальним дослідженням, спрямованим на вирішення завдань автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна (приклади застосування спеціалізованих САПР у суднобудуванні наведені на рис. 1).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У галузі комп'ютерного моделювання (проектування) різноманітних виробів з використанням САПР є велика кількість досліджень, як серед вітчизняних науковців, наприклад [1–6], так і серед закордонних дослідників, наприклад [7–9]. Разом з тим питання дослідження шляхів забезпечення ефективного взаємного використання 2D та 3D CAD моделей виробів не достатньо висвітлені, або відповідні питання розглядаються не

з точки зору використання при їх розробці спеціалізованих САПР у галузі суднобудування.

Мета статті (постановка завдання). Дослідження шляхів забезпечення ефективного використання спеціалізованих САПР у галузі суднобудування при розробці 2D та 3D CAD-моделей виробів для підвищення рівня автоматизації різних етапів проектування, будівництва та модернізації судна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Більшість провідних світових суднобудівних заводів на даний час завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Цей перехід базується на припущенні, що CAD модель виробу може бути повторно використана у багатьох наступних проектах та автоматизованих системах.

Міграція першого покоління полягала в отриманні явних рішень про твердотільну геометрію виробу. Однак геометрія сама по собі не є моделлю виробу. Обґрунтування витрат на створення моделі полягає в тому, що вона може і повинна багаторазово використовуватися наступними розробниками і САПР. Однак на даний час практично всі верфі, як і раніше випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу. Насправді, у більшості випадків САПР використовується саме як засіб для створення інженерного креслення. Однак інженерне креслення – це не просто один зі способів представлення виробу. Інженерні креслення, як і раніше, містять інформацію, яка ніде не відображена у тривимірній моделі виробу.

Поштовхом до переходу у суднобудуванні до САПР стала можливість створення цілісної моделі виробу, яку можна створити один раз і використовувати багаторазово. Прийняття твердотільного моделювання номінальної геометрії є першим кроком у процесі створення такої можливості в рамках суднобудування.

У першому поколінні САПР платформ, прийнятих в суднобудівній промисловості, велика увага приділялася інструментам для створення і редагування твердотільної геометрії. Це був природний розвиток, тому що технологія твердотільного моделювання тільки починала розвиватися, і розробники САПР присвячували цій технічній проблемі більшу частину своїх ресурсів. Однак створення номінальної твердотільної геометрії є лише першим кроком у визначенні моделі багаторазового виробу, особливо в рамках суднобуду-

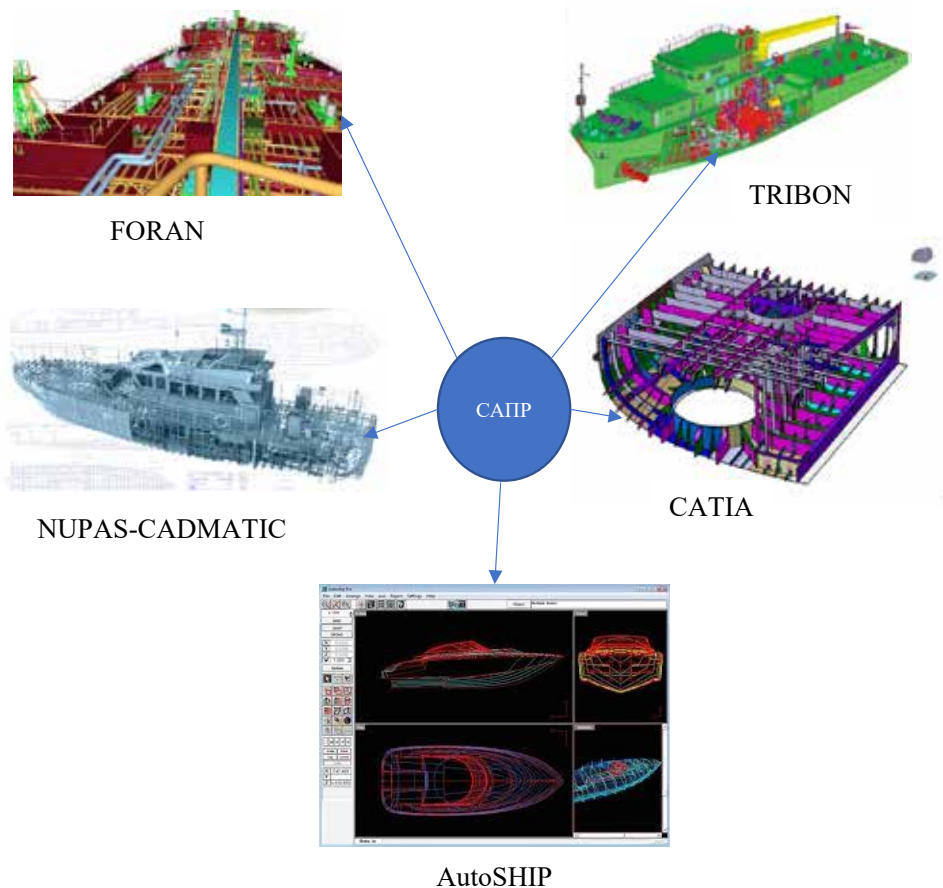


Рис. 1. Приклади застосування спеціалізованих САПР у суднобудуванні

вання. Твердотільна геометрія стає ефективною для повторного використання після того, як буде пов'язана з елементами конструкції шляхом визначення відповідних характеристик. При цьому такі характеристики пов'язані з об'єктно-орієнтованим підходом до інформаційного моделювання. Якщо в моделі виробу відображено більше інформації, у наступних програмних додатках з'являється можливість повторно використовувати відповідну модель виробу.

Такі характеристики тісно пов'язані з параметричним моделюванням. Характеристики визначаються присвоєнням фактичних значень одному або декільком змінним параметрам. При цьому перші САПР підтримували можливість генерувати тільки 2D-моделі і з відповідними параметрами. У суднобудуванні такий підхід використовувався у процесі концептуального проектування, в якому важливим є можливість проведення аналізу «що-якщо».

Проектні рішення, засновані на використанні розширеного переліку характеристик, доповнюють геометричну модель можливостями щодо

свободи проектування, геометричних обмежень та конструктивних особливостей. Свобода проектування вказує на діапазон прийнятних альтернатив проекту. Геометричні обмеження роблять явними обмеження, накладені на допустимі альтернативи проекту. Конструктивні характеристики – це високорівневі конструктивні елементи з параметризованими розмірами. Вони підтримують визначення сімейств частин, в яких розміри можуть залежати від інших параметрів.

На теперішній час існують міжнародні та вітчизняні стандарти обміну геометричними характеристиками при використанні САПР, наприклад, ДСТУ ISO 10303-108:2007 [10]. Зокрема, цей стандарт передбачає механізм прив'язки параметрів до розмірів моделі (і до інших змінних). Він також підтримує представлення геометричних обмежень і описує, як співвіднести їх з геометричними елементами. Нарешті, він підтримує можливість моделювання складних фігур на основі двовимірних профілів.

Важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської

моделі виробу для підтримки виробничих процесів. Тобто, як тільки модель виробу буде завершена, програми автоматизованого виробництва (CAM) можуть бути використані для додавання виробничих характеристик. Виробничі характеристики необхідно відокремлювати від конструктивних характеристик. Виробничі характеристики – це змістовні конструкції, які описують, як виготовляється виріб; вони можуть відрізнятися для різних виробничих потужностей або з інших причин, а тому не повинні змішуватися в рамках конструкторської моделі виробу. Послідовний набір виробничих характеристик необхідний для підтримки сумісності не тільки між системами САМ на різних верфях, але й між САПР і САМ-системами. На сьогоднішній день у багатьох випадках завантаження САМ-системи пов'язане з дорогою конверсією даних, що може привести до втрати часу і дорогого перепрофілювання виробу.

Основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами САМ і верстатами з числовим програмним управлінням (ЧПУ) є стандарт STEP-NC. Технічний підхід, втілений у стандарті STEP-NC, полягає в розробці інтегрованої моделі даних (охоплює функціональність CAD, САМ і ЧПУ). Інтегрована модель даних містить геометрію (САПР), характеристики (як проектування, так і виробництво) та визначення інструментів (включаючи як геометричну конфігурацію інструменту, так і його технологічну інформацію). Метою інтегрованої моделі виробу є надання достатньої інформації для підтримки інтелектуальної генерації інструментальних шляхів, необхідних для виготовлення деталі для судна, з урахуванням наявних засобів виробництва.

Модель виробу STEP-NC починається з номінальної геометрії (і конструктивних особливостей) CAD моделі виробу. Потім система САМ вдосконалюється на цій моделі, пов'язуючи її з виробничими характеристиками. Крім того, дані про процес для кожного верстату з ЧПУ представлені через доступні операції та обмеження інструментів. Нарешті, складається план робіт, який представляє собою опис кожного етапу робіт, який необхідно виконати.

Інтегрована модель виробництва складається з поєднання плану роботи, номінальної геометрії, виробничих характеристик і описів інструментів. На підставі цієї інформації верстат з ЧПУ може використовувати власні алгоритми для визначення операцій низького рівня, які найкраще виконують план. Інтегрована модель буде однаковою для всіх сумісних верстатів з ЧПУ та являє собою більш

повну специфікацію продукту, інтерпретовану комп'ютером.

Робота над STEP-NC почалася з визначення митних вимог до токарно-фрезерного виробництва в рамках ISO 14649. Ця робота була приведена у відповідність зі стандартом STEP в ISO10303-238, протоколом застосування для STEP-NC. Цей стандарт визначає інтерфейс між функціями виробництва САМ і верстатами з ЧПУ. Він також забезпечує сумісність інформації з номінальною геометрією, визначеною в CAD моделі.

Хоча технічний підхід STEP-NC показує перспективність для суднобудівної галузі, корисність поточної діяльності обмежена. Фрезерні і токарні процеси грають другорядну роль в суднобудуванні. Найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. Підхід STEP-NC також добре підходить для цих галузей, особливо як засіб автоматизації виробничих процесів і інтерфейсів між CAD і САМ.

Разом з тим, деякі суднобудівні верфі продовжують використовувати платформи 2D CAD і сьогодні, незважаючи на те, що більшість верфей вже перейшли на платформи 3D CAD і широко використовують тривимірні моделі виробів.

Особливість даної ситуації полягає в тому, що 3D CAD модель часто використовується як засіб для створення саме 2D-інженерного креслення. Тобто двовимірне інженерне креслення, як і раніше, є основним засобом розкриття моделі виробу і специфікації виробу. Зазвичай креслення друкуються і поширюються в паперовому вигляді, але попит на цю інформацію настільки великий, що в деяких випадках саме креслення поширюється в цифровому вигляді у вигляді растрового зображення.

Однак растрове зображення для відтворення креслення не несе у собі ніякої комп'ютерно-інтерпретованої інформації. Слід зазначити, що 2D-інженерні креслення легко розуміються розробниками і є єдиним документом на даний момент, де зафіксована повна специфікація.

Інженерне креслення здатне передати інформацію про специфікацію виробу на складання і обладнання, яка відсутня в моделі виробу. У сучасних 3D системах для суднобудування CAD модель виробу, як правило, не містить всієї інформації, необхідної для реалізації виробу. Наприклад, існуючі 3D-моделі виробів не мають засобів для позначення критичних розмірів. Аналогічним чином допуски повинні бути пов'язані з критич-

ними розмірами, і сьогодні це робиться тільки на інженерному кресленні. Це може викликати проблеми, коли 3D-модель виробу використовується як засіб для створення 2D-креслення. По суті, модель виробу і креслення – це у даному випадку два різних види одного і того ж дизайну у двох різних форматах.

Хоча інженерне креслення – це повна специфікація виробу, але воно не піддається комп'ютерній інтерпретації. Незважаючи на те, що його інформація може бути легко зрозуміла людині, вона не може бути повторно використана наступними програмними додатками. Кожен вид проекту повинен підтримуватися окремо, і є небезпека, що вони можуть стати несинхронізованими. А суднобудівельним виробам, крім усього іншого, притаманна дуже велика кількість унікальних деталей, які істотно змінюються протягом тривалого періоду часу. Це, у свою чергу, визначає необхідність перевірки та проектування креслення на узгодженість і точність.

На теперішній час на верфях, де широко використовується тривимірна модель виробу, більшість перевірок все ж також проводиться за кресленням. Таким чином, без єдиного комп'ютерно-інтерпретованого представлення моделі виробу і специфікації продукції неможливо реалізувати ефективну автоматизацію відповідних виробничих процесів в суднобудуванні.

Однією з найважливіших можливостей вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і специфікації виробу в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі (можливо, модульної або розподіленої).

Існує кілька передумов для створення такої можливості, наприклад, з використанням стандартів у рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування (AP). STEP-NC – це мова управління, яка розширює стандарти ISO 10303 STEP за допомогою моделі обробки в ISO 14649, додаючи геометричні розміри та дані допуску

для перевірки, а також STEP PDM для інтеграції в більш широке підприємство. Загальний результат стандартизований як ISO 10303-238 (також відомий як AP238).

Висновки. На теперішній час більшість провідних світових суднобудівних компаній завершили міграцію можливостей моделювання відповідної продукції з систем, в яких основним робочим продуктом було інженерне креслення, до систем, в яких основним робочим продуктом є цифрова 3D-модель виробу. Однак на даний час практично всі верфі, як і раніше, випускають 2D-креслення як доповнення до CAD моделі виробу.

Доведено, що важливою перевагою моделювання на основі характеристик є використання конструкторської моделі виробу для підтримки саме виробничих процесів.

Визначено, що основою для стандартизації процесів взаємодії між САПР, системами автоматизованого виробництва і верстатами з числовим програмним управлінням є стандарт STEP-NC.

Найбільш актуальними напрямками для виробництва в суднобудівній промисловості на основі стандарту STEP-NC є спеціалізовані напрямки щодо споруд і трубопроводів суден. При цьому однією з найважливіших можливостей вдосконалення виробничих процесів є можливість створення повної моделі виробу і його специфікації в комп'ютерно-інтерпретованому вигляді в єдиній системі з використанням стандартів в рамках протоколів застосування STEP-NC для суднобудування.

На завершенні треба зазначити, щодо оскільки дані САПР є спеціалізованими для суднобудівної галузі, вони, як правило, не призначені для розробки виробів машинобудівної частини судна. Для розробки документації на основі тривимірного моделювання складних виробів машинобудівної частини використовуються традиційно машинобудівні САПР, які мають більш ефективні інструменти для вирішення цього вузькоспеціалізованого завдання при проектуванні судна.

Список літератури:

1. Гаврилов В. П. 3D-графіка : навчальний посібник . Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. 127 с. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/22146/1/2018-Гаврилов%20В%20П.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).
2. Заїка В. Ф., Твердохліб М. Г., Тарбаєв С. І., Чумак Н. С. Основи інженерної та комп'ютерної графіки. 2017. 76 с. URL: http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1622_31814633.pdf. (дата звернення: 28.01.2023).
3. Морозенко О.П., Вишневський І.В., Малишко Г.В. Основи твердотільного моделювання фізичних об'єктів. Частина 1: Навч. посібник. Дніпро: НМетАУ, 2020. 64 с. URL: http://212.3.124.102/file/osnovi_modelyuvannya_ch1.pdf (дата звернення: 28.01.2023).
4. Проців В.В., Зібров К.А., Бас К.М., Ванжа Г.К. Прикладна комп'ютерна графіка бнавч.посібник. Нац. гірн.ун-т. Д.: НГУ, 2016. 187 с. URL: <https://okmm.nmu.org.ua/ua/files/пкг2016.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).

5. Саєнко С. Ю. Основи САПР. Х. : ХДУХТ, 2017. 120 с. URL: <https://elib.hduht.edu.ua/bitstream/123456789/2819/1/Пособие%20САПР%20Саєнко%20Нечипоренко.pdf> (дата звернення: 28.01.2023).
6. Тотосько О.В., Микитишин А.Г., Стухляк А.Г. Комп'ютерна графіка: навчальний посібник: в 2-х кн. Кн. 1. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 304 с. URL: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/22337/1/Komp_graf_knyga_1.pdf. (дата звернення: 28.01.2023).
7. Aleksashin, D.; Boyko, M.; Kuteynikov, M.; Sotskov, S. IACS Common Structural Rules development, and RS design verification during ship plan approval. Trans. Krylov State Res. Cent. 2018, 2, 59–63. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Papanikolaou, A. A Holistic Approach to Ship Design. Volume 1: Optimisation of Ship Design and Operation for Life Cycle; Springer Nature Switzerland AG: Athens, Greece, 2019; pp. 24–26, 231–233. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Papanikolaou, A. A Holistic Approach to Ship Design. Volume 2: Application Case Studies; Springer Nature Switzerland AG: Athens, Greece, 2021; pp. 340–345. [Google Scholar] [CrossRef]
10. ДСТУ ISO 10303-108:2007 Системи промислової автоматизації та інтеграції. Представлення даних щодо виробів та обміну даних. Частина 1. Огляд та основні принципи (ISO 10303-1:1994, IDT).

Boiko S.O., Yakusevych Yu.H., Dorofieieva Z.Ia., Bazhak O.V. RESEARCHING WAYS TO EFFECTIVELY USE COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY

The purpose of the work is to study the ways to ensure the effective use of specialized computer-aided design (CAD) systems in the shipbuilding industry in the development of 2D and 3D CAD (computer-aided design) models of products to increase the level of automation of various stages of ship design, construction, and modernization. Currently, there is a significant number of specialized CAD systems that are actively used in shipbuilding, including FORAN, TRIBON, NUPAS-CADMATIC, CATIA, PLATER, DEF CAR, NAPA, and others. At the same time, most of the world's leading shipyards have now completed the migration of their respective product modelling capabilities from systems where the main working product was an engineering drawing to systems where the main working product is a digital 3D model of the product. However, virtually all shipyards today still produce 2D drawings as a supplement to the CAD model of the product. The article discusses the features of standards for the exchange of geometric characteristics of models when using CAD. It is determined that an important advantage of characteristic-based modelling is the use of a design model of a product to support production processes. It is determined that the STEP-NC standard is the basis for standardizing the processes of interaction between CAD, automated production systems, and computer numerical control machines. It has been determined that the most relevant areas for production in the shipbuilding industry based on the STEP-NC standard are specialized areas for ship structures and pipelines. At the same time, the direction of further improvement of production processes is the possibility of creating a complete product model and product specification in a computer-interpreted form in a single system using standards within the framework of STEP-NC application protocols for shipbuilding.

Key words: computer-aided design system, two-dimensional model, three-dimensional model, drawing, product, shipbuilding.

Ватуля Г.Л.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Герліці Ю.

Жилінський університет в Жиліні

Ловська А.О.

Жилінський університет в Жиліні

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОНТЕЙНЕРА З УРАХУВАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОЇ СХЕМИ ЗАКРІПЛЕННЯ В НАПІВВАГОНІ

У статті наведено результати визначення навантаженості контейнера при перевезенні його у напіввагоні. З метою зменшення повздовжніх навантажень, які діють на контейнер, розміщений у кузові напіввагона пропонується удосконалення схеми їх взаємодії. При цьому є можливим використання в'язкого зв'язку між ними. Даний зв'язок може бути реалізовано між торцевими стінами кузова напіввагона та контейнера або між фітингами та фітинговими упорами.

Для обґрунтування такої схеми закріплення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами. Враховано, що напіввагон завантажений двома контейнерами. Для розв'язку даної системи диференціальних рівнянь другого порядку використано програмний комплекс MathCad, який реалізує метод покрокової ітерації Рунге – Кутта. Встановлено, що прискорення, які діють на контейнер при повздовжній навантаженості його конструкції на 17% нижче за ті, що діють при типовій схемі взаємодії з вагоном. Отримані результати розрахунків враховано при визначенні міцності несучої конструкції контейнера. Для цього побудовано його просторову модель в програмному комплексі SolidWorks. Розрахунок на міцність здійснено за методом скінчених елементів. Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в нижньому торцевому поясі контейнера і перевищують допустимі. Тому закріплення контейнера за такою схемою не є допустимим. Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають близько 270 МПа. Отже міцність контейнера забезпечується.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень, а також експлуатації залізничного транспорту.

Ключові слова: транспортна механіка, динамічна навантаженість контейнера, міцність контейнера, закріплення контейнера, контейнерні перевезення.

Вступ. Вже на протязі тривалого часу транспортна галузь є провідним елементом розвитку державної економіки. При цьому однією із найбільш пріоритетних її складових є залізнична. Для підвищення ефективності роботи залізничної галузі в міжнародному сполученні дістали розвитку контейнерні перевезення. Це обумовлено інтегрованістю та мобільністю контейнерів, як транспортних засобів. Перевезення контейнерів залізницею здійснюється на вагонах-платформах.

У зв'язку з нестачею спеціалізованого рухомого складу для перевезень контейнерів виникає необхідність адаптації існуючого парку вагонів для цих цілей. Одними з таких вагонів є напівва-

гони. З метою можливості кріплення контейнерів на їх підлогу приварюються фітингові упори. Важливо сказати, що наявність технологічних зазорів між фітингами та фітинговими упорами в умовах експлуатаційних режимів викликає їх додаткову навантаженість. Це може призвести до пошкодження як контейнерів, так і складових кузова. У зв'язку з цим є доцільним впровадження рішень, спрямованих на зменшення динамічних навантажень, які діють на кузов напіввагона, а відповідно і на контейнер в експлуатації. Це сприятиме зменшенню витрат на утримання транспортних засобів та створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності його експлуатації. Тому дослі-

дження присвячені зменшенню навантаженості транспортних засобів комбінованого призначення є досить актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Для адаптації рухомого складу до перевезень контейнерів знайшли використання заходи щодо його удосконалень або впровадження спеціальних багатообертових пристроїв закріплення.

Так, наприклад, конструкцію пристрою для кріплення контейнерів при перевезенні залізницею запропоновано у патенті [1]. Особливістю цього пристрою є те, що до його складу входять елементи, які амортизують переміщення контейнера, а також наявність розділової перегородки. Разом з цим, дана конструкція пристрою не дозволяє адаптувати напіввагон до надійного перевезення контейнерів залізницею.

В роботі [2] запропоновано зйомний модуль відкритого типу для перевезень вантажів залізничним транспортом. Модуль виконано з труб прямокутного перерізу, а для зменшення навантаженості його конструкції при дії повздовжніх сил, фітинги містять пружно-в'язкі зв'язки. Даний модуль кріпиться до залізничних транспортних засобів через кутові фітинги. Подібний модуль також було запропоновано у роботі [3]. Однак він оснащений зйомними стінами. Ці модулі могли б застосовуватися і для кріплення контейнерів в напіввагонах. Однак для цього необхідним є оснащення їх фітинговими упорами, а також встановлення фітингових упорів на сам модуль. Однак авторами таких досліджень не проводилося.

Для кріплення контейнерів в кузові напіввагона в роботі [4] запропоновано впровадження спеціального пристрою. Даний пристрій включає плиту-основу, штиркову опору, ось, упорну плиту, вушка, трубку, нижню плиту та елементи фіксації. Пристрій є багатообертовим та при дотриманні відповідного технічного обслуговування і ремонту має достатню надійність. Разом з цим конструкція пристрою є досить складною, що викликатиме труднощі його обслуговування.

Особливості конструкції вагона для перевезень контейнерів висвітлено у публікації [5]. Даний вагон представляє собою класичну конструкцію напіввагона, який оснащений фітинговими упорами для кріплення контейнерів. Вони розміщуються по кутах кузова. При цьому автором зазначено, що вони можуть бути як фітингові, так і будь-які інші.

Аналогічну конструкцію вагона запропоновано у публікації [6]. Його особливість полягає у тому,

що на стінах кузова встановлені кутові напрямні. Вони призначені для спрямування контейнера при його завантаженні або вивантаженні. Дані напрямні розміщені під деяким кутом і виконані знімними. Важливо сказати, що запропоновані конструкційні удосконалення кузова напіввагона не сприяють зменшенню його навантаженості у випадку переміщень контейнера під час експлуатаційних режимів.

Заходи щодо удосконалення вагона з метою можливості перевезень контейнерів на ньому запропоновано в публікації [7]. При цьому для їх кріплення використовуються типові фітингові упори, які приварюються до рами. В роботі наведено результати експериментальних досліджень міцності несучої конструкції вагона. Доведено доцільність запропонованої модернізації. Разом з цим, вона реалізована на вагоні-платформі, як найбільш поширеному типі вагону для перевезень контейнерів. Доцільно було б також розглянути її впровадження на інших типах вагонів.

Проведений аналіз публікацій свідчить про те, що питання адаптації кузовів напіввагонів до перевезень контейнерів з метою забезпечення схоронності як кузовів, так і контейнерів, є актуальними та потребують подальшого дослідження.

Мета та основні завдання статті. Метою дослідження є аналіз напруженого стану контейнера з урахуванням удосконаленої схеми закріплення в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання:

- визначити динамічну навантаженість контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні;

- дослідити міцність контейнера.

Викладення основного матеріалу статті.

З метою зменшення повздовжніх навантажень, які діють на контейнер при перевезенні у напіввагоні пропонується удосконалення схеми їх взаємодії. При цьому є можливим використання в'язкого зв'язку між ними. Даний зв'язок може бути реалізовано між торцевими стінами кузова напіввагона та контейнера або між фітингами та фітинговими упорами.

Для обґрунтування такої схеми закріплення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості напіввагона, завантаженого контейнерами. До уваги прийнято випадок повздовжньої навантаженості кузова напіввагона, силою 3,5 МН (маневрове співударяння). Розрахункову схему напіввагона, завантаженого контейнерами, наведено на рис. 1.

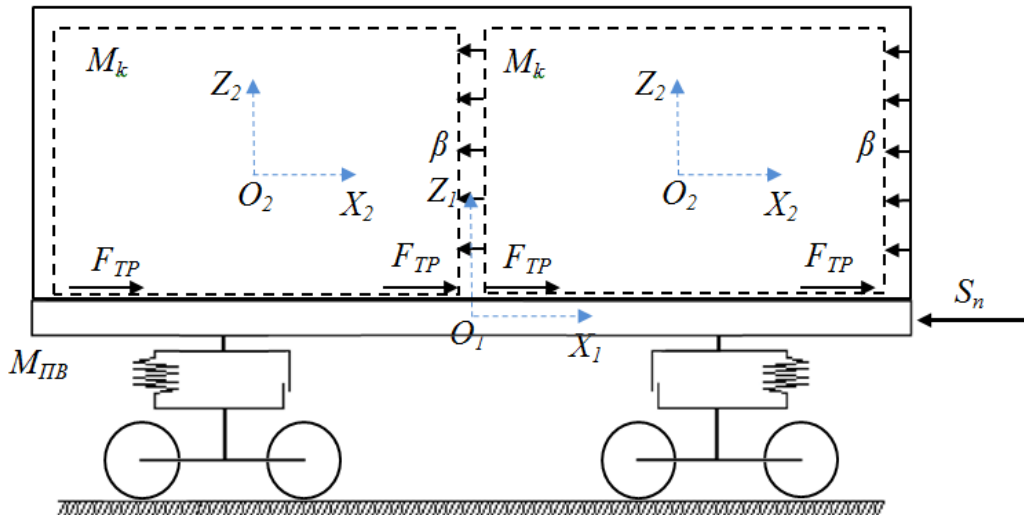


Рис. 1. Розрахункова схема напіввагона, завантаженого контейнерами

Враховано, що напіввагон завантажений двома контейнерами. Маса брутто кожного контейнера складає 24 т. При цьому контейнери завантажені умовним вантажем з використанням повної вантажопідйомності. Рух вантажу у контейнері до уваги не приймався. Удар напіввагона в автозчеп є абсолютно жорстким.

Тоді, з урахуванням зазначених припущень система диференціальних рівнянь руху кузова напіввагона, завантаженого контейнерами, має вигляд [8]:

$$\begin{cases} M_{ПВ}^{новн} \cdot \ddot{q}_1 = S_n - \sum_{i=1}^2 (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \\ M_k \cdot \ddot{q}_2 = (F_{TP} \cdot \text{sign}(\dot{q}_1 - \dot{q}_2) + \beta \cdot (\dot{q}_1 - \dot{q}_2)), \end{cases} \quad (1)$$

де $M_{ПВ}^{новн}$ – маса-брутто напіввагона; S_n – сила, що діє на автозчеп; F_{mp} – сила тертя між фітинговими упорами напіввагона та фітингами контейнерів; M_k – маса контейнера; β – коефіцієнт в'язкого зв'язку між кузовом та контейнером.

Для розв'язку даної системи диференціальних рівнянь другого порядку використано програмний комплекс MathCad, який реалізує метод покрокової ітерації Рунге – Кутта [9, 10]. При інтегруванні системи диференціальних рівнянь було завдано довільні початкові умови. У якості змінної інтегрування зазначено час. Крок інтегрування прийнято рівним 0,0001 с.

Коефіцієнт в'язкого зв'язку між кузовом та контейнером прийнято рівним 48 кН·с/м. Дана величина коефіцієнту в'язкого зв'язку визначена методом послідовного перебору.

Проведені розрахунки показали, що прискорення, які діють на контейнер при повздовжній навантаженості його конструкції складають

близько 30 м/с² (рис. 2) та є нижчими за ті, що діють при типовій схемі його взаємодії з вагоном на 17%.

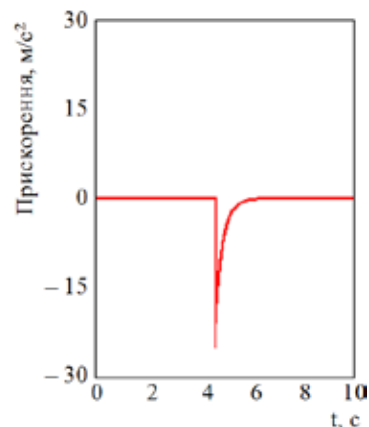


Рис. 2. Прискорення, які діють на контейнер

Отримані результати розрахунків враховано при визначенні міцності несучої конструкції контейнера. В якості прототипу обрано контейнер типорозміру 1СС. Створення просторової моделі здійснено в SolidWorks (рис. 3). Розрахунок на міцність проведено за методом скінчених елементів в SolidWorks Simulation [11, 12].

При складанні скінчено-елементної моделі застосовано ізопараметричні тетраедри. Їх чисельність визначено графоаналітичним розрахунком. Кількість вузлів сітки складала 41298, елементів – 127130. Максимальний розмір елементу моделі дорівнює 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів в колі складала 8, співвідношення збільшення розміру елементів у сітці – 1,6.

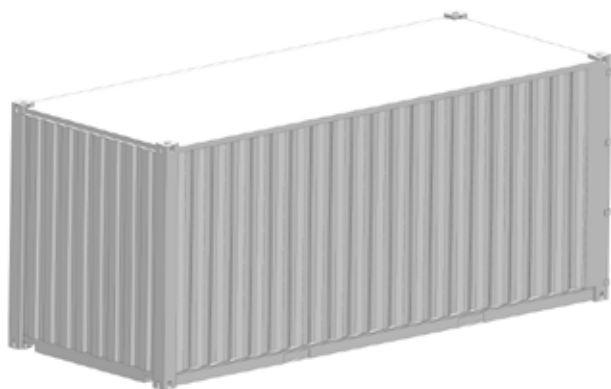


Рис. 3. Просторова модель контейнера

Матеріал конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С, яка має межу міцності 490 МПа та межу плинності – 345 МПа [13]. Закріплення контейнера здійснювалось в зонах його спирання на фітингові упори, приварені до підлоги напіввагона.

Розрахункова схема враховує, що на підлогу контейнера діє вертикальне навантаження P_v від ваги вантажу, розміщеному у контейнері, сили тертя P_{mp} – на фітинги при їх переміщенні відносно фітингових упорів, а також повздовжня сила P_n , яка діє на торцеву стіну (рис. 4).

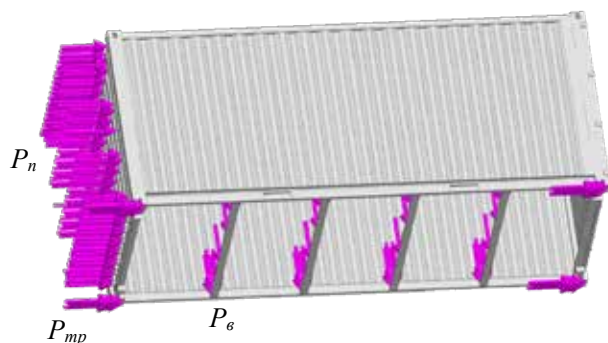


Рис. 4. Розрахункова схема контейнера

При складанні скінчено-елементної моделі застосовано ізопараметричні тетраедри. Їх чисельність визначено графоаналітичним розрахунком. Кількість вузлів сітки склала 41298, елементів – 127130. Максимальний розмір елементу моделі дорівнює 120 мм, а мінімальний – 24 мм. Мінімальна кількість елементів в колі склала 8, співвідношення збільшення розміру елементів у сітці – 1,6.

Матеріал конструкції контейнера – сталь марки 09Г2С, яка має межу міцності 490 МПа та межу плинності – 345 МПа [13]. Закріплення контейнера

здійснювалось в зонах його спирання на фітингові упори, приварені до підлоги напіввагона.

Розрахункова схема враховує, що на підлогу контейнера діє вертикальне навантаження P_v від ваги вантажу, розміщеному у контейнері, сили тертя P_{mp} – на фітинги при їх переміщенні відносно фітингових упорів, а також повздовжня сила P_n , яка діє на торцеву стіну (рис. 4).

Результати розрахунку показали, що максимальні напруження виникають в нижньому торцевому поясі контейнера і складають 653,1 МПа (рис. 5), що вище за допустимі [13–15].

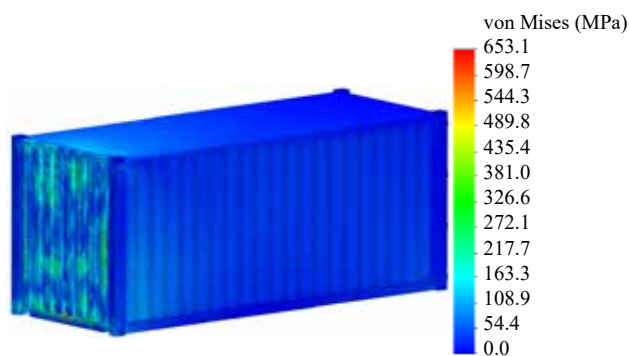


Рис. 5. Напружений стан контейнера

Тому закріплення контейнера за такою схемою не є допустимим.

Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. Для цього проведено розрахунок на міцність його конструкції. Розрахункову схему контейнера наведено на рис. 6.

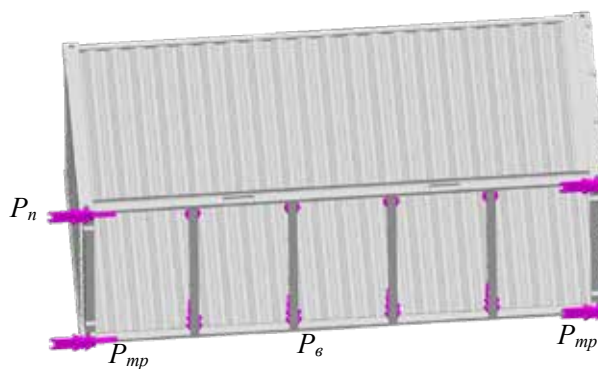


Рис. 6. Розрахункова схема контейнера

На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера (рис. 7) і складають близько 270 МПа. Отже міцність контейнера забезпечується [13–15].

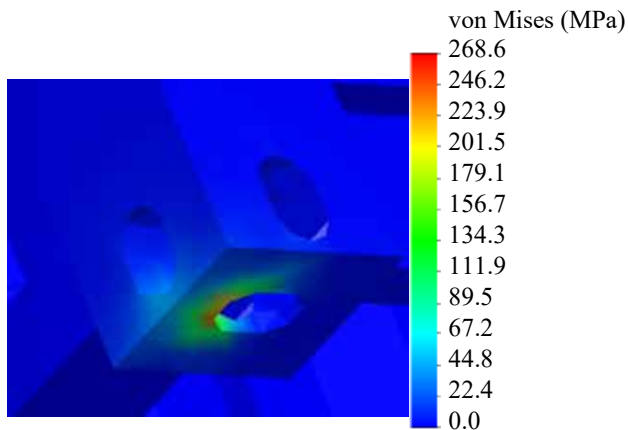


Рис. 7. Напружений стан фітинга контейнера

Подальшим напрямком даного дослідження є удосконалення конструкції фітинга контейнера з метою можливості використання в'язкого зв'язку у ньому.

Висновки.

1. Визначено динамічну навантаженість контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Встановлено, що прискорення, які діють на контейнер при повздов-

жній навантаженості його конструкції складають близько 30 м/с². Отримана величина прискорення на 17% нижча за ту, що діє на контейнер з урахуванням типової схеми взаємодії з кузовом напіввагона.

2. Досліджено міцність контейнера, розміщеного в кузові напіввагона при маневровому співударянні. Встановлено, що при використанні демпфера між торцевими стінами напіввагона та контейнерами, максимальні напруження виникають в його нижньому торцевому поясі і складають 653,1 МПа. Дані напруження вище за допустимі. Тому закріплення контейнера з використанням такої схеми не є допустимим.

Також в рамках дослідження розглянуто можливість впровадження в'язкого зв'язку у фітинги контейнера. Результати проведених розрахунків показали, що максимальні напруження виникають у фітингах контейнера і складають близько 270 МПа. Тобто міцність контейнера забезпечується.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності контейнерних перевезень, а також експлуатації залізничного транспорту.

Список літератури:

1. Погрузочное устройство: пат. 2756738 Россия: МПК В65D 88/12 (2006.01), В65D 88/12 (2021.05). №2020132697; заявл. 27.06.2019; опубл. 04.10.2021, Бюл. 28. 9 с.
2. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Kateryna Kravchenko. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings // Applied Sciences. 2023. Vol. 13(1), 79. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
3. Oleksij Fomin, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Kateryna Kravchenko. Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes // Applied Science. 2021. Vol. 11. 7623. <https://doi.org/10.3390/app11167623>
4. Устройство для крепления контейнеров: пат. 177439 Россия: В61D 3/00 (2006.01). № 2017121303; заявл. 19.06.2017; опубл. 21.02.2018, Бюл. 6. 8 с.
5. Вагон для комбинированных перевозок. пат. 180512 Россия: МПК В61D 3/00 (2006.01), В60P 7/13 (2006.01), В61D 7/00 (2006.01). №2017120749; заявл. 13.06.2017; опубл. 14.06.2018, Бюл. 17. 2 с.
6. Грузовой вагон. пат. 196252 Россия: МПК В61D 3/20 (2006.01). №2019131422; заявл. 04.10.2019; опубл. 21.02.20, Бюл. 6. 11 с.
7. А. Г. Рейдемейстер, В. А. Калашник, А. А. Шикун. Модернизация как способ улучшения использования универсальных вагонов // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2016. № 2 (62). <https://doi.org/10.15802/stp2016/67334>
8. Ловська А. О. Визначення навантаженості контейнера, розміщеного на вагоні-платформі при пружно-в'язкій взаємодії фітингів з фітинговими упорами. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2019. Вип. 184. С. 6–19.
9. Сяев А. В. Вступ до системи MathCad: навчальний посібник. Дніпропетровськ. 2004. 108 с.
10. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCad: Навчальний посібник. Вінниця. 2020. 106 с.
11. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон. 2018. 252 с.
12. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк. 2018. 172 с.
13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 250 с.
14. ДСТУ ISO 1496-1:2013. Вантажні контейнери серії 1. Технічні вимоги та методи випробовування. Частина 1. Контейнери загальної призначеності універсальні. Київ, 2014. 34 с.
15. ДСТУ ISO 8323:2015. Вантажні контейнери. Контейнери універсальні (інтермодальні) для повітряних і наземних перевезень. Технічні умови та методи випробувань. Київ, 2015.

Vatulia G.L., Gerlici Yu., Lovska A.O. RESEARCH OF THE STRESS STATE OF THE CONTAINER TAKING INTO ACCOUNT THE IMPROVED FASTENING SCHEME IN THE OPEN WAGON

The article presents the results of determining the container load when transporting it in an open wagon. In order to reduce the longitudinal loads acting on the container placed in the body of the open wagon, it is proposed to improve the scheme of their interaction. In this case, it is possible to use a viscous connection between them. This connection can be implemented between the end walls of the open wagon body and the container or between fittings and fitting stops.

To substantiate such a scheme of fastening, mathematical modeling of the dynamic loading of an open wagon loaded with containers was carried out. It is taken into account that the open wagon is loaded with two containers. To solve this system of second-order differential equations, the MathCad software package was used, which implements the Runge-Kutta stepwise iteration method. It has been established that the accelerations acting on the container under the longitudinal loading of its structure are 17% lower than those acting in the typical scheme of interaction with the wagon. The obtained results of the calculation are taken into account when determining the strength of the supporting structure of the container. For this, its spatial model was built in the SolidWorks software package. The strength calculation is made by the finite element method. The results of the calculation showed that the maximum stresses occur in the lower end zone of the container and exceed the allowable ones. Therefore, pinning the container according to this scheme is unacceptable. Also, within the framework of the study, the possibility of introducing a viscous bond into the container fitting was considered. Based on the calculations, it was found that the maximum stresses occur in the container fittings and amount to about 270 MPa. Therefore, the strength of the container is ensured.

The conducted studies will contribute to increasing the efficiency of container transportation, as well as the operation of railway transport.

Key words: *transport mechanics, container dynamic load, container strength, container fastening, container transportation.*

Вишневецький Д.О.

Одеський національний морський університет

Вишневецька О.Д.

Одеський національний морський університет

ФАКТОРИ УСПІШНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Досліджено специфіку функціонування світового фрахтового ринку. Відзначено його циклічний характер розвитку та слідує з цього наслідки для учасників морської транспортної галузі. Розглянуто різноманітні аспекти функціонування підприємств морського транспорту у сучасному середовищі, якому властива жорстка конкуренція. Доведено, що ефективність роботи подібного підприємства досягається виключно шляхом комплексного підходу, щодо дослідження стану справ на ринку транспортних послуг, своєчасного отримання актуальної інформації, формування належних висновків які стануть основою для створення нової або корегування діючої стратегії підприємства на ринку морських перевезень. Організація вантажних перевезень – складний процес, що складається з великої кількості операцій. До нього залучена значна кількість учасників, чії інтереси можуть не тільки не співпадати, а й прямо суперечити один одному. Таким чином, для організації процесу транспортування в умовах сучасного висококонкурентного середовища, перевізнику необхідно враховувати велику кількість факторів, склад яких і було досліджено у даній роботі. Більшість цих факторів випливає з вимог, що висуваються до перевізника. Важливе місце займають і відповідні форми судноплавства, в рамках яких і здійснюються перевезення. Певні аспекти цих форм судноплавства (на прикладі лінійної форми судноплавства) та їх вплив на процес організації перевезень також було досліджено у роботі. Дослідженню також підлягає вантажна база та її специфіка, флот та його придатність для роботи з тим чи іншим вантажем, що знаходиться відображення у його конструктивних особливостях та технічних характеристиках. Особливо відмічено роль вантажної марки, через те, що вона прямо впливає на кількість вантажу, що може завантажити судно в тому чи іншому сезонному та кліматичному районі світу. Також, акцентовано увагу на питаннях правильного завантаження судна (відповідно до вантажопідйомності та вантажомісткості), розташування вантажів на судні, вибору правильного швидкісного режиму (що відповідає поточним умовам судноплавства), належного диференціювання та постачання палива, оскільки ці фактори впливають не тільки на успішність перевезень, а й на безпеку судна та його екіпажу. Досліджено новітні підходи в управлінні роботою флоту, та їх роль у досягненні завдань, що постають перед морськими компаніями в сучасній транспортній галузі.

Ключові слова: лінійне судноплавство, організація вантажних перевезень бруто тоннаж, фрахтовий ринок, управління роботою флоту, вантажна марка, коефіцієнт використання вантажопідйомності, розклад роботи флоту, питомо-навантажувальний об'єм, судноплавна компанія.

Постановка проблеми. Міжнародний фрахтовий ринок – це місце де здійснюються угоди щодо фрахтування та відфрахтування тоннажу. Кон'юнктура фрахтового ринку являє собою співвідношення між попитом і пропозицією послуг на тоннаж. Рівень кон'юнктури фрахтового ринку визначається загальним станом міжнародного виробництва, та ряду специфічних особливостей.

Для фрахтового ринку характерний циклічний розвиток, що включає у тому числі і різке коливання кон'юнктури та ставок фрахту. Причина цього криється в специфіці товарного виробництва на транспорті. Неможливо завчасно виготовити транспортну продукцію в запас для збері-

гання на складі, задля подальшої її реалізації при більш сприятливих умовах. У разі кризової ситуації у судовласника нема іншого вибору окрім як продовжувати експлуатацію свого тоннажу, поки понесені збитки нижче, ніж витрати на утримання судна, що простоює без роботи.

Змінам у кон'юнктурі фрахтового ринку, властиве певне відставання від початку конкретного циклу промислового виробництва. У разі післякризового підвищення обсягу перевезень фрахтові ставки демонструють відносно повільне зростання до тих пір, поки не відбудеться введення в експлуатацію основної частини флоту, що протягом цього часу простоював. Справедлива

і зворотня ситуація – у разі скорочення промислового виробництва, тоннаж ще на протязі певного часу буде зайнятий виконанням раніше укладених контрактів, що і буде стримувати падіння ставок.

Таким чином, морській транспортній компанії для свого ефективного функціонування на ринку, необхідно мати дієвий інструмент, для того, аби належним чином реагувати на постійні виклики висококонкурентного середовища, що постійно змінюється. Тому, що через особливості фрахтового ринку у цілому та специфіку транспортної продукції зокрема, недостатньо просто скрупульозного планування, так як наслідків від настання певних подій просто неможливо уникнути, навіть якщо вони були завчасно спрогнозовані. Саме тому, в подібних ситуаціях, необхідно в найкоротші строки відкоррегувати діяльність компанії відповідно до нових факторів. І новітні підходи в управлінні роботою флоту є одним із таких інструментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день питанням організації та управління роботою флоту присвячено багато наукових досліджень, серед яких присутня велика кількість як іноземних так і вітчизняних публікацій. Цей факт водночас свідчить і про те, що ці питання були суттєво пропрацьовані по багатьом напрямкам, так і про те що сучасний ринок транспортних послуг генерує нові виклики, які потребують сучасних підходів щодо їх вирішення.

Так, питання організації перевезень з точки зору технології були розглянуті у роботах [1, 2]. Проблеми транспортних потоків досліджувались у роботі [3]. В роботах [4-8] основна увага була спрямована на дослідження транспортних систем.

В роботі [9] було розглянуто питання організації та роботи флоту послідовними рейсами. Комерційні аспекти судноплавства та суднобудування досліджувались у роботах [10-13]. В роботах [15, 16] здійснювались дослідження аспектів фрахтового ринку.

Тим не менш, положення справ на світовому і вітчизняному ринку морських перевезень постійно змінюється. Спостерігаються нові тенденції, з'являються нові гравці, впроваджуються нові технології, спрощуються одні процеси та ускладнюються інші. Тому нові дослідження, спрямовані на підвищення ефективності функціонування морських транспортних підприємств у сучасному конкурентному середовищі, що динамічно змінюється і в подальшому будуть актуальними.

Постановка задачі. Метою цієї статті є визначення спектру питань, вирішення яких має принципове значення задля успішного функціону-

вання морського транспортного підприємства, та які додаткові інструменти можуть бути залучені для більш ефективного досягнення даної мети.

Виклад основного матеріалу дослідження. Успішність функціонування морського транспортного підприємства визначається гнучкістю системи управління і здатністю постійно пристосовуватися до зовнішнього середовища, що динамічно змінюється. Для цього необхідно здійснювати постійну оцінку умов довкілля, в якому функціонує судноплавне підприємство. Крім цього, важливим є і своєчасне виявлення проблем, що виникають на ринку транспортних послуг, та вживання адекватних цим проблемам заходів [17].

Запит на морські перевезення для задоволення потреб промисловості, сільського господарства і торгівлі, має кількісний та об'ємний вираз по номенклатурі і напрямками. У такий спосіб створюються необхідні передумови для організації транспортного процесу та роботи флоту. Данна інформація у подальшому використовується для визначення маршрутів морських сполучень, розробки ряду питань організаційного характеру і реалізації функцій управління процесом перевезення та роботою флоту.

Важливе місце займають заходи на управлінському рівні, такі як організація та планування роботи флоту, питання постачання запасів та закупівлі комплектуючих, а також проблеми енергоефективності та енерговитратності.

Необхідне врахування різних способів організації роботи флоту, швидкісних режимів експлуатації суден і як це впливає на рівень споживання палива та виникнення відповідних проблем технічного характеру.

Важливу роль також займає і питання завантаження судна та ступеня використання вантажопідйомності з позиції енергоефективності.

При організації вантажних перевезень, як правило, на перевізника покладається чотири основні зобов'язання: доставити вантаж у такому стані, в якому він його прийняв із збереженням фізико-хімічних властивостей, тари, пакування, тощо; надати судно у належному морехідному стані, у відповідності до техніко-експлуатаційних характеристик та конструктивних особливостей; здійснити перевезення без невинуватених відхилень, бо він відповідатиме за будь-які втрати; завершити рейс у рамках так званої розумної доставки, тому, що він нестиме відповідальність за недоречні затримки.

Термін «розумна доставка» означає стандартні зобов'язання перевізника, щодо доставки вантажів.

Наглядне зображення переліку зобов'язань перевізника можна побачити на рисунку 1.

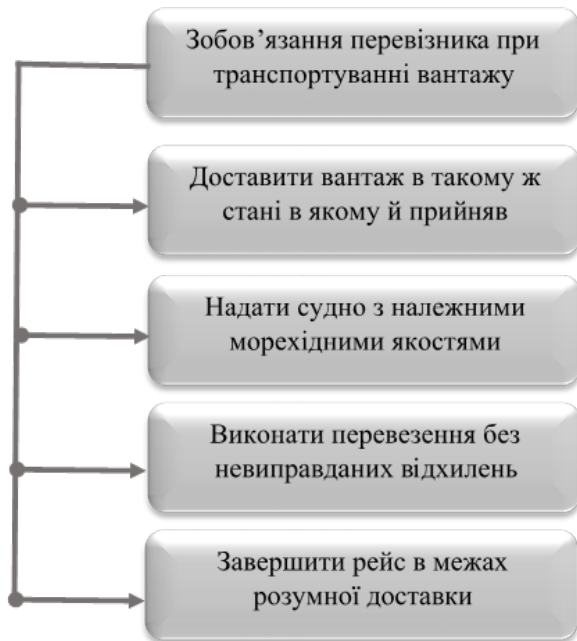


Рис. 1. Перелік зобов'язань перевізника при організації вантажних перевезень

Як відомо, фахівці виділяють три форми судноплавства – трампову, лінійну та послідовними рейсами. Остання є формою, якій притаманні риси як лінійного судноплавства, так і трампового [9].

Позначені вище зобов'язання актуальні для всіх форм судноплавства, Але саме для лінійної форми судноплавства, озвучені вимоги, щодо сумлінного дотримання часових рамок, є найважливішими, оскільки принциповою умовою роботи лінії є розклад, який складається судовласником і є сполучною ланкою комплексного процесу роботи всіх видів транспорту, що беруть участь у перевезеннях та задовольняють потреби вантажовідправників та вантажоодержувачів даної лінії.

Перед організацією роботи суден на лінії необхідно попередньо розглянути, вивчити вантажну базу та обґрунтувати порти, що стануть основою майбутньої лінії.

Наступний етап – процедура обґрунтування складу флоту з подальшим підбором суден, які здійснюватимуть свою діяльність на лінії, що проєктується.

При відборі суден до роботи на лініях особливу увагу звертають на ступінь відповідності кожного їх спеціальним вимогам, що відображає особливості лінійної форми судноплавства. Наприклад, для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного флоту, що виділяється для роботи на конференціальних лініях, необхідні підвищені

швидкості для задоволення різноманітних запитів клієнтури, наявність спеціального обладнання та пристроїв, що підвищує рівень пристосованості обраного судна для роботи на лінії.

Однією із важливих проблем лінійного судноплавства є дотримання розкладу. Зазначимо, що навіть вжиття додаткових заходів, які можуть сприяти збереженню цілісності розкладу, – нерідко не здатне повною мірою гарантувати точне дотримання розкладу на тривалий період.

У випадку, якщо на час закінчення обробки судна, передбаченого розкладом, завантаження або вивантаження вантажів повністю не закінчено, судно може затриматися для завершення вантажних операцій. Затримка судна допускається за обов'язкової умови, що це не призведе до порушення розкладу в наступному порту або затримки іншого судна, що працює за розкладом і не вийшло з розкладу.

Для забезпечення стійкості розкладу при нормуванні обігу суден елементи рейсу закладають деякі резерви.

Заходи, що застосовуються судовласниками, щодо дотримання цілісності розкладів надані на рисунку 2.



Рис. 2. Заходи, щодо збереження цілісності розкладу роботи флоту [18]

Якщо через велике запізнення неможливо ввести судно в розклад до початку наступного обігу, подається під завантаження судно-субститут у строк, передбачений розкладом, а судно, що вийшло з розкладу, використовують на інших перевезеннях.

Робота судна знаходиться під впливом великої кількості факторів, що включає:

1. Вимоги вантажовласника (в основному фрахтувальника) щодо того, коли і де вантаж має бути завантажений або вивантажений.

2. Проблеми з розміщенням у портах, щодо доступності причалу чи наявності місця для ван-

тажу. Завчасне прибуття та конкуренція за раннє завантаження/вивантаження є звичайною практикою в галузі.

3. Проблеми регуляторного характеру, що можуть стати на шляху заходу судна у певні порти або навіть призвести до його затримання у певні періоди року. Втрачений час надалі як правило буде відновлено за допомогою експлуатації судна на підвищених швидкостях.

4. Проблеми технічного характеру, які у подальшому здатні призвести до повної втрати судна.

5. Нестача комерційних вантажів, що надалі може призвести до простоїв.

Інформація щодо стану світової торгівлі за різними категоріями вантажів наглядно зображено на рисунку 3.

Окрему увагу необхідно приділити і швидкісним режимам, що застосовуються в судноплавній практиці.

Проектна швидкість: швидкість, під яку спочатку здійснювалося проектування судна.

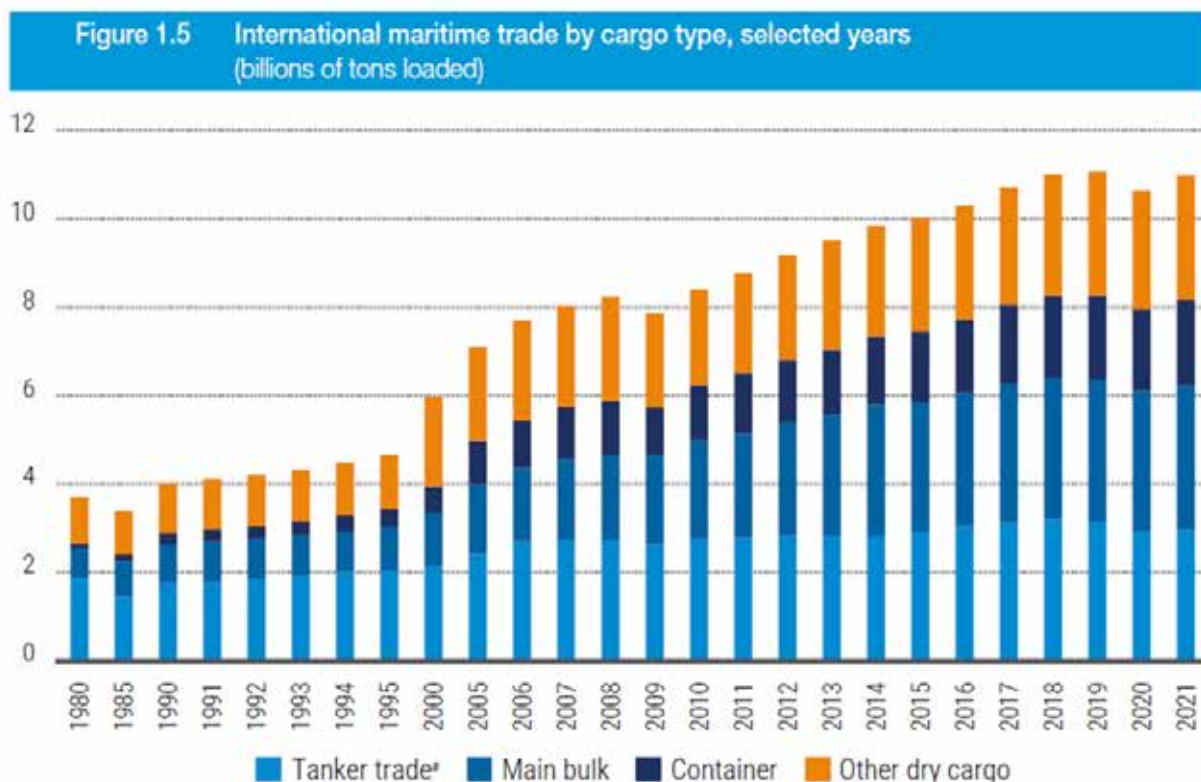
Помірна швидкість – подібним чином характеризується рух судна із значно меншою швидкістю, ніж було передбачено у проекті судна.

Економічна швидкість – як правило, являє собою швидкість, при якій судно в цілому демонструє найкращі фінансові результати при заданих обмеженнях потужності суднової енергетичної установки, умов проходження рейсу, акваторій портів та водних шляхів, а також інших комерційних вимог фрахтувальника.

Експлуатаційна швидкість – являє собою середню швидкість, що підтримується судном протягом рейсу при стандартному завантаженні та за нормальних погодних умов.

Максимальна швидкість: найбільша швидкість, яку, як запевняє судновласник, здатне розвинути судно на практиці.

Наступне питання, яке логічно впливає з вищезазначеного – питання постачання паливом. Рівень споживання палива для судна залежить не тільки від швидкісного режиму, а й від глибини



Source: UNCTAD *Review of Maritime Transport*, various issues. For 2006–2021, the breakdown by cargo type is based on Clarksons Research, *Shipping Review and Outlook*, Spring 2022 and Seaborne Trade Monitor, various issues.

Note: 1980–2005 figures for “Main bulk” include iron ore, grain, coal, bauxite/alumina, and phosphate. Starting in 2006, “Main bulk” includes iron ore, grain, and coal only. Data relating to bauxite/alumina and phosphate are included under “Other dry cargo”.

* Tanker trade includes crude oil, refined petroleum products, gas, and chemicals.

Рис. 3. Динаміка світових вантажопотоків по категоріям вантажів за період з 1990 по 2021 роки [19]

водних шляхів та погодних умов. За наявності надійного прогнозу погоди оптимальне розподілення швидкостей судна протягом усього рейсу може бути розраховане заздалегідь. Належне відстеження погодних умов дозволяє досягти оптимізації рейсів, що залежать від погоди, морських умов, а також специфічних особливостей судна на конкретному маршруті.

В рамках специфічних погодних та морських умов, мета належного відстеження стану погоди полягає в тому, аби максимізувати безпеку та комфорт екіпажу, мінімізувати час у дорозі та споживання палива. Для досягнення зазначених вище позицій звичайною практикою стало, коли прогнозування погодних умов є супутньою частиною суднових операцій.

Інформація щодо структури світового морського флоту наглядно відображено на рисунку 4.

Організація роботи флоту також потребує врахування різних сезонних районів, якщо перевезення будуть проводитись між різними кліматичними зонами, тому що це накладає додаткові обмеження, щодо чистої вантажпідйомності судна.

Тому, Конвенція про міжнародну вантажну марку вимагає, щоб кожне судно отримувало відповідне свідоцтво вантажної марки кожні 5 років. Свідоцтво підлягає щорічній та проміжній перевірці.

Вантажна марка наноситься між носовим та кормовим перпендикулярами судна. Вона вказує допустиму осадку, яка є законною межею, по яку можна здійснювати завантаження.

Судно має кілька вантажних марок. Це може спричинити перевезення меншої кількості вантажу при використанні нижчих значень вантажної марки. Залежно від використаної вантажної марки, величина вантажу, що перевозиться, і портових зборів може істотно змінюватись.

Міжнародна конвенція з обміру суден (International Tonnage Convention) – застосовується для вимірювання величини бруто та нетто тоннажу суден. Бруто тоннаж зазвичай використовується для розрахунку, крім іншого, величин портових зборів, які має сплатити судно. Величина портових зборів може суттєво змінюватись на протязі всього життєвого циклу судна.

Якщо експлуатація судна відбувається за наступних умов, воно може використовувати менше сертифіковане значення бруто тоннажу з метою зменшення величини портових зборів: захід у порти з обмеженою осадкою, низький попит на перевезення, перевезення переважно легких вантажів.

Окремо необхідно приділити увагу і питанням завантаження судна та правильного використання вантажопідйомності судна. При завантаженні судна, необхідно враховувати наступні аспекти:

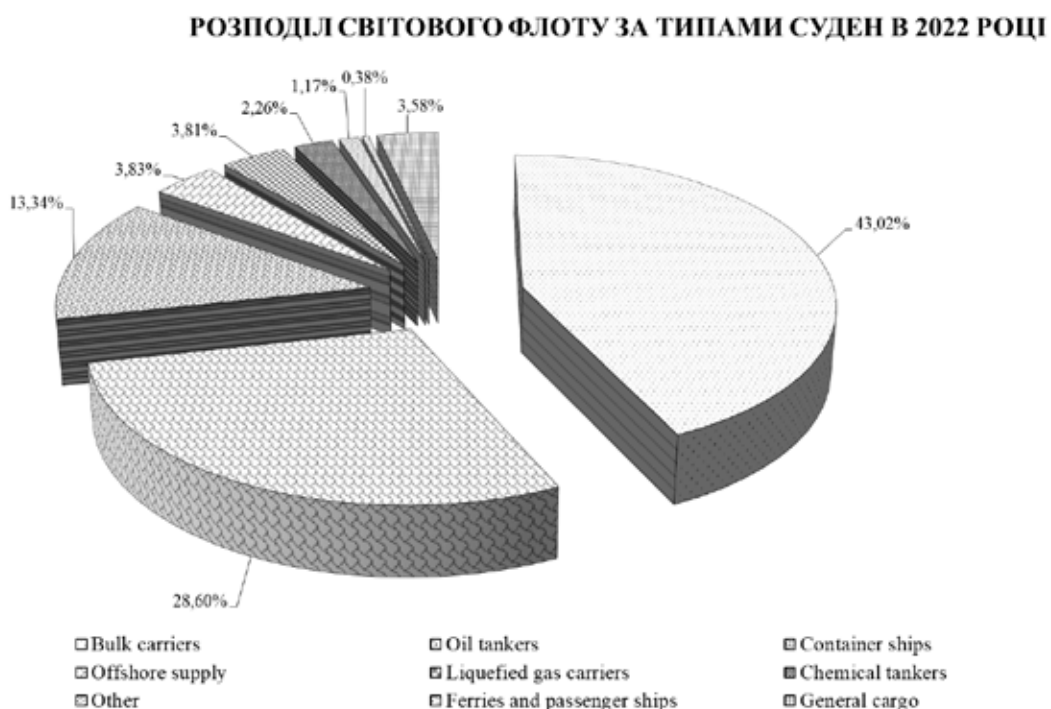


Рис. 4. Розподіл світового флоту за типами суден станом на 2022 рік [19]

важливість точної ваги вантажу та розподілу на борту, затарка контейнерів, точне зважування контейнерів, попередні розрахунки оптимального диференту та величини баластових вод, розміщення вантажу на судні.

Питання завантаження судна також потребує врахування таких аспектів, як: розміщення вантажу на борту судна, а також обсяг баластових вод для підтримки належної стійкості та морехідних якостей, зокрема щодо суден, що перевозять велику кількість вантажу на палубі.

Потрібні також дані про оптимальне удиферентування судна та величину баластових вод на борту, для потреб конкретного рейсу.

Диферент судна залежить від характеру розташування вантажу.

Необхідно враховувати специфіка баластових вод. Баласт необхідний для підтримки остійності судна, диферента чи знаходження гвинтів і керма у зануреному стані.

В цілому, правильне використання вантажопідйомності судна разом із належним його завантаженням створює належні умови для енергоефективної роботи судна.

Експлуатація суден при неповному використанні вантажопідйомності може відбуватися з низки причин: дефекти конструкції, недостатній попит на транспортні послуги, проблеми правильного завантаження та належної експлуатації флоту.

Коефіцієнти використання вантажопідйомності та вантажомісткості визначають можливість використання суден різних типів на відповідних напрямках. Експлуатація флоту повинна здійснюватись при найбільшому завантаженні для досягнення найкращої енергоефективності. Чим більше завантаження судна, тим менші витрати пального на одиницю вантажу.

Питомо-навантажувальний об'єм: при завантаженні легким вантажем, вантажні приміщення можуть бути заповнені за обсягом, але при цьому судно може не бути зануреним по вантажну марку. Питомо-навантажувальний об'єм відображає скільки кубометрів простору необхідно при розміщенні однієї тонни вантажу. Питомо-навантажувальний об'єм відображає співвідношення обсягу до маси вантажу. Цей показник є найважливішим при завантаженні навалювальних вантажів.

Таким чином, розрахунки капітана судна та старшого помічника вкрай важливі для повного використання місткості вантажного приміщення, особливо якщо вантаж легкий.

У разі ухвалення рішення про впровадження новітніх технологій на судні, необхідно прояснити низку таких питань:

1. Чи вплине встановлення додаткового обладнання на величину бруто тоннажу (GT)?

2. Як позначиться встановлення даного обладнання на величині ваги судна порожньому?

Якщо нове обладнання збільшує величину бруто тоннажу, це в свою чергу спричинить збільшення витрат на портові збори протягом усього робочого циклу судна. У тому випадку, коли збільшується вага судна порожньому, це тягне за собою зменшення на еквівалентну величину значення дедвейту. Це в подальшому негативно позначиться на енергоефективності судна. Загалом, нове обладнання не повинно призвести до суттєвого збільшення бруто-тоннажу та ваги порожнього судна.

В практиці експлуатації флоту домінували різні підходи, щодо того які мають бути пріоритети при виконанні рейсу. Практикувались і такі підходи, коли суднові оператори спонукали судна постійно поспішати, аби прийти до порту призначення гарантовано вчасно. Зрозуміло, що подібна концепція мала і свої недоліки, тому, що судна часто мали досить тривалий час перебувати в порту на якорі, в очікування звільнення причалу. У подальшому, відповіддю на подібні проблеми стала поява концепції «точно в строк».

«Точно в строк»: концепція, що зародилася в обробній промисловості і являє собою основний спосіб скорочення кількості запасів та супутніх витрат. У судноплаванні, концепція «точно в строк» зазвичай відноситься до процесу скорочення простоя в очікуванні судових операцій [21].

Концепція «точно в строк» застосовується як під час руху судна так і під час проведення вантажних операцій. З метою оптимізації часу рейсу, всі необхідні аспекти планування, виконання, моніторингу та оцінки рейсу включені до цієї концепції.

Віртуальне прибуття являє собою новий підхід, метою якого є усунення перешкод, що існують у концепції «точно в строк» та скорочення затримок на рівні порту.

У цілому, концепція «точно в строк» та «віртуальне прибуття» ставить перед собою наступні завдання:

- мінімізувати, а то й повністю уникати періодів очікування у будь-яких фазах рейсу та/або етапах проведення операцій;

- налагоджувати попередню комунікацію з майбутніми портами завантаження/виванта-

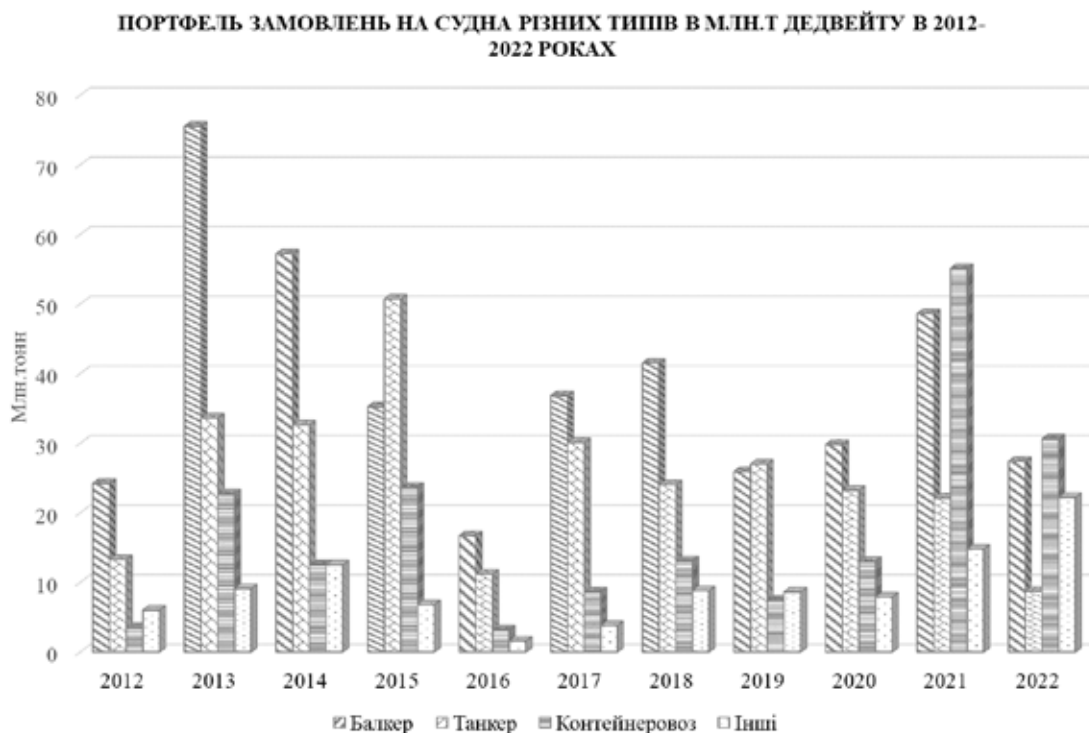


Рис. 5. Динаміка портфелю замовлень за типами суден за період 2012–2022 [20]

ження, з метою отримання найточнішої інформації про вільні причали та для більш ефективного використання оптимального швидкісного режиму;

- мотивувати поглиблену комунікацію між підрозділами судноплавної компанії, капітаном та фрахтувальником;

- удосконалення технології вантажних перевезень та уникнення затримок у роботі на причалах у будь-якій можливій ситуації;

- працювати за постійного швидкісного режиму під час рейсу;

- під час виходу з порту або проходження вузькостей йти на нижчих швидкостях, у відповідності до вимог;

- уникати високих швидкостей на міліні і знижувати швидкість якщо це є можливим.

Таким чином, перед судовласником постає завдання виявити таку комбінацію наявного флоту та вантажної бази, яка дозволила б отримати найкращий фінансовий результат у заданому експлуатаційному періоді [22, 23].

Висновки. Сьогодні транспортне обслуговування передбачає в більшості випадків комплексний підхід до доставки вантажів, згідно з яким

організатор доставки (експедитор, логіст) перебирає функції з проектування, організації та координації доставки як єдиної системи. Вантажовласника, як правило, не хвилюють всі аспекти транспортного процесу – він зацікавлений тільки в кінцевому результаті самого перевезення, що включає питання часу доставки, вартості і т.д., тому в якості альтернативи до того чи іншого варіанту транспортування постають не окремі етапи перевезень, а цілі системи доставки.

Процес організації вантажних перевезень включає в себе вирішення широкого спектру різних питань. Тому, що здатність своєчасно отримати актуальну інформацію, належним чином її обробити, зробити вірні та своєчасні висновки, правильно розташувати пріоритети та скорегувати стратегію морського транспортного підприємства – це ті критерії, які й визначають наскільки успішна діяльність підприємства морського транспорту.

Оскільки питання управління задіяні на всіх етапах вирішення зазначених проблем, можна стверджувати, що управління саме по собі, являється невід’ємною частиною будь-якого підприємства. А новітні підходи в управлінні дозволяють досягти поставленої мети з більшою ефективністю.

Список літератури:

1. Бутько Т.В., Шендер О.Е. Наукові підходи щодо удосконалення технології вантажних перевезень з урахуванням конкурентного середовища. *Зб. наук. праць ДонІЗТ*, 2013. № 33. С. 57-60.
2. Світлична С.О. Аналіз сучасного стану технології переробки міжнародних контейнерних вантажопотоків українських портах. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 131. С. 67-73.
3. Мироненко В.К., Висоцька Г.С., Родкевич О.Г., Щербина Р. С. Базова математична модель транзитних вантажопотоків. *Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Сер.: Транспортні системи і технології*. 2012. Вип. 21. С. 177-182.
4. Бутько Т.В., Ломотько Д. В., Головка Т. В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів на основі логістичних методів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2007. № 3/6 (27). С. 10-16.
5. Шутенко Т.М. Методичні основи проектування логістичної системи доставки вантажів (на прикладі нафти та нафтопродуктів): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01; Одеський національний морський ун-т. О., 2005. 20 с.
6. Лаврухін О.В., Распутін М.М. Технологія роботи припортового вузла на основі логістичних принципів. *Зб. наук. праць. Х.: УкрДПЗТ*, 2008. Вип. 92. С. 54-57.
7. Постан М.Я. Динамическая модель оптимального управления запасами товаров и их доставкой в деятельности логистической фирмы. *Логистика: проблемы и решения*. 2009. № 2. С. 54-58.
8. Лапкина И.А., Поддубная Н. Н. Ресурсы логистической системы. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2015. № 2. С. 69-72.
9. Лапкин А.И. Организация и управление работой флота в форме последовательных рейсов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01; Одесский национальный морской ун-т. Одесса, 2003. 307 с.
10. Karanassos Harry Alexander. Commercial Ship Surveying. The Shipping Industry. Chapter 1. 2016. pp. 1-19. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081003039000018>. DOI: 10.1016/C2014-0-03649-0. (дата звернення 01.03.2023).
11. Nigel Gardiner. Drewry Maritime Research. Ship Operating Costs Annual Review and Forecast. Annual Report, 2016/17. P.20. URL: <http://www.drewry.co.uk/AcuCustom/Sitename/DAM/006/Table%20of%20Contents%20Ship%20Operating%20Costs%202016-17.pdf>. (дата звернення 23.03.2023)
12. Stott, P. Competition and subsidy in commercial shipbuilding: PhD Thesis. Newcastle University School of Marine Science and Technology. May 2017. P. 294.
13. Кириллова Е.В. Методика обоснования показателей коммерчески целесообразной, оптимальной, допустимо убыточной и кризисной работы судна (флота). Одесса: КУПРИЄНКО, 2016. 87 с. ISBN 978-966-2769-86-9.
14. Проблеми розвитку морського транспорту і туризму. Обґрунтування вибору варіанту доставки зовнішньоторговельних вантажів: монографія Ч.1/ авт. кол.: Шибяєв О.Г., Онищенко С.П., Коскіна Ю.О., та ін.: Одеса: КУПРИЄНКО СВ, 2019. С. 84-94.
15. Лапкін О.І., Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. Теорія і практика фрахтових операцій. Одеса: КУПРИЄНКО СВ, 2017. 151 с.
16. Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. Дослідження впливу умов оферти на успішність укладання фрахтової угоди. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 6/3 (78). С. 25-32.
17. Вишневський Д. О., Вишневська О. Д. Нагальні проблеми і перспективи розвитку судноплавної галузі. *The XXVI International Science Conference «Topical issues of practice and science»*. May 18 – 21, 2021. London. Great Britain. p.718-722.
18. Вишневський Д.О. Методичні основи організації роботи універсальних суден на міжнародних лініях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01, Одес. нац. мор. ун-т. Одеса, 2016. 21 с.
19. *Review of maritime transport 2022*. URL: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2022>. (дата звернення 20.03.2023).
20. *BRS Group. Shipping and shipbuilding markets. Annual Review 2023*. URL: <https://www.brsbrokers.com/annualreview2023.html>. (дата звернення 18.03.2023).
21. Hum, S. Industrial Progress and the Strategic Significance of JIT and TQC for Developing Countries. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 11 No. 5, 1991. pp. 39-46. URL: <https://doi.org/10.1108/01443579110145320>. (дата звернення 07.03.2023).
22. Вишневський Д.О. Формування структури флоту та визначення перспективних напрямків його роботи. International scientific and practical conference. *Modern Directions Of Theoretical And Applied Researches*. Issue №1(38). March 17-29. 2015. Одеса: КУПРИЄНКО, 2015. С. 24-27. URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer38/496.pdf>. (дата звернення 12.03.2023).
23. Вишневський Д. О., Вишневська О. Д. Критерії відбору альтернативних варіантів доставки зовнішньоторговельних вантажів. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 4. С. 262-264. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSunu_2017_4_52. (дата звернення 15.03.2023).

Vyshnevskiy D.O., Vyshnevskaya O.D. FACTORS OF SUCCESSFUL FUNCTIONING OF MARITIME TRANSPORT

The specifics of the world freight market functioning was studied. Its cyclic nature of development and the consequences for the participants in the maritime transport industry were noted. Various aspects of the functioning of maritime transport enterprises in the modern environment, which is characterized by fierce competition, were considered. It has been proven that the efficiency of such an enterprise is achieved solely through an integrated approach, studying the state of affairs in the transport market, obtaining up-to-date information in time, and forming appropriate conclusions that will become the basis for creation of new or adjusting of existing strategy for maritime transportation enterprise market. The organization of cargo transportation is a complex process consisting of large number of operations. A significant number of participants are involved, whose interests may not only not coincide, but directly contradict each other. Thus, in order to organize the transportation process in a modern highly competitive environment, the carrier needs to take into account a large number of factors, the composition of which was studied in this work. Most of these factors stem from the requirements placed on the carrier. An important place is also occupied by the corresponding forms of shipping, within which transportation is carried out. Some aspects of these forms of shipping (on the example of a linear form of shipping) and their influence on the process of transportation were also studied in the work. The cargo base and its specifics, the fleet and its suitability for working with a particular cargo, which is reflected in its design features and technical characteristics, were also researched. The role of the load line was especially noted, since it directly affects the amount of cargo that a ship can load in a particular seasonal and climatic region of the world. Also, attention was focused on the issues of the correct loading of the vessel (in accordance with the carrying capacity), the distribution of cargo on the vessel, the choice of the correct speed mode (within current conditions shipping), optimum trim and bunkering, since these factors affect not only the success of transportation, but safety of vessel and its crew as well. The latest approaches in ship management and how they affect the effectiveness of shipping companies in the modern transport industry have been studied.

Key words: *liner shipping, organization of cargo carriages, gross tonnage, freight market, ship management, load line mark, ship load factor, schedule of fleet work, shipping stowage factor, shipping company.*

УДК 656.61.052

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/20>**Волянська Я.Б.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Волянський С.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Баланський В.П.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Ковальчук М.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Волянський Ю.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ОЦІНКА РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ

У статті здійснено аналіз основних факторів, за якими відбувається забруднення навколишнього середовища судами. Серед них забруднення стічними водами, сміттям, нафтопродуктами при аварійних розливах, зачистці танків, скидання баластних вод, шумове забруднення, а також зіткнення ссаців з судами. Зазначено, що збільшення активної експлуатації морського та річкового транспорту і одночасне зменшення його негативного впливу на навколишнє середовище здійснюється за рахунок проведення технічних та операційних заходів з підвищення його енергоефективності. Оцінку ефективності технічних заходів проведено за допомогою індексу енергоефективності конструкції, який розраховується один раз у період будівництва судна, і залишається фіксованим протягом всього його життєвого циклу. Підвищення енергоефективності також досягається через «операційні зусилля» за допомогою індексу оцінки ефективності операційних заходів, який погіршується в процесі експлуатації судна при частковому навантаженні і / або сильному хвилюванні та, навпаки, поліпшується при повному навантаженні і / або спокійній водній поверхні. Доведено, що проблеми забезпечення енергоефективності (дослідження засобів та методів управління суднами, впровадження інноваційних методик для розрахунків показників енергоефективності суден) поряд з підвищенням вимог до забезпечення екологічної безпеки транспорту (використання альтернативних видів палива) та посилення відповідальності судновласників є центральними об'єктами досліджень сучасної теорії і практики експлуатації засобів морського транспорту. У статті наведено розподіл суднових систем за ступенем впливу на показники енергетичної ефективності судна при різних режимах експлуатації судна. Визначено напрями підвищення енергоефективності суднових систем вентиляції та резерви підвищення індексу енергоефективності конструкції судна за рахунок застосування відомих на даний час способів скорочення споживання енергії.

Ключові слова: енергоефективність, забруднення навколишнього середовища, резерв, рекуператор, суднові системи.

Постановка проблеми. Морський та річковий транспорт, безумовно, є найбільш рентабельним способом переміщення товарів по всьому світу, він є основою міжнародної торгівлі: більше чотирьох п'ятих обсягу світової торгівлі здійснюється водними шляхами [1].

Але незважаючи на кращі екологічні характеристики в порівнянні з автомобільним та повітряним транспортом, судноплавство характери-

зується і негативними впливами на навколишнє середовище, а саме викидами різних забруднюючих речовин, що викликає ряд проблем. Це особливо чутливо в сучасних умовах, коли постійно зростає обізнаність про зміну клімату та екологічні проблеми. Отже, актуальним трендом сьогодення у секторі судноплавства є збільшення активної експлуатації морського та річкового транспорту і одночасного зменшення його нега-

тивного впливу на навколишнє середовище за рахунок здійснення технічних та операційних заходів з підвищення його енергоефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В сучасних умовах зростаючий інтерес до впливу судноплавства на навколишнє середовище обумовлює значний ступінь актуальності цього питання і характеризується збільшенням наукових публікацій, присвячених дослідженням, заходам, ініціативам, політиці, спрямованим на зменшення його негативних наслідків [2, 3]. Проблеми забезпечення енергоефективності (дослідження засобів та методів управління суднами, впровадження інноваційних методик для розрахунків показників енергоефективності суден [4–6]) поряд з підвищенням вимог до забезпечення екологічної безпеки транспорту (використання альтернативних видів палива [7, 8, 10]) та посилення відповідальності судовласників [9, 10] стають центральними об'єктами досліджень сучасної теорії і практики експлуатації засобів морського транспорту [2].

Отже, питання пошуку шляхів контролю зниження шкідливих викидів в атмосферу з суден та резервів підвищення енергетичної ефективності судна, у тому числі за рахунок оптимізації судових систем, є сучасними і своєчасними.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Негативний вплив суден на навколишнє середовище відбувається відразу по декількох каналах:

- морські та річкові судна забруднюють біосферу відходами, одержуваними в результаті експлуатаційної діяльності;
- забруднення здійснюється в результаті аварійних подій, під час яких відбувається викид токсичних речовин (в більшій частині, нафти і нафтопродуктів);
- викид парникових газів;
- шумове (акустичне) забруднення;
- вихід зі строю і затоплення суден.

Вуглекислий газ (CO_2) є найбільш значимим парниковим газом (ПГ), що викидається суднами. Викиди парникових газів є основною причиною глобального потепління. Оксиди сірки (SO_x) і азоту (NO_x) сприяють утворенню кислотних дощів і вкрай небажані через їх вплив на здоров'я людини. Чадний газ (CO), леткі органічні сполуки (ЛОС) і тверді частинки (ТЧ) також впливають на здоров'я людини. До ТЧ відноситься чорний вуглець (ЧВ), який не тільки особливо шкідливий для людини, але є другим за значимістю фактором впливу на клімат після CO_2 .

ІМО (*International Maritime Organization*) як орган, відповідальний за регулювання морських

викидів, розробила складну дорожню карту для декарбонізації сектору. Так, у 2018 р. було прийнято оригінальну стратегію ІМО щодо зменшення викидів парникових газів від судноплавства. Беручи за базовий рік 2008 р., Стратегія спрямована на те, щоб до 2050 р. скоротити як мінімум удвічі загальні викиди ПГ від судноплавства і знизити середню вуглеродємність (CO_2 на тонно-милю) як мінімум на 40 % до 2030 р. і на 70 % до середини століття [6].

Діяльність ІМО щодо вирішення проблеми викидів парникових газів судами можна описати виразом

Викиди $\text{CO}_2 = (\text{діяльність}) \times (\text{енергоефективність})$, де діяльність – обсяг транспорту помножений на відстань (тонно-милі); енергоефективність – викиди CO_2 за видами.

Виходячи з цієї формули маємо наступне, скоротити викиди CO_2 при міжнародному судноплавстві можливо за рахунок зниження активності судноплавства. Але це, в свою чергу, призведе до стагнації мирової економіки. Для того, щоб цього уникнути треба проводити заходи щодо підвищення енергоефективності судноплавства.

Основною метою вимог Додатку VI до Міжнародної Конвенції (МК) MARPOL є скорочення викидів парникових газів із суден за рахунок підвищення їх енергетичної ефективності. Отже, енергоефективність є інструментом, що сприяє зменшенню шкідливих викидів з суден в атмосферу [1].

Заходами з підвищення енергоефективності є технічні та операційні заходи, які характеризуються відповідними індексами.

Технічні заходи дозволяють підвищити енергетичну ефективність судна за рахунок використання удосконаленого, модернізованого обладнання. Такими заходами є

- покращення форми корпусу (зниження опору при русі);
- удосконалення гвинта (підвищення ефективності тягової сили);
- удосконалення фіюзеляжу виступаючих частин судна для енергозбереження відпрацьованого тепла;
- використання поновлюваних джерел енергії тощо.

Оцінка ефективності технічних заходів проводиться за допомогою індексу енергоефективності конструкції (EEDI), який є однією з специфікацій суден, вимірює кількість грамів викидів CO_2 на тонну на морської милі і розраховується виходячи з конструкції суден і показників експлуатації двигунів за формулою

$$EEDI = \frac{\text{Фактор CO}_2 \times \text{Питома витрата палива} [\text{FOC}] (\text{г/кВтг}) \times \text{Потужність двигуна} (\text{кВт})}{\text{Кубатура} (\text{т}) \times \text{Швидкість судна} (\text{миль/год})}$$

Показник EEDI розраховується один раз у період будівництва судна, фіксована вартість протягом всього життєвого циклу судна.

Операційні заходи. Підвищення енергоефективності досягається через «операційні зусилля» (оптимізацію операційного плану для кожного судна, зниження швидкості провідки з урахуванням погодних умов, прибуття в порт вчасно, обслуговування корпусу, двигуна тощо) без модифікації обладнання.

Індекс оцінки ефективності операційних заходів (EEOI)

$$EEOI = \frac{\text{Фактор CO}_2 \times \text{Питома витрата палива} [\text{FOC}] (\text{г/кВтг}) \times \text{Операційна здатність} (\text{г})}{\text{Маса вантажу} (\text{т}) \times \text{Пройдена відстань} (\text{миль})}$$

В процесі експлуатації судна показник EEOI погіршується при частковому навантаженні і / або сильному хвилюванні та, навпаки, поліпшується при повному навантаженні і / або спокійній водній поверхні.

Індекси EEDI та EEOI мають дещо різний фізичний зміст. Якщо EEDI – це відношення до величини транспортної роботи судна, яка виробляється судном, що йде з максимальним завантаженням, з потужністю на валу, яка дорівнює 75 % максимальної потужності головного двигуна, то EEOI – це кількість виробленого CO₂ за певний період часу (рейс, рік тощо), віднесене до величини транспортної роботи судна за той самий період.

Резолюцією ІМО МЕРС.282(70) передбачена розробка заходів щодо підвищення енергоефективності експлуатації конкретного судна (план SEEMP) [4]. В якості таких заходів зазначеною резолюцією пропонується використання більш якісного палива, обмеження часу простою в портах за рахунок чіткішого планування рейсів, правильне баластування судна, своєчасне обслуговування корпусу та двигуна тощо [5, 6]. Щодо головного двигуна (ГД), то в керівництві ІМО справедливо говориться, що коефіцієнт корисної дії сучасних судових дизелів вкрай високий (~ 50 %) і можливість подальшого його підвищення без залучення нових технологій (наприклад, паливних елементів) викликає сумніви. Але у допоміжних системах та механізмах резерви оптимізації енергоспоживання наявні. Тому питання виявлення та використання резервів підвищення енергоефективності судів за рахунок оптимізації

суднових систем, а саме систем, що задіяні на ходу судна; що забезпечують вантажні операції та систем, що не споживають енергію, є безумовно актуальними.

В системах, які задіяні на ходу судна, енергія, що споживається враховується при розрахунку індексу енергоефективності конструкції, тобто системи беруть участь у виробництві транспортної роботи, і споживана ними енергія враховується при розрахунку EEDI. До таких систем відносяться:

– системи, що обслуговують головний двигун (охолодження палива, олії, вентиляції машинного відділення (МВ), систему підігріву палива);

– системи, що обслуговують вантаж у процесі перевезення (вентиляції вантажних трюмів, холодильна установка, що обслуговує рефртрюми, системи охолодження вантажу);

– системи, що забезпечують загальносудові потреби (побутові, холодильна установка провізійної комори, вентиляції та кондиціонування житлових та службових приміщень, баластова та осушувальна системи при їх використанні на ходу судна).

До систем, які забезпечують вантажні операції відносять системи розвантаження (вантажну, баластну, інертних газів, вентиляції трюмів суден РО-РО, заморожування вантажу в рефртрюмах, систему підігріву вантажу на танкерах). Група систем, що не споживають енергію, включає газовідвідну систему шпігатів з відкритих палуб, а також рідко задіяні системи – пожежні, обігрів баластових танків тощо.

Основними способами економії за рахунок оптимізації роботи судових систем є застосування забортних охолоджувачів і частотного регулювання насосів охолодження забортною водою; оснащення приводів вентиляторів машинних приміщень та вантажних трюмів частотними регуляторами; будову рекуператорів з утилізацією теплоти витяжного повітря для нагрівання припливного в системах вентиляції та кондиціонування житлових та службових приміщень; використання утилізаційних котлів для підігріву важкого палива та побутових потреб [9].

Розглянемо специфіку енергоспоживання судової системи вентиляції з метою визначення додаткових факторів та особливостей, які слід врахувати для більш повного та адекватного визначення енергетичної ефективності судна, а також виявлення потенційних можливостей енергозбереження.

Система вентиляції служить для підтримки нормальної повітряної атмосфери в судових

приміщеннях шляхом заміни забрудненого повітря свіжим. Машинна вентиляція повинна забезпечувати температуру в машинному відділенні в межах, зазначених Правилами Регістру судноплавства України (45°C) та комфортне перебування людей.

Сумарна номінальна потужність електроприводів (ЕП) вентиляторів відповідно [10, 11] визначається в залежності від сумарної максимальної тривалої потужності ГД за формулою

$$P_{\text{вМВ}} = 0,025N^{0,6}, \quad (1)$$

де N – потужність головного двигуна, МВт.

Потужність, що споживається електроприводом вентиляторів машинних відділень, визначається за формулами в режимі стоянки в помірній та арктичній зонах і становить чверть від зазначеної потужності, а в режимі стоянки в тропічній зоні – половину цієї величини. У ходовому режимі судна вентиляція МВ зазвичай постійно працює з повним завантаженням і входить в інтегральну потужність. Аналіз формули (1) показує, що частка електроенергії, що витрачається на вентиляцію машинного приміщення, становить 20–30 % від усієї електроенергії, що споживається на ходу судна, що дуже суттєво. Це, наприклад, збільшує витрати на привід насосів охолодження головного двигуна.

Для перевірки адекватності застосування формули (1) проведено тепловий розрахунок вентиляції МВ з вихідними даними при підвищенні температури повітря на 15°C і виділенні двигунами тепла в повітря машинного відділення 1,2 % від потужності двигуна. Результати розрахунку збіглися із наведеною вище формулою (1).

Розрахункова кількість припливного повітря в машинних відділеннях визначається з розрахунку на асиміляцію надлишкових тепловиділень виходячи з розрахункового значення температури зовнішнього повітря, яка вибирається хоч і з урахуванням передбачуваного району плавання судна, але з великим запасом для найбільш спекотної пори року. Регулювання подачі повітря до МВ залежно від температури можна розглядати як спосіб зменшення енерговитрат на вентиляцію. Якщо регулювати подачу повітря зміною частоти обертання вентилятора, то економія може становити половину і більше витрат енергії на вентилятор, а економія палива на ходу судна складе близько 0,5 %.

Витрата електроенергії на вентиляцію в житлових і службових приміщеннях правильніше оцінювати спільно з системами опалення та кондиціонування повітря, так як від кратності вентиляції в таких приміщеннях залежить споживання енергії системою опалення та електронагрівальними приладами для обігріву службових приміщень та непрацюючого обладнання. Засоби електрообігріву службових приміщень встановлюються практично на всіх типах суден, тому споживана ними потужність входить в інтегральну потужність судна і враховується при розрахунках EED1 в тих 5 % від потужності головного двигуна, рівним яким приймається енергоспоживання на ходовому режимі.

Різні способи економії тепла, холоду та електроенергії в суднових системах вентиляції описані в роботі [12], де наводяться схеми різних рекуператорів, які можуть знайти застосування на суднах. Основною характеристикою рекуператорів є коефіцієнт ефективності рекуперації. Це відношення між максимально можливим отриманим теплом і теплом, отриманим насправді. Коефіцієнт залежить від типу рекуператора, змінюється від 30 до 90 %. Таким чином, за попередніми оцінками при їх застосуванні можна заощаджувати до 70 % споживаної електроенергії на обігрів та кондиціонування.

Висновки. Доведено, що енергоефективність морського транспорту, загалом, вища за інші види транспорту, тому заходи стимулювання і регулювання, створені задля підвищення енергоефективності судів послідовно зростатимуть. Аналіз основних інструментів управління енергоефективністю судна демонструє реалізацію ефективних способів економії енергії на борту суден через комплексну оцінку та прогнозування ефективності, а також зниження вуглецевого сліду в навколишньому середовищі.

Проведено аналіз енергоспоживання суднових систем. Визначено основні способи економії за рахунок оптимізації роботи суднових систем. Розглянуто варіант оснащення приводів вентиляторів машинних приміщень частотними регуляторами; систем вентиляції та кондиціонування житлових та службових приміщень – пристроями рекуператорів з утилізацією теплоти витяжного повітря для нагрівання припливного.

Список літератури:

1. UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. *Review of maritime Transport*; United Nations: New York, NY, USA, 2019.

2. Lee P. T. Transportation research trends in environmental issues: A literature review of methodology and key subjects. *Int. J. Shipp. Transp. Logist.* 2016. Vol. 8. P. 612–631.
3. Мельник О. М., Онищенко С. П., Волошин А. О., Калініченко Є. В., Заяц С. В. Огляд основних механізмів управління енергоефективністю та контролю за викидами з морських суден. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ.* 2021. Вип. 197. С. 121–129.
4. Onishchenko O., Golikov V., Melnyk O., Onyshchenko S., Obertiur K. Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.* 2022. Vol. 116. P. 223–235.
5. Yupeng Yuan, Zhixiong Li, Reza Malekian & Xinping Yan Analysis of the operational ship energy efficiency considering navigation environmental impacts. *Journal of Marine Engineering & Technology.* 2017. Vol. 16. № 3. P. 150–159.
6. Volyanskaya Y., Volyanskiy S., Volkov A., Onishchenko O. Determining energy-efficient operation modes of the propulsion electrical motor of an autonomous swimming apparatus. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 6/8 (90). P. 11–16.
7. Serra P. Fancello G. Towards the IMO's GHG Goals: A Critical Overview of the Perspectives and Challenges of the Main Options for Decarbonizing International Shipping. *Sustainability.* 2020. № 12 (8). 3220.
8. Acomi N., Acomi O. C. The influence of different types of marine fuel over the energy efficiency operational index. *European Geosciences Union General Assembly. Energy Procedia.* 2014. № 59. P. 243–248.
9. Єгоров Г. В., Колесник Д. В. Оцінка енергетичної ефективності вантажних суден змішаного плавання. Автоматизація суднових технічних засобів: науково-технічна збірка ОНМА. 2012. Вип. 18. С. 27–43.
10. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології: монографія / Букарос А. Ю., Волянська Я. Б., Волянський С. М. та ін.; за наук. ред. В. А. Голікова та О. А. Онищенко. Миколаїв: Іліон, 2022. 396 с.
11. Голіков С. П., Чорний С. Г., Жук Д. О., Івановський М. В. Суднові електричні станції: навч. посібник. Частина 1. Київ: Кондор, 2013. 198 с.
12. Krmek, I., Mrzljak V., Poljak I. Analysis and Comparison of Ship Propulsion Systems. *Journal of Maritime & Transportation Science.* 2022. 62 (1). P. 75–95.

Volianska Ya.B., Volyanskyy S.M., Balanskyi V.P., Kovalchuk M.S., Volianskyi Ju.S. ESTIMATION OF RESERVES FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF WATER-CARRIAGE'S OBJECTS BY TO OPTIMIZING OF THE SHIP SYSTEMS

The article analyzes the main factors that cause environmental pollution by ships. Among them are pollution by sewage, garbage, petroleum products during emergency spills, tank cleaning, discharge of ballast water; noise pollution, as well as collisions between mammals and ships. It is noted that increasing the active exploitation of sea and river transport and simultaneously reducing its negative impact on the environment is carried out at the expense of carrying out technical and operational measures to increase its energy efficiency. The evaluation of the effectiveness of technical measures was carried out using the energy efficiency index of the structure, which is calculated once during the construction of the ships, and remains fixed throughout its life cycle. The increase in energy efficiency is also achieved through "operational efforts" with the help of the index of evaluation of the efficiency of operational measures, which deteriorates during the operation of the ships at partial load and / or strong turbulence and, on the contrary, improves at full load and / or a calm water surface. It has been proven that the problems of ensuring energy efficiency (research of means and methods of ship management, implementation of innovative methods for calculating the energy efficiency indicators of ships) along with increasing requirements for ensuring the environmental safety of transport (use of alternative types of fuel) and strengthening the responsibility of ship owners are the central objects of research in modern theory and practices of operation of sea transport means. The article presents the distribution of ship systems according to the degree of influence on the ship's energy efficiency indicators during different modes of ship operation. The directions for increasing the energy efficiency of the ship's ventilation systems and the reserves for increasing the energy efficiency index of the ship's structure due to the use of currently known methods of reducing energy consumption have been determined.

Key words: energy efficiency, environmental pollution, reserve, recuperator, ship's systems.

Дакі О.А.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Маннапова О.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Тришин В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Рященко О.І.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

ПОБУДОВА КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМУ РЕЖИМІ ПЛІНУ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ НАНОРІДИНИ

Метою роботи є побудова критеріального рівняння для тепловіддачі в системі охолодження при турбулентному режимі плинку охолоджувальної нанорідини, як основи для розрахунку теплообміну в системах охолодження суднових і транспортних дизелів при застосуванні теплоносіїв з наночасток мультиграфена, з урахуванням конструктивних особливостей порожнин охолодження двигунів внутрішнього згоряння. Поставлена мета досягається шляхом аналізу відповідних джерел інформації та визначення можливих підходів щодо побудови рівняння. Значне збільшення коефіцієнта теплопровідності теплоносія може дозволити істотно підвищити інтенсивність тепловіддачі в системах охолодження форсованих високооборотних дизелів і за рахунок цього забезпечити допустимий температурний рівень їх теплонапружених деталей. Для введення охолоджувальної нанорідини в експлуатацію необхідно провести комплекс досліджень процесів теплообміну при циркуляції цих теплоносіїв зі збільшеним коефіцієнтом теплопровідності в системі охолодження форсованих високооборотних дизелів. Поставлена мета досягається шляхом зіставлення та аналізу експериментальних значень показників в системі охолодження суднових і транспортних дизелів з використанням графоаналітичного методу обробки результатів експериментів. Найважливішим результатом досліджень є отримане в статті критеріальне рівняння, яке дозволяє розрахувати коефіцієнт тепловіддачі в системах охолодження суднових і транспортних дизелів на режимі конвективного теплообміну при змушеному русі охолоджувальної нанорідини з мультиграфена. Таким чином, це рівняння враховує вплив на тепловіддачу відношення коефіцієнтів теплопровідності охолоджувальної нанорідини з мультиграфена та базової рідини.

Ключові слова: критеріальне рівняння, система охолодження, суднові дизелі, теплопровідність, охолоджувальна нанорідина, мультиграфен.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку науки та техніки приділяється особлива увага розвитку суднового двигунобудування й розробці нових форсованих високооборотних дизелів (ВОД), що широко застосовуються як у якості головних, так і як допоміжних двигунів в складі суднових енергетичних установок (СЕУ). Головними тенденціями розвитку таких суднових дизелів є збільшення їх питомої та агрегатної потужностей, підвищення надійності та удосконалення масогабаритних показників. Для сучасних форсованих ВОД характерні високі значення

середнього ефективного тиску. Перспективні середньооборотні дизелі (СОД) в якості суднових двигунів мають значення середнього ефективного тиску на рівні 3,5–4,0 МПа, а ВОД – 4,0–4,5 МПа. Такі рівні форсування приводять до росту кількості тепла, що надходить у систему охолодження (СО), що поряд зі зниженням питомої маси двигуна та зменшенням його габаритних розмірів приводить до зростання середніх й максимальних питомих теплових потоків. Це обумовлює підвищення температур теплонапружених деталей (ТД), що обмежують камеру згоряння (КЗ) дизеля.

Для перспективних форсованих ВОД температурний стан ТД обмежує працездатність й надійність двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Тому роль системи охолодження з погляду забезпечення працездатності та надійності форсованого ВОД багаторазово зростає, що і підтверджує актуальність дослідження.

Інтенсифікація процесів тепловіддачі в системі охолодження для зниження високих температур деталей КЗ відіграє істотну роль як за рахунок удосконалення режимних та конструктивних параметрів системи, так і за рахунок підвищення коефіцієнта теплопровідності охолоджувальних рідин (ОР). Останнє стало можливим з розвитком нанотехнологій (НТ), що дозволило створювати охолоджувальні нанорідини (ОН), які представляють собою стійкі, стабільні двофазні суспензії на основі базової ОР та твердих наночастинок (НЧ) зі значно більшим коефіцієнтом теплопровідності, ніж у базового теплоносія.

Значне збільшення коефіцієнта теплопровідності теплоносія може дозволити істотно підвищити інтенсивність тепловіддачі в системах охолодження ВОД і за рахунок цього забезпечити допустимий температурний рівень їх ТД. Для введення ОН в експлуатацію необхідно провести комплекс досліджень процесів теплообміну при циркуляції цих теплоносіїв зі збільшеним коефіцієнтом теплопровідності в системі охолодження ВОД. При цьому, в рамках відповідних досліджень, важливим етапом є формальне визначення та побудова критеріального рівняння для тепловіддачі в СО при турбулентному режимі плинину ОН як основи для розрахунку теплообміну в СО суднових і транспортних дизелів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дизелі є головними та допоміжними двигунами суден різного призначення. Основну долю парку суднових дизелів складають СОД та ВОД [1, 2], для яких властиві досить високі механічні й теплові навантаження на ТД, які обмежують КЗ. Сьогодні частина таких двигунів складає більш 60% [3].

Однією з головних тенденцій розвитку суднових ДВЗ є безперервне збільшення їх питомої й агрегатної потужностей, підвищення надійності поряд з удосконалюванням масогабаритних показників. Для оцінки ступеня досконалості конструкції двигуна та рівня його форсування використовують середній ефективний тиск, питому літрову потужність, питому поршневу потужність. Аналіз розвитку цих показників [4–8] свідчить про постійну тенденцію до їх зростання.

З метою інтенсифікації тепловіддачі в СО теплових ДВЗ останнім часом розглядається можливість застосування ОН з підвищеним коефіцієнтом теплопровідності. Охолоджувальні нанорідини мають нові властивості, що роблять їх перспективними в області теплопередачі, трибології [9–14].

Мета статті (постановка завдання). Мета роботи полягає у побудові критеріального рівняння для тепловіддачі в СО при турбулентному режимі плинину ОН як основи для розрахунку теплообміну в СО суднових і транспортних дизелів при застосуванні теплоносіїв з НЧ мультиграфена (МГ) з урахуванням конструктивних особливостей порожнин охолодження двигуна внутрішнього згорання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теорія теплової подоби дозволяє встановити величину коефіцієнта тепловіддачі за допомогою відповідного критеріального рівняння. Так, при змушеній конвекції та турбулентному режимі плинину теплоносія в каналах різної форми f процес тепловіддачі від нагрітої стінки до ОР описується рівнянням виду:

$$N_{uf} = C Re_f^m Pr_f^n, \quad (1)$$

де N_{uf} – число Нуссельта;

C – постійна інтегрування;

Re_f^m – число Рейнольдса;

Pr_f^n – число Прандтля;

m, n – постійні показники ступеня.

Для визначення значень величин C, m, n , які входять у рівняння (1), прийнятий графоаналітичний метод обробки результатів експериментів. Оскільки шукана величина критерію N_{uf} є функцією двох аргументів (Re_f^m, Pr_f^n), те спочатку визначають залежність $N_{uf} = f(Pr_f^n)$ при фіксованому значенні критерію Re_f^m . Для цього в логарифмічній системі координат відображають експериментальні крапки, що розташовуються уздовж прямої лінії, що описується формулою:

$$\ln(N_{uf}) = \ln(C Pr_f^n) + m \cdot \ln Re_f^m. \quad (2)$$

Показник ступеня m визначається як тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис. Визначення показника ступеня n здійснюється аналогічно шляхом представлення досвідчених даних на графіку у виді залежності $N_{uf} = f(Pr_f^n)$ при фіксованому значенні критерію Re_f^m . У логарифмічній системі координат експериментальні точки лягають уздовж прямої лінії, що описується рівнянням:

$$\ln\left(\frac{N_{uf}}{Re_f^m}\right) = \ln(C) + n \cdot Pr_f^n. \quad (3)$$

Величину коефіцієнта C знаходять зі співвідношення (4):

$$C = \frac{N_{uf}}{Re_f^m \cdot Pr_f^n} \quad (4)$$

У результаті обробки експериментальних даних щодо тепловіддачі для базової рідини відповідно до описаної методики були визначені такі значення: коефіцієнта $C=0,021$ і ступенів $m=0,8$ та $n=0,43$, що відповідає відомому рівнянню:

$$N_{uf} = 0,021 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \quad (5)$$

Зіставлення експериментальних даних за коефіцієнтом α для водно-етиленгліколевого розчину (ВЕГ) з результатами розрахунку за рівнянням (5) показало їх відповідність даному рівнянню (рис. 1).

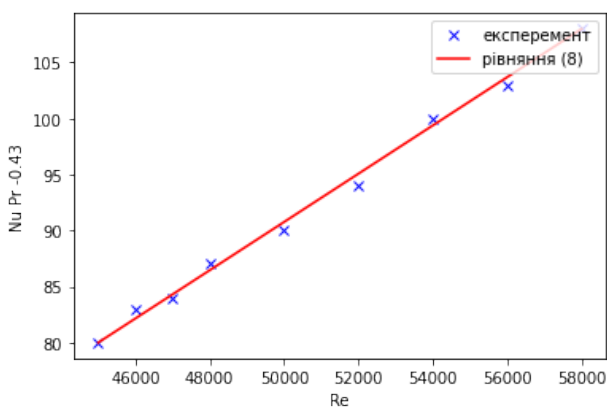


Рис. 1. Зіставлення експериментальних значень для базової рідини з емпіричним рівнянням (5)

Для графічного визначення ступенів m, n , а також коефіцієнта C , експериментальні дані для всіх зразків нанорідин з МГ представлені у виді залежностей $N_{uf} = f(Re_f^m)$ та $N_{uf} = f(Pr_f^n)$ у логарифмічній системі координат (рис. 2–4).

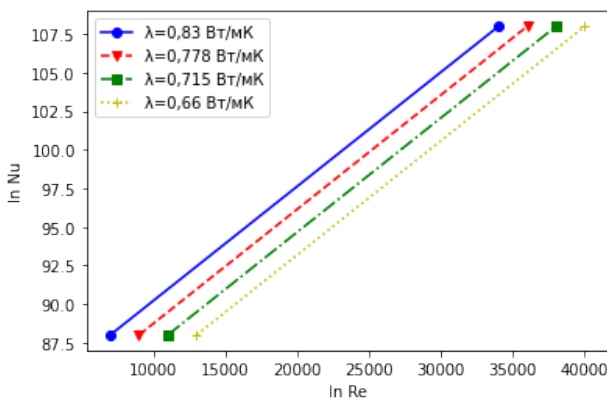


Рис. 2. Залежність чисел N_{uf} від Re_f^m для зразків нанорідин з МГ при температурі 60°C

По представленим графікам було встановлено, що $m = 0,8$ та $n = 0,43$ для всіх зразків ОН (рис. 6–8).

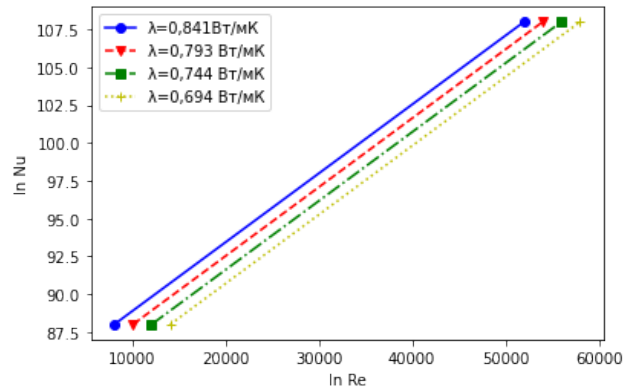


Рис. 3. Залежність чисел N_{uf} від Re_f^m для зразків нанорідин з МГ при температурі 70°C

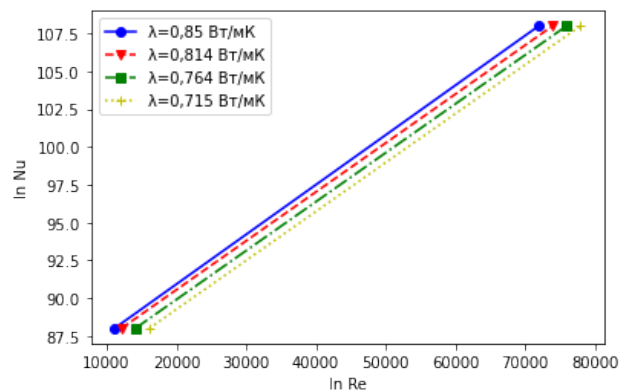


Рис. 4. Залежність чисел N_{uf} від Re_f^m для зразків нанорідин з МГ при температурі 80°C

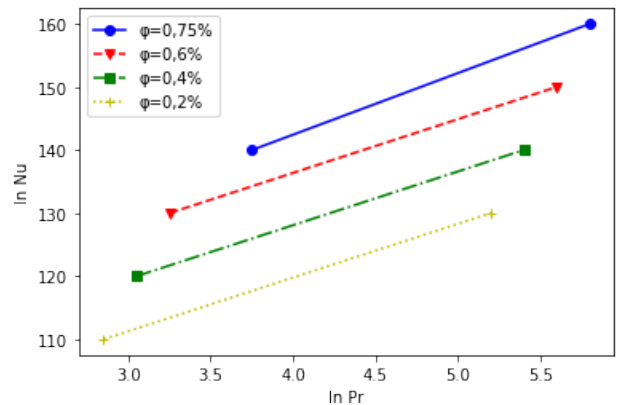


Рис. 5. Залежність чисел N_{uf} від Pr_f^n для зразків нанорідин з МГ при $Re_f^m = 18000$

Коефіцієнт C обчислювався за формулою (4), а його величина залежить від відношення коефіцієнтів теплопровідності нанорідини з НЧ МГ λ_{nf} та базової рідини λ_{bf} при відповідній температурі теплоносіїв (рис. 9).

Вплив коефіцієнта теплопровідності нанорідин з високотеплопровідними твердими НЧ МГ

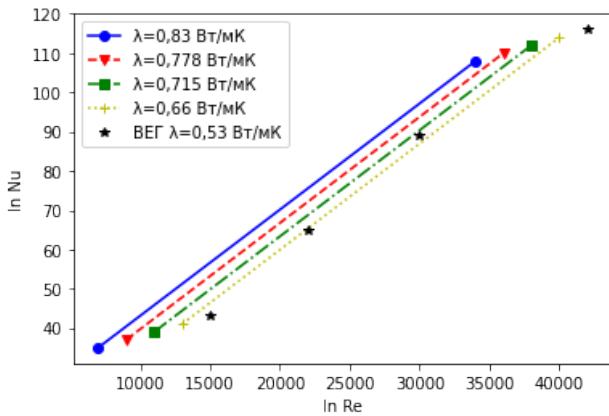


Рис. 6. Тепловіддача від охолоджуваної стінки випробувальної секції до нанорідин з МГ при середній температурі 60°C

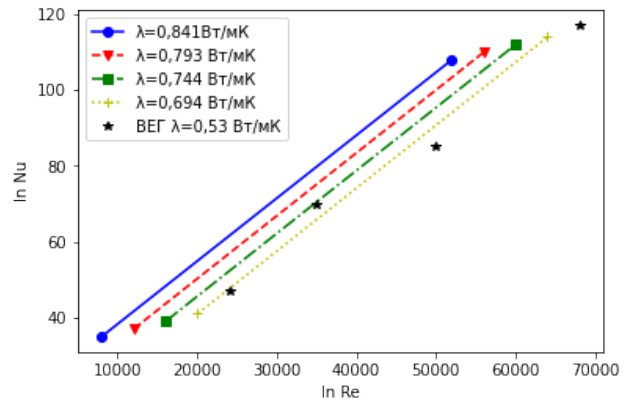


Рис. 7. Тепловіддача від охолоджуваної стінки випробувальної секції до нанорідин з МГ при середній температурі 70°C

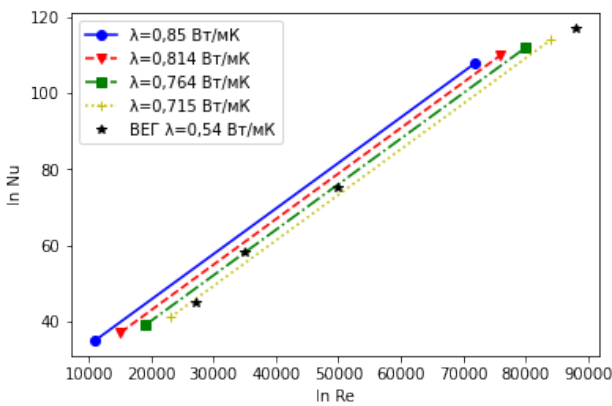


Рис. 8. Тепловіддача від охолоджуваної стінки випробувальної секції до нанорідин з МГ при середній температурі 80°C

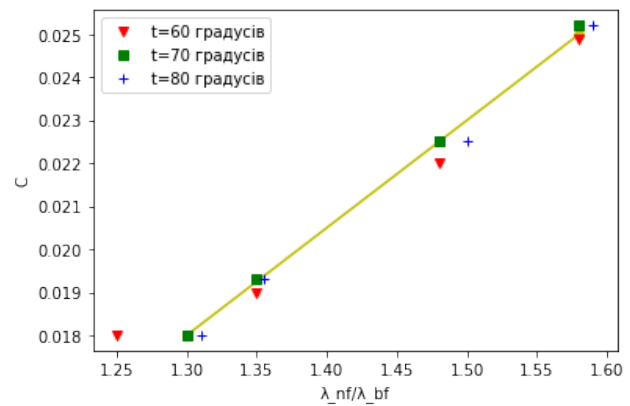


Рис. 9. Залежність коефіцієнта C від відношення коефіцієнтів теплопровідності нанорідини з МГ та базової рідини при різних їх температурах

на коефіцієнт тепловіддачі враховується безрозмірним коефіцієнтом C , що входить у рівняння:

$$C = 0,014 \left(\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_{bf}} \right)^{1,25} \quad (6)$$

Узагальнення даних, відповідно до рис. 7–8 та формули (6) щодо тепловіддачі від нагрітої стінки циліндричного каналу до досліджених зразків нанорідин з МГ у залежності від їх коефіцієнта теплопровідності описується рівнянням (7). Воно засновано на апроксимації експериментальних даних за методом найменших квадратів з величиною коефіцієнта детермінації не нижче $R^2=0,98$:

$$N_{u_f} = 0,014 \left(\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_{bf}} \right)^{1,25} Re_f^{0,8} Pr_f^{0,43} \quad (7)$$

Отримане критеріальне рівняння (7) справедливо в діапазоні значень коефіцієнта теплопровідності нанорідини з НЧ МГ $\lambda_{nf} = 0,66 \dots 0,85$ Вт/м·К, чисел Рейнольдса $Re_f^m = 0,8 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^4$ та температури $t = 60 \dots 80$ °С. Максимальне відхилення

значень за формулою (7) від експериментальних даних складає 8%.

Отримане рівняння (7) для тепловіддачі в СО при турбулентному режимі плинину ОН може бути основою для розрахунку теплообміну в СО судових і транспортних дизелів при застосуванні теплоносіїв з НЧ МГ з урахуванням конструктивних особливостей порожнин охолодження ДВЗ.

Висновки. Тенденція щодо збільшення питомої та агрегатної потужностей головних і допоміжних судових дизелів разом з удосконаленням їх масогабаритних показників вимагає нових, додаткових способів підвищення інтенсивності процесів теплообміну в СО двигунів для забезпечення допустимого температурного рівня їх ТД. Проведені дослідження показали, що модифікація теплоносіїв судових дизелів високо теплопровідними вуглецевими НЧ МГ є ефективним способом інтенсифікації процесів тепловіддачі в СО дизелів. Безпосередньо отримане критеріальне рівняння дозволяє розраху-

вати коефіцієнт тепловіддачі в СО суднових і транспортних дизелів на режимі конвективного теплообміну при змушеному русі ОН з МГ.

Це рівняння враховує вплив на тепловіддачу відношення коефіцієнтів теплопровідності ОН з МГ та базової рідини.

Список літератури:

1. Jianhao Zhu Prospects and Challenges for the Future Development of Ships URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/25/e3sconf_caes2020_06011.pdf / (дата звернення: 20.01.2023).
2. Report of the Working Party on the Standardization of Technical and Safety Requirements in Inland Navigation on its Sixtieth Session. URL: <https://unece.org/sites/default/files/2022-06/ECE-TRANS-SC.3-WP.3-120e.pdf>. (дата звернення: 20.01.2023).
3. Alternative fuels and propulsion systems for fishing vessels. URL: https://www.sintef.no/contentassets/f18e738f011347999884e200f817b956/coolfish-report-propulsion_and_fuels-signed.pdf. (дата звернення: 20.01.2023).
4. Wang, S.J. The change of the concept of green shipping. China. Ship. Insp.,11:23-26. (2019)
5. Peng, C.S. Selection of methods to meet the sulfur requirements of IMO 2020. China. Ocean. Shipp.,12:68-71. (2019)
6. Zong, Y.H., Huang, L. Cheng, Z.P. Research status and development of denitration and purification technology for marine diesel engine. Environ. Eng., A1:560-564. (2016)
7. Chen, W.H. The risk of using low sulfur fuel oil should not be unknown. China. Ship. Surv.,12:112-114. (2019)
8. Tang, M. Discussion on the strategy of using low sulfur fuel oil on ships. Technol. Inf. 33:49-51. (2017)
9. Emad Sadeghinezhad, Mohammad Mehrali, R. Saidur, Mehdi Mehrali, Sara Tahan Latibari, Amir Reza Akhiani, Hendrik Simon Cornelis Metselaar. *A comprehensive review on graphene nanofluids: Recent research, development and applications*. Energy Conversion and Management. 2016. № 111. Pp. 466–487.
10. Azmi W. H, K. Abdul Hamid, Usri N. A, Rizalman Mamat, Sharma K. V. Heat transfer augmentation of ethylene glycol: water nanofluids and applications. A review. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2016. № 75. Pp. 13–23.
11. Wong, Kaufui & De Leon, Omar. Applications of nanofluids: Current and future. *Advances in Mechanical Engineering*. 2010. № 2. 11 p.
12. Mohammad Mehrali. Investigation of thermal conductivity and rheological properties of nanofluids containing graphene nanoplatelets. *Nanoscale Research Letters*. 2014. 12 p.
13. W. Yu, H. Xie, X. Wang. Significant thermal conductivity enhancement for nanofluids containing graphene nanosheets. *Physics Letters A*. 2011. Vol. 375. № 10. Pp. 1323–1328.
14. Choi S.U.S., Zhang Z. G., Yu W., Lockwood F. E., Grulke E. A. Anomalous thermal conductivity enhancement in nano-tube suspensions. *Applied Physics Letters*. 2001. № 79. Pp. 2252–2254.

Daki O.A., Mannapova O.V., Tryshyn V.V., Riashchenko O.I. CONSTRUCTION OF A CRITERION EQUATION FOR HEAT TRANSFER IN MARINE DIESEL ENGINE COOLING SYSTEMS UNDER TURBULENT FLOW OF COOLING NANOFLUID

The aim of the work is to build a criterion equation for heat transfer in the cooling system under the turbulent flow regime of the cooling nanofluid as a basis for calculating heat transfer in the cooling systems of marine and transport diesel engines when using coolants from multigraphene nanoparticles, considering the design features of the cooling cavities of internal combustion engines. The aim of the work is achieved by analysing relevant sources of information and determining possible approaches to constructing the equation. A significant increase in the thermal conductivity of the coolant can significantly increase the intensity of heat transfer in the cooling systems of forced high-speed diesel engines and thus ensure the permissible temperature level of their heat-stressed parts. To put the cooling nanofluid into operation, it is necessary to conduct a set of studies of heat transfer processes during the circulation of these coolants with an increased thermal conductivity coefficient in the cooling system of forced high-speed diesel engines. This goal is achieved by comparing and analysing the experimental values of indicators in the cooling system of marine and transport diesel engines using the graph-analytical method of processing the results of experiments. The most important result of the research is the criterion equation obtained in the article, which allows calculating the heat transfer coefficient in the cooling systems of marine and transport diesel engines in the convective heat transfer mode with the forced movement of the cooling nanofluid from the multigraphene. Thus, this equation takes into account the effect on heat transfer of the ratio of the coefficients of thermal conductivity of the cooling nanofluid made of multigraphene and the base fluid.

Key words: criterion equation, cooling system, marine diesel engines, thermal conductivity, coolant nanofluid, multigraphene.

УДК 504.054+629.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/22>**Кірсанова В.В.**

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Биковець Н.П.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Бражчик І.Д.

Національний університет «Одеська морська академія»

ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ ЯК СПОСІБ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СУДОХОДСТВА

Судноплавство є найдешевшим і найпоширенішим видом транспорту міжнародної торгівлі. На його частку припадає понад 70% перевезень різних вантажів [3]. Використання найдешевших важких фракцій нафти як паливо у поєднанні з великими габаритами суден забезпечує енергоефективність морського транспорту. Проте експлуатація судів негативно впливає довкілля. На загальний обсяг судноплавства припадає близько 3% щорічних глобальних викидів CO₂ та близько 13% та 15% антропогенних викидів SO_x та NO_x відповідно [4].

З метою скорочення викидів шкідливих парникових газів здійснюється пошук альтернативних видів палива для морського судноплавства. Надії покладаються на скраплений природний газ (ЗПГ) (понад 95% метану), водень, аміак, метанол, етанол, біопаливо, синтетичне паливо та електроенергія, що виробляється сонячними панелями. З перерахованих альтернатив викопного палива, що тестуються сьогодні, водень є найбільш перспективним.

У статті аналізуються переваги та проблеми впровадження водню при його використанні як паливо в судноплавстві. Продуктами горіння водню є вода та незначна кількість NO_x. Ці його особливості дозволять суттєво скоротити викиди діоксиду карбону під час експлуатації суден. Водень може зберігатися у великій кількості протягом тривалих періодів часу, що є перевагою порівняно з батареями, які необхідно перезаряджати. ККД паливних елементів більше 60 відсотків, а за певних умов можливий ККД більше 80 відсотків. Паливні елементи безшумні, сьогодні більшість кораблів можуть бути оснащені паливними елементами.

Розглянуто основні проблеми та перешкоди на шляху розвитку зберігання водню для морської галузі. Не визначено електролізер, який є найбільш оптимальним при експлуатації судна. Зелений водень значно дорожчий у порівнянні з дизельним паливом. Потрібна розробка нової бункрувальної інфраструктури та забезпечення безпечної експлуатації цих водневих носіїв на борту корабля.

Ключові слова: судноплавство, діоксид карбону, альтернативна енергетика, зелений гідроген як паливо.

Постановка проблеми. Глобальною екологічною проблемою є зміна кліматичної системи планети Земля, спричинена надмірним накопиченням парникових газів в атмосфері. Діоксид карбону складає 72% від загальної кількості парникових газів і масштаби глобального потепління протягом століть залежатимуть від його концентрації в атмосфері. Зміна кліматичної системи планети призводить до підвищення температури, глобального потепління та викликає підвищення рівня моря та екстремальні погодні явища. [1].

У Паризькій угоді 2015 р. викладено цілі щодо запобігання глобальним змінам клімату, спрямованим на обмеження підвищення глобальної температури нижче 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем. Сьогодні докладаються зусилля

для утримання середньої температури планети на рівні, нижчому за 1,5°C [2].

Судноплавство є найдешевшим і найпоширенішим видом транспорту міжнародної торгівлі. На його частку припадає понад 70% перевезень різних вантажів [3]. Використання найдешевших важких фракцій нафти як паливо у поєднанні з великими габаритами суден забезпечує енергоефективність морського транспорту. Проте експлуатація судів негативно впливає на довкілля. На загальний обсяг судноплавства припадає близько 3% щорічних глобальних викидів CO₂ та близько 13% та 15% антропогенних викидів SO_x та NO_x відповідно [4]. Очікується, що торгівля товарами з використанням морського транспорту зростатиме на 3,8% на рік у період із 2018

по 2023 рік [3]. Також спостерігається зростаючий попит на круїзні та пасажирські перевезення.

На нараді Міжнародної морської організації (ІМО) у Лондоні було прийнято початкову стратегію скорочення викидів парникових газів із судів, у якій викладено план скорочення викидів парникових газів від міжнародного судноплавства і поетапного відмовитися від них у перспективі. Міжнародна морська організація (ІМО) закликала до 50-відсоткового скорочення викидів парникових газів (ПГ) до 2050 року порівняно з рівнем 2008 року, щоб привести галузь у відповідність до цілей Паризької Кліматичної угоди [5]. Для досягнення цих цілей розробляються технології експлуатації суден на альтернативних видах палива, які виробляють менше або не викидають ПГ в атмосферу. [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перспективними альтернативними судовими видами палива є зріджений природний газ (ЗПГ) (понад 95% метану), водень, аміак, метанол, етанол, біопаливо, синтетичне паливо та електроенергія, що виробляється сонячними панелями.

СПГ не синтезує SOx та утворює малу кількість NOx у процесі горіння. При використанні ЗПГ як суднове паливо можливе зниження викидів CO₂ до 26% порівняно з мазутом (HFO). Однак ЗПГ необхідно зберігати у зрідженому стані, і неконтрольований витік метану може компенсувати зниження викидів CO₂ [7]. А також ЗПГ не може відповідати початковій стратегії ІМО, яка потребує скорочення викидів CO₂ на 50%.

Як суднове паливо розглядається аміак, якого можна використовувати в різних первинних двигунах. Його можна зберігати при нижчому тиску і вищій температурі, ніж зріджений водень та ЗПГ. Аміак перевозиться морським транспортом, і в усьому світі існують системи зберігання та доставки. Аміак важко запалюється (порівняно зі звичайним паливом) (de Vries 2019) [8]. І є високотоксичним та біокумулятивним.

У судноплаванні покладаються сподівання на біопаливо, яке може бути вуглецево-нейтральним джерелом енергії, а потенціал скорочення викидів CO₂ протягом життєвого циклу становить до 88%. Біопаливо сумісне з існуючою інфраструктурою та системами двигунів суден. Однак виробництво біопалива дорожче, ніж звичайне викопне паливо, прямо чи опосередковано конкурує з виробництвом продуктів харчування [9].

У судноплаванні активно досліджуються та впроваджуються сонячні панелі, здатні акумулювати сонячну енергетику. Акумулятори забез-

печують рух з нульовим рівнем викидів і вдвічі ефективніші за звичайну дизель-генераторну установку. Ціни на акумулятори швидко знижуються, а продуктивність підвищилася. Недоліком акумуляторів є низька масова енергоємність (приблизно у 150 разів нижче, ніж у дизеля) та низька об'ємна щільність (приблизно у 100 разів нижче, ніж у дизеля). Виробництво акумуляторів є енергоємним, а капітальні витрати великої акумуляторної системи значно вищі, ніж у звичайної силової установки [10].

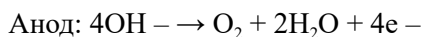
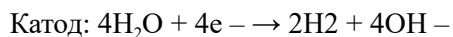
Завдяки декільком унікальним перевагам, однією з перспективних майбутніх альтернативних джерел енергії для декарбонізації судноплавства є водень.

Постановка завдання. При використанні водню як паливо єдиними побічними продуктами є вода та незначна кількість NOx. Актуальність цієї роботи обумовлена необхідністю аналізувати проблеми організації впровадження водню в судноплаванні. Оскільки ІМО прийняла початкову стратегію щодо 50-відсоткового скорочення викидів парникових газів (ПГ) до 2050 року порівняно з рівнями 2008 року, щоб привести галузь у відповідність до цілей Паризької Кліматичної угоди.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Водень (H₂), один із найпоширеніших хімічних елементів на Землі. Він є складовою води (H₂O) і багатьох органічних сполук. Отже, його можна отримати з різних джерел, включаючи викопне паливо, біомасу та воду [11]. Виробництво водню може бути досягнуто за допомогою різних технологічних процесів, включаючи риформінг (паровий, парціальний окислений, автотермічний, плазмовий та у водній фазі), газифікацію, піроліз та електроліз води [12]. Більшість водню виробляється з копалин палива. Близько трьох чвертей світового попиту водень забезпечується паровою конверсією метану з допомогою природного газу як вихідної сировини. Проте дешевизна виробництва водню з газу поєднується з великими викидами парникових газів [13]. Електроліз з використанням відновлюваних джерел енергії може забезпечити виробництво чистого водню, проте нині його припадає лише 3,9% від загального світового виробництва водню [14].

У процесі виробництва водню шляхом електролізу, при якому вода розщеплюється на водень і кисень за допомогою електрики не утворюється CO₂ як побічний продукт. Розроблено різні способи синтезу водню у процесі електролізу води. Відомі лужний, мембранний з полімерним електролітом, твердооксидний та безмембранний

електролізери. Лужний електроліз – це технологія електролізу; яка складається із двох електродів, розділених діафрагмою, яка пропускає іони у воді, але затримує газоподібні речовини. Протони у воді відновлюються до газоподібного водню на катоді, а кисень виділяється внаслідок окислення гідроксид-іонів на аноді. Реакції, що відбуваються на електродах



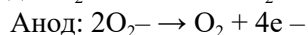
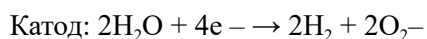
Для поділу електродів використовується діафрагма.

При електролізі з мембраною з полімерного електроліту водний електроліт замінений протонпровідящою полімерною мембраною, що не пропускає газоподібні речовини. Реакції на електродах відрізняються від реакцій у лужних електролізерах, оскільки між електродами можуть переноситися тільки протони та електрони.



Вода розщеплюється на кисень і протони, потім протони мігрують через мембрану до катода, де відбувається реакція відновлення до газоподібного водню. Як катодний матеріал використовують платину, нанесену на вуглець. Для анода використовуються каталізатори на основі іридію або іридію-рутенію. Мембрани складаються з фторованої полісульфонованої кислоти, Анод, катод та мембрана збираються у компактний вузол мембранного електрода. При розміщенні всіх компонентів близько одна до одної відстань, на яку повинні мігрувати електрони та протони, зменшується, що підвищує загальну ефективність системи. Загальна ефективність електролізерів з мембраною з полімерного електроліту нижче, ніж у лужних електролізерів, але завдяки низькій проникності мембрани синтезується чистий водень [16].

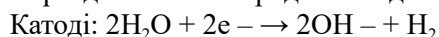
З усіх типів електролізерів, обговорюваних у літературі, системою, яка потребує найменшого споживання електроенергії, є твердооксидний електролізер. Так як він працює при температурах вище 800°C, і через високу теплову енергію, що підводиться до системи, потрібно менше електроенергії. При використанні високотемпературного потоку скидного тепла збільшується загальний електричний ККД. Твердооксидні електролізери мають мембрану, що проводить іони кисню, та електрохімічні реакції на електродах.



У цьому типі електролізера найчастіше використовуються мембрани з оксиду цирконію, ста-

білізований оксидом ітрію, матеріал, який пропускає іони кисню, залишаючись при цьому стабільним та електронним ізолюючим навіть за більш високих температур. Твердооксидні електролізери можуть бути розроблені без використання дорогих електродів із шляхетних металів. Як водневий електрод типовим електродним матеріалом є нікель-кермет (композитний керамічний і металевий матеріал), ці матеріали мають високу електропровідність і високу активність по відношенню до електрохімічних реакцій. Для кисневого анода використовують перовскітні матеріали, зазвичай LaMnO₃. Твердооксидні електролізери все ще знаходяться на стадії досліджень і розробок і стикаються з серйозними проблемами, пов'язаними з термічною стабільністю [17].

Безмембранного електролізера спочатку розроблений як система очищення баластної води, є новою інноваційною концепцією виробництва водню, яка може значно знизити вартість електролізного обладнання завдяки простій конфігурації пристрою. Найпростіша установка безмембранного електролізера ґрунтується на проточних електродах; в цій системі електроліт тече паралельно електродам і два різних випускних каналу на кінці пристрою. У цих системах використовується ефект Сегре-Сільберга, при якому бульбашки газу закріплюються близько до поверхні електроліту, де виділяються завдяки градієнту рідини електроліту. Це означає, що при протіканні електроліту через канал і окремі випускні отвори потоки газоподібного водню і кисню відокремлюються один від одного потоком водного потоку. Реакції на розділених електродах наведені в



Ця система, однак, не може виробляти водень такої ж чистоти, як, наприклад, електролізери з мембраною з полімерного електроліту, але заявлена чистота потоку водню, як і раніше, становить 99%. Оскільки в цій системі не задіяні мембрани, вона має суттєві переваги перед іншими типами електролізерів: перша перевага – проста конфігурація пристрою. Завдяки простоті безмембранної системи вона також досить стійка до забруднення та широкого діапазону умов експлуатації [18]. Також відомо, що безмембранні електролізери працюють на водопровідній воді і навіть на соляному середовищі. Ще однією перевагою є те, що безмембранні електролізери можуть працювати в широкому діапазоні рН спектру (0,35–13,7) та широкому спектрі розчинів електролітів. Всі ці переваги слід зіставляти з тим фактом, що безмембранні електролізери мають нижчий ККД

за напругою порівняно з іншими системами; це пов'язано з великою відстанню між електродами і, отже, з більш високим внутрішнім електричним опором системи порівняно з іншими електролізерами [18].

Водень, отриманий за допомогою електролізу, названий зелений водень і є єдиною формою водню з практично безвуглецевим виробничим процесом. Цей метод виробництва не новий, але витрати на виробництво зеленого водню значно вищі, порівняно з іншими способами його виробництва. Водень, отриманий в результаті електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії, є єдиним стійким та перспективним джерелом палива для судноплавства.

Після отримання газоподібного водню його можна зберігати та транспортувати у паливних баках. Однак, оскільки водень має дуже низьку щільність енергії, його необхідно значно стискати і охолоджувати, подібно до стиснення метану для виробництва зрідженого природного газу [15].

При зберіганні стиснутого водню виникають проблеми. Потрібен великий простір на судні для його зберігання. Також є проблемою тривалий період бункування, характерний для газу з низькою густиною. Для поромів на острів Окні було описано та оцінено безпеку системи заправки стисненим воднем. Однак у цьому проекті було обрано зберігання водню за 35 МПа, а не 700 МПа. Загальна установка бункера була розрахована на 2 МВт або 800 кг Н₂ в день. Великим морським кораблям для їх експлуатації потрібно кілька 100 тонн водню, а заправка з такою швидкістю займе кілька тижнів або дуже багато форсунок. Прикріплення та звільнення такої великої кількості сопел від корабля є дуже складною та трудомісткою операцією.

Для бункування зеленого водню можуть бути використані водневі резервуари, встановлених у стандартному 20 або 40-футовому контейнері, який потім можна завантажити на судно. Це стосується паливних систем касетного типу 173, 203. Це може бути варіантом для невеликих суден, таких як пороми, але для великих суден час, необхідний для завантаження та розвантаження всіх цих контейнерів, різко збільшує час заходу в порт.

На суднах також можливе використання рідкого водню. Перш ніж порти зможуть постачати кораблі достатньою кількістю рідкого водню, необхідно буде побудувати зовсім нову паливну інфраструктуру без досвіду поводження з рідким воднем. В даний час його навіть не перевозять як товар океаном, хоча Kawasaki сподівається змі-

нити це за допомогою свого поточного проекту HySTRA. Розробка порту для рідкого водню, як і раніше, є серйозною проблемою, перш ніж рідкий водень можна буде використовувати в усьому світі як паливо.

Розробка суден, що працюють на ЗПГ, може бути основою для використання водневих суден. Проте проблеми з водневими судами будуть ще серйознішими. Температура переходу в рідкий стан приблизно на 90°C нижча і щільність енергії також у 2 рази менша. Потрібно зберігати зелений водень за більш низьких температур і при більших обсягах порівняно з ЗПГ. Паливо корабля зазвичай ділиться кілька менших баків, але у кожному з цих баків водень випаровується, створюючи частково заповнені водневі баки. У кожному з цих резервуарів можливе виплескування рідкого водню, що, як наслідок, призводить до проблем із стійкістю корабля.

Дослідження, проведене на Глобальному морському форумі у березні 2021 року, розглянуло 106 проектів, спрямованих на нульові викиди у морському судноплавстві. Майже половина цих проектів зосереджено використання водню як джерело палива з низьким вмістом вуглецю. [20]. Щоб приводити в дію кораблі, водень необхідно завантажувати в паливні елементи, в яких енергія водню перетворюється на електричну і теплову енергію, яка живить силову установку корабля. Цей процес, протилежний електролізу, може забезпечити безперервну подачу енергії, поки елемент живиться паливом, що є перевагою порівняно з батареями, які необхідно перезаряджати [21]. Ключовою перевагою водню перед іншими альтернативними видами палива є відносна простота модернізації кораблів існуючих водневими паливними елементами. Технологія паливних елементів може бути модернізована більшості кораблів. Було продемонстровано ККД паливних елементів понад 60 відсотків, а за певних умов можливе ККД понад 80 відсотків. Паливні елементи безшумні, не мають рухомих частин і легко масштабуються для великих кораблів, оскільки окремі елементи можна штабелювати. Водневе паливо може замінити 43 відсотки рейсів між США та Китаєм без будь-яких змін та 99 відсотків рейсів з незначними змінами в запасі палива чи операціях [22].

Постановка завдання. Метою цієї статті є аналіз проблем пов'язаних з використанням водню як суднове паливо, а також визначення короткострокових перспектив для його впровадження у судноплавстві.

Постановка завдання. Метою цієї статті є аналіз проблем пов'язаних з використанням водню як

суднове паливо, а також визначення короткострокових перспектив для його впровадження в судноплавстві.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зелений водень може зіграти вирішальну роль русі морської галузі до декарбонізації. Електроліз води можна поєднувати з відновлюваною енергією, і це метод стабілізації та тривалого зберігання відновлюваної енергії. Вироблений шляхом електролізу H_2 не містить викидів вуглецю і в майбутньому може бути широко доступний по всьому світу – як суднове паливо або ключовий компонент синтетичного палива. На потенціал водню покладаються надії, але бар'єри застосування технології H_2 значні.

Вартість відновлюваного водню вища, ніж вартість парової конверсії метану, виражена у доларах США. 2016 р. ціна на водень з природного газу може становити всього 0,91–1,69 дол. США за кг – 1, тоді як ціни на відновлюваний водень становлять 3,56–9,08 \$ кг – 1 для енергії вітру та 3,34–17,30 \$ кг – 1 для сонячної енергії [24]. Для виділення одного моля водню при розщепленні води необхідно в 7 разів більше енергії, порівняно з кількістю енергії необхідної для виділення молю водню з метану [25]. Вартість зеленого водню, як очікується, знижуватимуться в міру зниження вартості відновлюваної електроенергії. Також необхідне державне втручання для заохочення приватних інвестицій у технологію зеленого водню та розвитку інфраструктури для його заправлення та транспортування.

Водень хімічно активна речовина та має великий діапазон займання. Він горітиме як при низьких, так і при високих концентраціях у поєднанні з киснем. Необхідні заходи безпеки для зниження цього ризику при зберіганні, транспортуванні та займанні. Тестування та моделювання необхідно точно налаштувати з урахуванням унікальних властивостей водню та міркувань безпеки. Існують невизначеності щодо поведінки криогенного водню (LH_2), а також порогових значень у разі детонації [25]. Проведено дослідження щодо поведінки LH_2 у сценаріях витоку у типовій конструкції суден із закритими приміщеннями та під час бункерування LH_2 .

Ці результати мають важливе значення та враховуються під час проектування морських водневих пристроїв. Високошвидкісний струменевий викид водню у великому приміщенні може не поширюватися рівномірно. Такий неоднорідний викид може призвести до утворення концентрованих кишень H_2 , які мають вищий ризик детонації.

Розмір приміщення, розташування вентиляторів, вентиляційних шахт та датчиків можуть мати велике значення у разі витоку. З метою забезпечення безпеки знадобляться спеціальні великомасштабні випробування [26].

Водень, навіть у рідкій формі, менш енергоємний, ніж бункерне паливо. Водневі паливні елементи займатимуть більше місця на вантажних суднах, що знижує ефективність та альтернативні витрати втрати вантажу. Безпосереднє використання водню, коли це можливо, може знизити втрати енергії, що відбуваються в процесі перетворення водню на інші види палива, і є кращим варіантом для впровадження ланцюжків створення вартості з нульовим рівнем викидів.

Лідери в транспортному та енергетичному секторах почали інвестувати у дослідження та розробки (НДДКР), щоб знизити виробничі витрати та вивчити масштабованість. Різке зниження витрат, необхідне у тому, щоб зелений водень став конкурентоспроможним за вартістю проти традиційним паливом. Така конкурентоспроможність можлива у середньостроковій перспективі за державної підтримки.

Дослідження 2020 року, проведене на замовлення Міжнародної ради з чистого транспорту, показало, що вартість виробництва зеленого водню з відновлюваних джерел електроенергії в США та Європі може бути знижена вдвічі до 2050 року за рахунок фінансових стимулів для просування НДДКР. Встановлення ціни вуглець можуть аналогічним чином прискорити масштабування виробництва водню. У звіті американської некомерційної організації «Ресурси для майбутнього» за 2020 рік передбачається, що податок на викиди вуглецю або податковий кредит у розмірі 50 доларів США за тону CO_2 знизить вартість водню (що виловлює 50–60 відсотків) ціна конкурентоспроможна із сірим воднем. Податковий кредит компенсував би великі витрати основного капіталу модернізацію існуючих сірих водневих установок з технологією CCUS [28].

Висновки. У роботі обговорюються кілька різних аспектів використання водню як альтернативне паливо для судноплавства. Виробництво водню внаслідок електролізу води пропонує потенціал палива з нульовим вмістом вуглецю в усьому світі. Використання зеленого водню має важливе значення для отримання екологічних переваг, порівняно з використанням дизельного палива. Проте, організація впровадження водню в судноплавстві супроводжується деякими проблемами.

Розроблено різні способи синтезу водню у процесі електролізу води. Відомі лужний, мембранний з полімерним електролітом, твердооксидний та безмембранний електролізери. Не визначено електролізер, який є найбільш оптимальним при експлуатації судна. Твердооксидний електролізер вимагає найменшого споживання електроенергії, тому що він працюють при температурах вище 800 °С, і через високу теплову енергію, що підводиться до системи, потрібно менше електроенергії. Експлуатацію твердооксидного електролізера можна поєднувати з теплою димових газів головного двигуна, що дозволить здешевити синтез зеленого водню під час руху судна. При використанні електролізера для зеленого водню в поєднанні знезараженням ізольованого баласту також може знизити вартість електролізного обладнання. Для остаточних висновків потрібні додаткові дослідження.

Зелений водень значно дорожчий порівняно з дизельним паливом. Вартість зеленого водню, як очікується, знижуватимуться в міру зниження вартості відновлюваної електроенергії. Також необхідне державне втручання для заохочення приватних інвестицій у технологію зеленого водню та розвитку інфраструктури для його заправлення та транспортування.

Основною проблемою при його впровадженні є технологія зберігання та заходи безпеки. Найбільш вірогідними методами зберігання є стислий водень і криогенний водень. Однак необхідно продовжити дослідження поведінки криогенного водню (LH₂), а також порогових значень при виникненні детонації. Судновласникам, портам та ІМО доведеться зробити стратегічний вибір щодо методів зберігання зеленого водню для судноплавства. З метою забезпечення безпеки знадобляться спеціальні великомасштабні випробування

Список літератури:

1. Taalas, P. Flagship UN Study Shows Accelerating Climate Change on Land, Sea and in the Atmosphere. Retrieved from <https://news.un.org/en/story/2020/03/1059061>
2. Agreement, P. United nations. *United Nations Treaty Collect*, 2015 p.1-27. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
3. United Nations Conference on Trade and Development. *Review of maritime transports 2018*. Retrieved from https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf
4. Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., Hanayama, S., & Pandey, A. (2015). *Third IMO greenhouse gas study 2014*. Retrieved from <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/>
5. Tae-Hwan Joung, Seong-Gil Kang, Jong-Kap Lee, Junkeon Ahn The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050 *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping* . 2020 N 4, 1-7 <https://doi.org/10.1080/25725084.2019.1707938>
6. Hyungju Kim, Kwi Yeon Koo, Tae-Hwan Joung A study on the necessity of integrated evaluation of alternative marine fuels *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping* 2020 Volume 4, Issue 2 p.26-31 <https://doi.org/10.1080/25725084.2020.1779426>
7. Dnv, G. L. Assessment of selected alternative fuels and technologies. *DNV GL–Maritime*. Dnv, G. L. 2018. Assessment of selected alternative fuels and technologies. *DNV GL–Maritime*.
8. DeVries, Safe and effective application of ammonia as a marine fuel. 2019 <http://resolver.tudelft.nl/uuid:be8cbe0a-28ec-4bd9-8ad0-648de04649b8>
9. Somerville, C. Biofuels. *Current biology*, 2007 N17(4), R115-R119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.01.010>
10. Dnv, G. L. Assessment of selected alternative fuels and technologies. 2018 *DNV GL–Maritime*.
11. Bockris, J. O. M. The hydrogen economy: Its history. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2013 V38(6), p.2579-2588. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.12.026>
12. Qyyum, M. A., Dickson, R., Shah, S. F. A., Niaz, H., Khan, A., Liu, J. J., & Lee, M. Availability, versatility, and viability of feedstocks for hydrogen production: Product space perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021 N 145, p.110843. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110843>
13. IEA. The Future of Hydrogen. 2019. Available online: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
14. Wang, Y., & Wright, L., A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. *World*, 2021 N 2(4), p.456-481 <https://doi.org/10.3390/world2040029>
15. Rodríguez J, Palmas S, Sánchez-Molina M, Amores E, Mais L, Campana R. Simple and Precise Approach for Determination of Ohmic Contribution of Diaphragms in Alkaline Water Electrolysis. *Membranes*. 2019;V 9(10) p.129. <https://doi.org/10.3390/membranes9100129>

16. Ugljesa Babic, Michel Suermann e alt Critical Review–Identifying Critical Gaps for Polymer Electrolyte Water Electrolysis Development. Journal of The Electrochemical Society, 2017 N164(4), doi 10.1149/2.1441704jes
17. Arunkumar Pandiyan e alt(2019) Review of solid oxide electrolysis cells: a clean energy strategy for hydrogen generation. Nanomaterials and Energy, N8, p.2-22 <https://doi.org/10.1680/jnaen.18.00009>
18. Laurens Van Hoecke, Ludovic Laffineur, Roy Campe, Patrice Perreault, e alt. Challenges in the use of hydrogen for maritime applications *Energy Environ. Sci.*, 2021 N 2 <https://doi.org/10.1039/D0EE01545H>
19. Hydrogen: The Key to Decarbonizing the Global Shipping Industry? April 13, 2021 <https://www.csis.org/analysis/hydrogen-key-decarbonizing-global-shipping-industry>
20. Mapping of Zero Emission Pilots and Demonstration Projects Second edition | March 2021 <https://www.globalmaritimeforum.org/content/2021/03/Mapping-of-Zero-Emission-Pilots-and-Demonstration-Projects-Second-edition.pdf>
21. Practical Application Limits of Fuel Cells and Batteries for Zero Emission Vessels <https://translate.google.com.ua/?hl=ru&sl=en&tl=ru&text=Practical>
22. Refueling assessment of a zero-emission container corridor between china and the united states: could hydrogen replace fossil fuels? <https://theicct.org/publication/refueling-assessment-of-a-zero-emission-container-corridor-between-china-and-the-united-states-could-hydrogen-replace-fossil-fuels/>
23. Buttler and H. Spliethoff, (2018) Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2018, N 82 , p.2440 –2454 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.003>
24. Parkinson , P. Balcombe , J. F. Speirs , A. D. Hawkes and K. Hellgardt , Levelized cost of CO₂ mitigation from hydrogen production routes, *Energy Environ. Sci.*, 2019 N 12 , p.19 –40 doi.org/10.1039/C8EE021079E
25. S. A. Grigoriev , V. N. Fateev , D. G. Bessarabov and P. Millet Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2020, N45 , p.26036 –26058 <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.109>
26. Five lessons to learn on hydrogen as ship fuel – DNV <https://www.dnv.com › expert-story › maritime-impact>
27. Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe https://theicct.org/sites/default/files/publications/final_icct2020_assessment_of%20hydrogen_production_costs%20v2.pdf
28. Decarbonized Hydrogen in the US Power and Industrial Sectors: Identifying and Incentivizing Opportunities to Lower Emissions <https://www.rff.org/publications/reports/decarbonizing-hydrogen-us-power-and-industrial-sectors/>

Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Brazhnik I.D. GREEN HYDROGEN AS A METHOD OF DECARBONIZATION OF SHIPS

Sea navigation is the cheapest and the most common transportation mode in international trade. Its share accounts for more than 70% of transportation of various types cargo [3]. The use of the cheapest heavy fractions of oil as fuel in combination with the large dimensions of ships ensures energy efficiency of sea transportation. However, the operation of sea vessels still has a negative impact on the environment. The total shipping volume accounts for about 3% of annual global CO₂ emissions and about 13% and 15% of anthropogenic SO_x and NO_x emissions respectively [4].

There are ongoing studies to search for alternative fuels for maritime shipping in order to reduce the emissions of harmful greenhouse gases. Liquefied natural gas (LNG), which consists of over 95% methane seems to be likely solution as well as hydrogen, ammonia, methanol, ethanol, biofuel, synthetic fuel and electricity produced by solar panels. Hydrogen is the most promising of all the listed fossil fuel alternatives among those being tested today.

The article analyzes the advantages and challenges of the introduction of hydrogen as fuel in sea navigation. The products of hydrogen combustion are water and a small amount of NO_x. These features of hydrogen will allow significantly reducing carbon dioxide emissions during the vessel operation. Hydrogen can be stored in large quantities for long periods of time, which is an advantage compared to batteries that need to be recharged regularly. The efficiency of fuel cells is more than 60 percent, and under certain conditions the efficiency can get as high as 80 percent and more. Moreover, fuel cells produce no noise. Today the majority of ships can be equipped with fuel cells. The article deals with the main problems and obstacles to hydrogen storage for the marine industry. The electrolyzer, which is considered to be the most efficient for operating the vessel, has not been defined.

Green hydrogen is much more expensive compared to diesel fuel. The development of a new bunkering infrastructure is required as well as ensuring safe operation of these hydrogen carriers on board of the ship.

Key words: shipping, carbon dioxide, alternative energy, green hydrogen as fuel.

Кунда Н.Т.

Національний транспортний університет

Петрушенко Н.С.

Національний транспортний університет

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ «РІЧКА-МОРЕ» В МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Статтю присвячено дослідженню функціонування системи міжнародних вантажних перевезень в суднах змішаного плавання «річка-море», що поєднує переваги різних видів водного транспорту. Висвітлено роль та місце водного транспорту в міжнародній та вітчизняній транспортній системі. Виявлено, що більшість публікацій присвячено річковим і морським перевезенням, тому є необхідність висвітлити і такий сегмент як перевезення суднами «річка-море». Судноплавство «річка-море» охарактеризовано як особливу форму морських перевезень, яка поєднує в собі транспортування вантажу внутрішніми водними шляхами та міжнародними морськими маршрутами. Наведено географію цього виду судноплавства та номенклатуру найважливіших вантажів зовнішньої торгівлі. Відмічено особливості конструкції суден змішаного плавання та відмінність між транспортом «річка-море» та комбінованим внутрішнім і морським транспортом. Проаналізовано регулятивні вимоги, що діють у морських і внутрішніх водних шляхах, та участь України в міжнародних конвенціях, що регулюють водні перевезення у Європі. Описано переваги і недоліки цього виду транспорту. У результаті узагальнення проведеного дослідження щодо стану міжнародних перевезень вантажів у сполученні «річка-море», особливостей умов судноплавства, відмінностей у конструкції суден змішаного типу «річка-море», нюансів правових засад здійснення перевезень водними шляхами, переваг і недоліків, що впливають на попит на цей вид транспорту, зроблено SWOT-аналіз функціонування системи перевезення вантажів «річка-море». Представлено систему водного транспорту України, зокрема, сучасні розробки у галузі будівництва суден типу «річка-море». Виявлено проблеми, які стримують зростання перевезень водним сполученням територією України, та визначено шляхи підвищення ефективності цієї інтермодальної технології.

Ключові слова: водний транспорт, вантажні перевезення, судна «річка-море, умови експлуатації, екологічність, правовий режим.

Постановка проблеми. Перевезення в суднах змішаного плавання «річка-море» (river-sea ships) належать до прогресивних транспортно-технологічних систем перевезення вантажів. Ця технологія використовує переваги різних видів водного транспорту, позбавляючись від деяких їх недоліків. Такі перевезення, розпочаті в 60-ті рр. минулого століття, виявилися економічно дуже ефективними, особливо зовнішньоторговельні. Тому дослідження сучасного стану функціонування підприємств водного транспорту, зокрема, України у світовій водній транспортній системі є актуальними.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. У ряді наукових робіт та аналітичних оглядів висвітлені питання ролі у світовій торгівлі та місця в міжнародній та вітчизняній транспортній системі водного транспорту [1, 2, 3]. Відзначено, що йому належить понад 60% вантажообігу та 80% обслуговування світової торгівлі. Вказано на

динамічне зростання міжконтинентальних вантажопотоків. Стверджується, що нині водні порти не роз'єднують, а об'єднують країни.

Постановка завдання. Система водного транспорту складається з річкового і морського транспорту. До складу кожного виду входить багато елементів: судна, порти, канали, інфраструктура тощо. У більшості публікацій описано стан розвитку річкових і морських перевезень. Однак існує необхідність виокремити і такий сегмент як перевезення суднами «річка-море», який постійно розвивається та створює сприятливі умови для зв'язку по водних шляхах не тільки країн Західної Європи, але й України, Азербайджану, Казахстану, Туркменії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Судноплавство «річка-море» – це особлива форма морських перевезень, яка поєднує в собі транспортування вантажу внутрішніми водними шляхами та міжнародними морськими маршру-

тами. Це і є головною особливістю даного виду судноплавства. Перевагою цього виду судноплавства є виключення витрат на перевантаження в морських портах (економія часу та коштів) і переваги в якості, оскільки товари більше не перевантажуються в морських портах і, таким чином, мінімізуються пошкодження в процесі перевантаження.

Судноплавство «річка-море» здійснюється по всіх великих річках Європи, які мають сполучення з відкритим морем (рис. 1). Взагалі район плавання суден типу «річка-море» охоплює північне та середземноморське узбережжя Європи та Північної Африки, північне та далекосхідне узбережжя Кореї, Китаю, Японії. Найбільш розвинутий цей вид судноплавства у Швеції, Фінляндії, країнах Балтії, Великобританії, Нідерландах, Бельгії, Німеччині, Франції, Португалії, Іспанії, Італії, Румунії; у південних країнах Марокко, Алжирі, Туреччині; за межами ЄС – в Україні та Росії. Найбільше перевозиться вантажів водним транспортом у Великобританії. Загалом в Євросоюзі транспортом «річка-море» перевозиться майже 64 млн тонн вантажів. На квітень 2021 року у світі працювало близько 28 тис. ван-

тажних суден із дедвейтом до 5 тис. тонн та від 5 до 10 тис. тонн.

Судна змішаного плавання «річка-море» широко використовуються при перевезеннях вантажів зовнішньої торгівлі. Найважливіші з них: нафтопродукти, лісоматеріали, мінеральна сировина, зерно, вугілля, сільськогосподарська продукція, металеві вироби. Найбільшу частку серед вантажів займають сира нафта, вугілля, руда. Безперевантажні експортно-імпортні перевезення приносять високі доходи і є помітним джерелом валютних надходжень.

Вантажі, що йдуть з морського порту в річковому або у зворотному напрямку, перевозять у спеціальних суднах, призначених для безперевантажних перевезень вантажів і пристосованих для плавання в морських та річкових умовах (рисунки 2, 3). Судна змішаного плавання мають різні технічні та експлуатаційні характеристики, які залежать від призначення судна та району його плавання. Більшість теплоходів експлуатується майже цілий рік. У навігацію вони здійснюють безперевантажувальні перевезення між морськими і річковими портами, а міжнавігаційний період працюють на морських лініях.

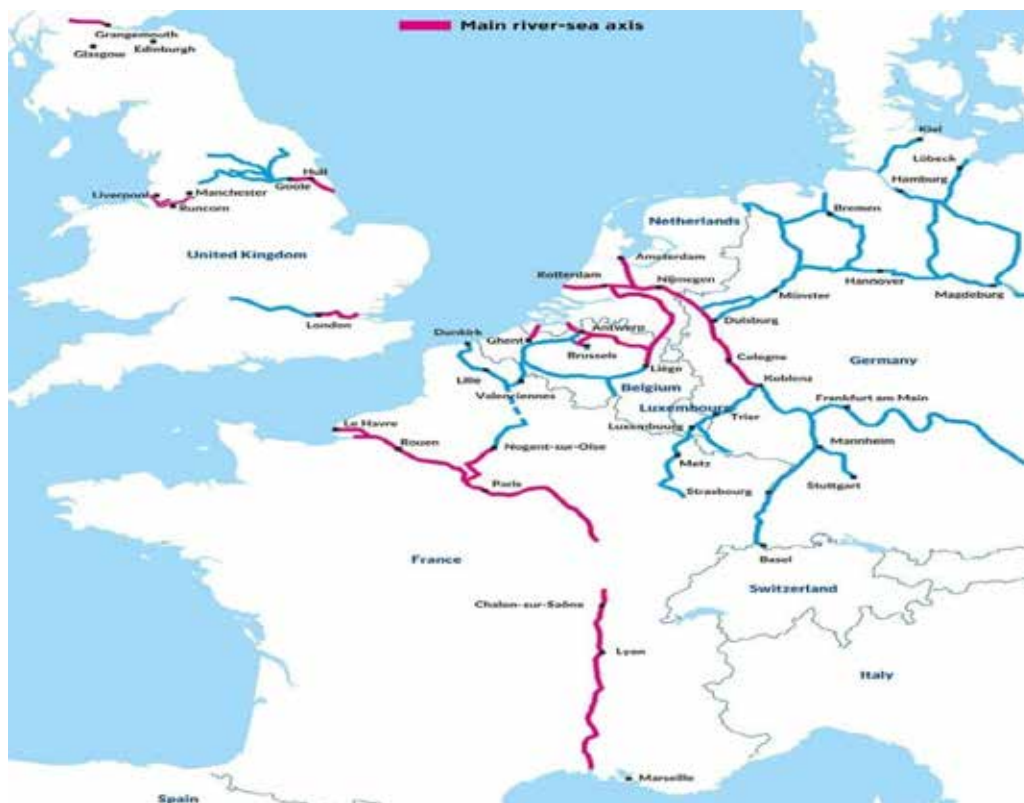


Рис. 1. Карта річкових маршрутів Європи

Джерело: за даними [4]



Рис. 2. Суховантаж класу «річка-море» СС1700

Джерело: за даними [5]



Рис. 3. Танкер класу «річка-море»

Джерело: за даними [5]

Судна змішаного плавання часто поділяють на два типи:

1 – «річка-море» – з переважним базуванням у внутрішніх водах і обмеженням мореплавства в морських умовах;

2 – «море-ріка» – судна морського базування з малою осадкою, здатні, завдяки цьому, заходити в гирла річок і підніматися вгору за течією до тих пір, поки дозволяють глибини та габарити суднового ходу.

Конструкції суден змішаного плавання мають певні особливості. Корпус має відповідати ряду суперечливих вимог: як у річкового судна, корпус повинен мати невелике осідання при обмеженій ширині та довжині, що обумовлені габаритами шлюзів і каналів, через які необхідно проходити при перетині вододілів річок та морських акваторій; як у морського судна, корпус повинен забезпечувати хорошу стійкість та достатню жорсткість для плавання на морському хвилюванні (рис. 4).

Морські судна, які здійснюють перевезення «річка-море», призначені для плавання як внутрішніми водними шляхами, так і морем без перевалки в морському порту. Вони отримують номер Міжнародної морської організації (*IMO – International Maritime Organization*). Тому вони мають відповідати умовам обох середовищ функціонування, відповідати конкретним правилам класифікації та будуватися під наглядом визнаного класифікаційного товариства відповідно до його класифікаційних вимог.

Крім того, вони повинні відповідати регулятивним вимогам, що діють у морських і внутрішніх водних шляхах (*IWW – inland waterway*). Технічні правила, пов'язані з обладнанням і безпекою суден, урегульовані в директиві ЄС, яка застосовується до всіх IWW в Європі (Директива ЄС 2016/129, що встановлює технічні вимоги для суден внутрішнього плавання). Однак морським суднам із статутними сертифікатами відповідності технічним вимогам щодо конструкції, обладнання та навколишнього середовища, таких як SOLAS (*International Convention for the Safety of Life at Sea – Міжнародна конвенція з охорони життя на морі*), або вантажна марка LL (*Load line*), або MARPOL (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships – Міжнародна конвенція по запобіганню забрудненню*

моря від суднами), дозволено працювати в приливних водах або тимчасово на IWW ЄС (Стаття 2 Директиви ЄС 2016/129) без дотримання технічних вимог, передбачених цією Директивою ЄС. За межами Рейну, якщо ці вимоги виконуються, судно «річка-море» може плавати внутрішніми водними шляхами до точки, де умови судноплавства вже просто не дозволяють йому йти далі (залежно від водних шляхів і характеристики кораблів).

Правовий режим міжнародних внутрішніх водних перевезень у Європі регулюється також Європейською угодою про найважливіші водні шляхи міжнародного значення 1996 р. УМВШ (Україна приєдналася до Угоди 28.09.2009 р.) та Будапештською конвенцією про договір перевезення вантажів внутрішніми водними шляхами 2001 р. КПВВ, відомою як Будапештська конвенція (чинна для України з 01.01.2015 р.), а також угодами придунайських країн. Слід відмітити, що у сферу дії Будапештської конвенції потрапляють не тільки перевезення внутрішніми водними шляхами, але й перевезення у змішаному плаванні «річка-море», коли частина маршруту проходить морськими акваторіями.

Крім нормативних і законодавчих вимог, умови судноплавства «річка-море» також відрізняються між країнами і значною мірою залежать від географічного положення, району плавання, інфра-

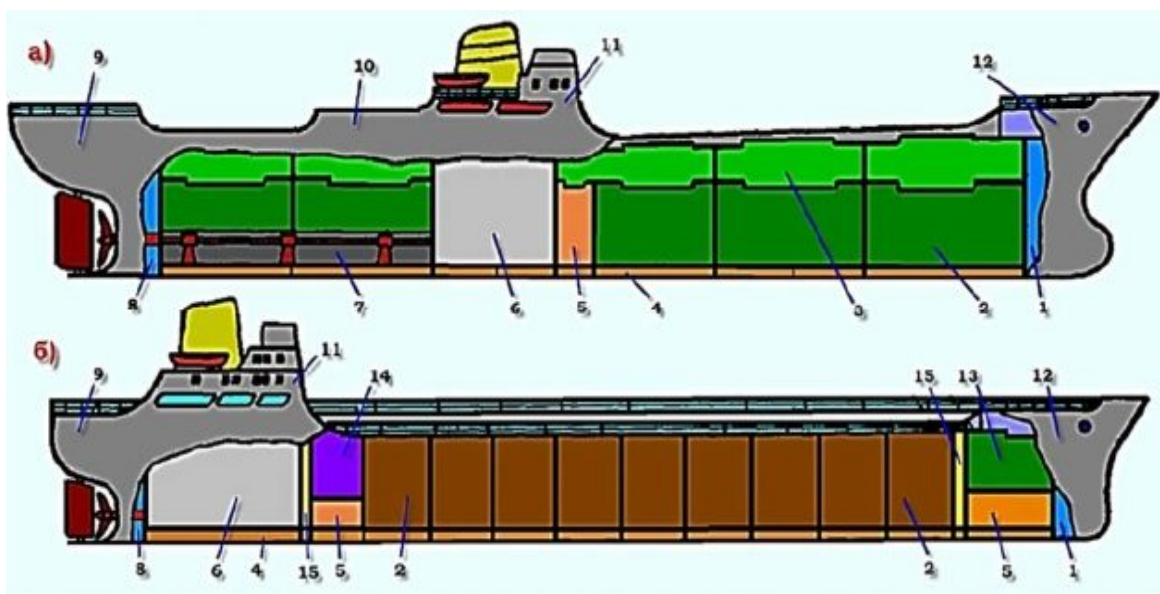


Рис. 4. Схема конструкції судна типу «річка-море»:

- а) суховантажне судно; б) танкер.
 1 – форпік; 2 – вантажні трюми (танки); 3 – твіндек; 4 – подвійне дно; 5 – диптанк;
 6 – машинне відділення; 7 – тунель гребного валу; 8 – ахтерпік; 9 – ют;
 10 – середня надбудова; 11 – рубки; 12 – бак; 13 – суховантажний трюм;
 14 – насосне відділення; 15 – кофердам

Джерело: за даними [5]

структури водних шляхів і погодних умов. Дійсно, судна типу «річка-море» часто проектується для експлуатації в певному районі плавання і повинні відповідати вимогам щодо довжини та ширини, а також обмеженням по осадці та висоті, характерним для регіону, де вони працюють. Наприклад, морські судна, що плавають внутрішніми водними шляхами Сайми (це система озер у Фінляндії), повинні мати льодовий клас.

Перевезення річка-море, що здійснюються морськими суднами, не слід плутати з транспортними операціями, що поєднують внутрішній і морський транспорт і вимагають перевантажувальних операцій між ними (рис. 5).

Вагома перевага судноплавства річка-море полягає у відсутності перевалки в морських портах. Це сприяє зниженню транспортних витрат, економії часу (завдяки уникненню можливих заторів і пов'язаних із цим затримок у морському порту) і зниженню ризику пошкодження товарів у результаті додаткового перевантаження. Таким чином, річково-морське судноплавство добре пристосоване для перевезення крихких вантажів, товарів, які потрібно транспортувати в дуже суворих «умовах непошкодження» (навіть певних металів і металевих виробів), а також так званих проектних вантажів (це надгабаритні та важковажові вантажі і обладнання).

Ще одна перевага цього виду транспорту полягає в його унікальному ринковому діапазоні, що дозволяє морським суднам з'єднувати заморські пункти призначення з місцями, досить віддале-

ними від глибини території країни. Дійсно, зараз доступний широкий вибір суден різного розміру та місткості, причому найновіші кораблі часто характеризуються меншою осадкою, що дозволяє їм плавати далі у глибині країни. Наприклад, з порту Дуйсбург деякі судна типу «річка-море» можуть перевозити проектний вантаж до Піренейського півострова та Касабланки без перевантаження.

Крім того, це екологічно чистий вид транспорту. До прикладу, річкове судно витрачає в 3-3,5 рази менше енергії, ніж вантажний автомобіль при перевезенні порівнянних обсягів вантажу. За словами головних учасників сектору «річка-море», ці екологічні міркування та політична підтримка переходу на більш екологічні види транспорту можуть позитивно вплинути на попит на цей вид транспорту. У розвинених країнах екологічні характеристики таких суден постійно удосконалюються завдяки науково-технічним розробкам та державному регулюванню.

Однак, як пояснювалося вище, судна типу «річка-море» повинні бути пристосовані для навігації на ІВВ, а судноплавство «річка-море» залежить від стану внутрішнього судноплавства, відповідної інфраструктури та рівня води. Належний розвиток і підтримка інфраструктури внутрішніх водних шляхів (зокрема, увага до старіння мостів і шлюзів) і самих водних шляхів є найважливішими для нормального функціонування річково-морського транспорту. Як і у випадку виключно внутрішнього водного транспорту, відсутність

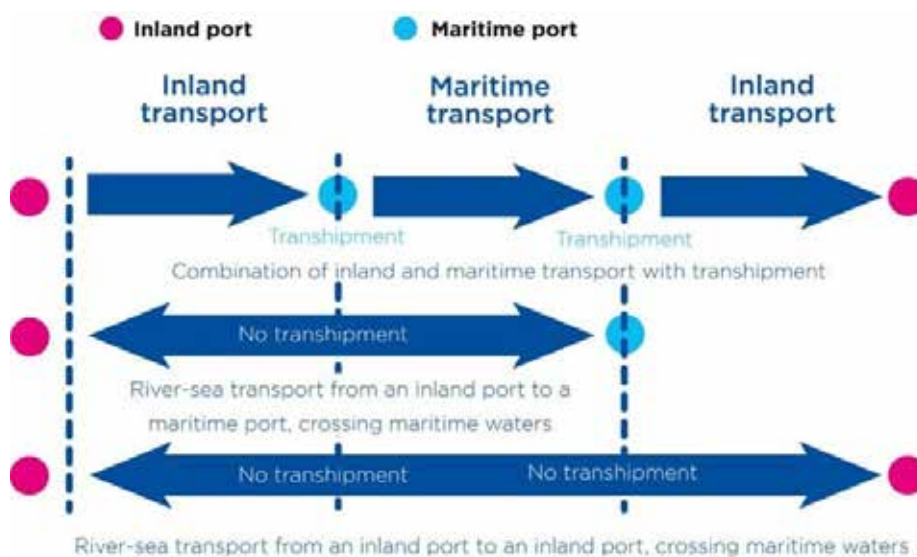


Рис. 5. Відмінність між транспортом «річка-море» та комбінованим внутрішнім і морським транспортом

Джерело: за даними [4]

передбачуваності річково-морського транспорту (наприклад, коливання фрахтових ставок) і надійності (через затримки, коливання рівня води) може негативно вплинути на попит на цей вид транспорту. Таким чином, важливою проблемою для судноплавства річка-море є підтримання певного балансу, його здатність надавати транспортні послуги протягом усього року та за будь-яких погодних умов.

Судна «річка-море» також обмежені у своїй місткості під час навігації внутрішніми водними шляхами, що ускладнює таким морським суднам реалізацію ефекту масштабу. Крім того, судна «річка-море» більш важкі за конструкцією і мають менший об'єм водотоннажності при однаковій осадці, ніж судна внутрішнього плавання. До того ж, судноплавство «річка-море» часто конкурує з поєднанням морського та внутрішнього водного транспорту, що включає перевантаження, зокрема, коли тарифи на обробку та фрахт внутрішніми водними шляхами низькі. Судна «річка-море» також дорогі у будівництві та експлуатації. З усіх цих причин судноплавство «річка-море» знаходить своє економічне обґрунтування в дуже конкретних сегментах і маршрутах.

Додаткові проблеми, з якими стикається транспорт «річка-море», також були визна-

чені за даними поважної агенції CCNR (*Central Commission for the Navigation of the Rhine*):

- старіючий флот: близько половини річково-морського флоту старше 25 років; близько третини флоту – не менше 15 років. Для компаній, які нещодавно не інвестували у свій флот, інвестиції в новий флот, як правило, розглядаються або схвалюються для оновлення старіючого флоту через дефіцит суден «річка-море» у світлі зростаючого попиту на них або для інвестування в нові двигуни. А високі витрати, пов'язані з новими суднами типу «річка-море», можуть стати перешкодою.

- мова: англійська – не прийнята на всіх внутрішніх водних шляхах.

- загальний брак знань про річково-морський транспорт [4].

У результаті узагальнення проведеного дослідження щодо стану міжнародних перевезень вантажів у сполученні «річка-море», особливостей умов судноплавства, відмінностей у конструкції суден змішаного типу «річка-море», нюансів правових засад здійснення перевезень водними шляхами, переваг і недоліків, що впливають позитивно і, відповідно, негативно на попит на цей вид транспорту, складено таблицю – своєрідний SWOT-аналіз функціонування транспортно-технологічної системи перевезення вантажів «річка-море» (табл. 1).

Таблиця 1

SWOT-аналіз функціонування системи «річка-море»

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> – Конкурентоспроможна послуга вищої економічної ефективності та вартості – Економія на транспортуванні вантажів від місця відправлення до кінцевого призначення – Відсутність перевалки вантажів для клієнтів – Короткий час транспортування – Поєднання короткого морського судноплавства та внутрішнього судноплавства. Оптимізація маршруту доставки вантажів – Наявність широкого асортименту суден різного розміру та місткості. – Зменшення збитків під час транспортування – Високі стандарти безпеки / вимог судноплавства. – Стійкий рекорд щодо низьких викидів та високої енергоефективності. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вікова структура річково-морського флоту (старіючий флот) – Обмеження щодо районів судноплавства, пір року, погодних умов та льоду – Обмеження технічних параметрів суден річками, каналами, шлюзами та мостами – Обов'язкова відповідність міжнародним конвенціям SOLAS 74, MARPOL та національним законодавчим актам. Необхідність в гармонізації правових вимог міжнародних та національних нормативних документів – Високі витрати на будівництво нових суден та об'єктів берегового господарства – Мова: англійська – не прийнята при діловому спілкуванні у річковому суднопластві – Недосконале законодавство у сфері внутрішнього судноплавства.
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> – Нові інноваційні типи суден річка-море. – Проектні перевезення негабаритних та великовагових вантажів та обладнання. – Впровадження нових логістичних ланцюжків. – Автоматизації бортових систем суден системи «річка-море» – Удосконаленої навігаційної системи перевезень водними шляхами – Цифровізація процесу інтеграції в ланцюжок поставок. 	<ul style="list-style-type: none"> – Під сумнівом передбачуваність транспортування через коливання рівня води – Важкі умови дотримання принципу «точно вчасно» через велику різницю в доступності річкових портів – Відсутня, застаріла або нерозвинута інфраструктура – Брак кваліфікованого персоналу на водних шляхах. – Брак знань про річково-морський флот – Мінливість ринків вантажних перевезень водними шляхами.

Джерело: узагальнено за даними [6] та доповнено авторами

Система водного транспорту України представлена річковим та морським транспортом. Використовуються водні шляхи Дніпра, Дунаю, Південного Бугу та акваторії Азовського моря (тимчасово захоплена) та Чорного моря (частково втрачена). На жаль, величезний потенціал р. Дніпро майже не використовується: порівняно із 1990 р. обсяги перевезень вантажів скоротилися більш ніж у 20 разів і складають 2,8 млн тонн, а інфраструктура річкових причалів не відповідає сучасним міжнародним технічним характеристикам та стандартам і використовується лише на 5-10% від своєї пропускної спроможності. І це при тому, що одне робоче місце в галузі сприяє створенню 4-5 робочих місць у суміжних сферах [7].

Транспортні судна «річка-море» належать відомим судноплавним компаніям: Акціонерній судноплавній компанії (АСК) «Укррічфлот», Приватному акціонерному товариству «Українське Дунайське пароплавання» (ПрАТ «УДП»), *KDM ShippingPublic Ltd* (Кіпр) – холдинговій компанії судноплавного оператора ТОВ «Столична судноплавна компанія» (Київ), групі ТОВ СП «НІБУЛОН».

До початку агресії РФ в Україні працювало понад 30 суднобудівних і судноремонтних підприємств та більше 10-ти науково-дослідних закладів. Зокрема, на верфі «Дунайсудносервіс» в Ізмаїлі у 2019 році збудували дві 80-метрові баржі для компанії «Грейн-Траншипмент». Ще дві однотипні баржі збудовані у 2020 році. Ізмаїльські підприємства «Дунайсудносервіс»

та «Дунайсудноремонт» розпочали будівництво 128-метрової баржі для Світловодського річкового терміналу, що входить до холдингу «АгроВіста». Це найбільша баржа в історії компанії: її вантажопідйомність становить 6000 тонн, подібних барж в Україні раніше не будували (рис. 6). Баржа проекту D-6000 відноситься до типу «річка-море» і призначена для перевезення зернових вантажів, для чого оснащена люками та відповідними механізмами. У вересні 2020 року агропромислова компанія ТОВ СП «Нібулон» ввела в експлуатацію 140-метрове судно-перевантажувач. Це найдовше судно, збудоване за період незалежної України. Дві найдовші баржі компанії – проекту B5000 – мають довжину 101 м.

За наявності значного потенціалу все ще існує ряд проблемних питань, які стримують зростання перевезень водним сполученням територією України:

1. Відсутня (або недосконала, застаріла, нерозвинута) державна інфраструктура (а саме шлюзи, навігація, габаритно-судовий хід), яка не забезпечує ефективну логістику, в тому числі повноцінну участь водних видів транспорту в мультимодальних перевезеннях.
2. Недостатня приватна інфраструктура (тобто термінальні комплекси, мультимодальні логістичні центри тощо).
3. Старіння існуючого водного флоту та дефіцит сучасного вантажного та технічного флоту.

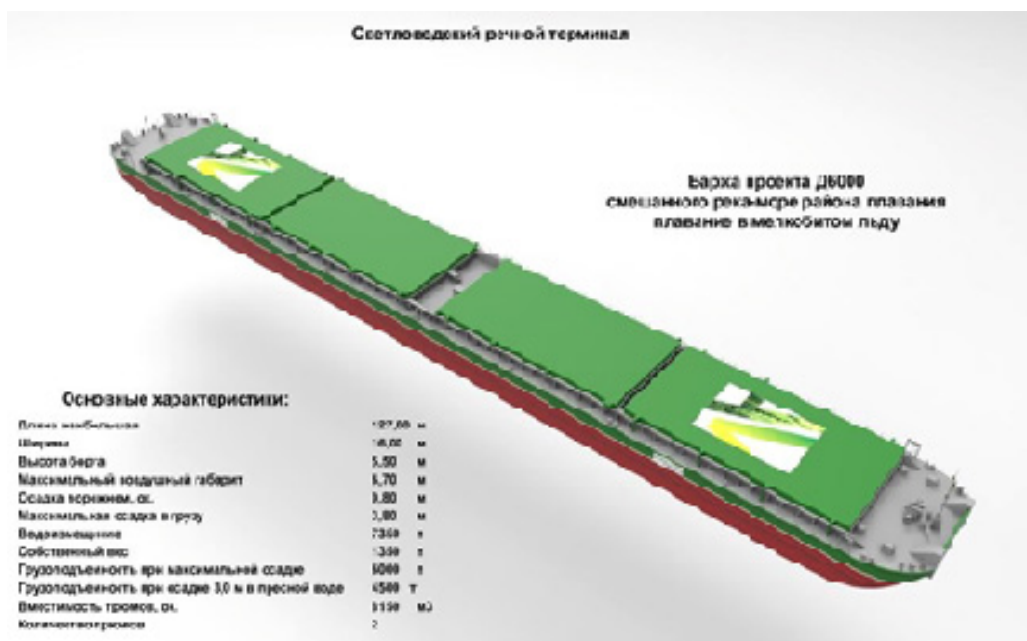


Рис. 6. Баржа D-6000 типу «річка-море»

Джерело: за даними [5]

4. Брак кваліфікованого персоналу на внутрішніх водних шляхах, незважаючи на існування широкої мережі спеціалізованих закладів освіти.

5. Відсутність закону про внутрішній водний транспорт; недосконале законодавство, що не забезпечує чітке регулювання відносин між учасниками транспортного процесу та не сприяє привабливості інвестиційного клімату.

6. Відсутність механізму гарантованого фінансування галузі (до прикладу, морські перевезення в державі регулюються Кодексом торговельного мореплавства 1995 р.).

7. Відсутність системного державного управління галуззю, неузгодженість в роботі суміжних відомств.

8. Роздержавлення на річковому транспорті, що призвело до дезінтеграції пароплавств, які набули статусу акціонерних судноплавних компаній.

9. Неконкурентні умови роботи у порівнянні з іншими видами транспорту, зокрема, надмірне податкове навантаження та відсутність гарантованого бюджетного фінансування.

10. Відсутність чіткого розподілу відповідальності за утримання та розвиток внутрішніх водних шляхів (як приклад, річка Дніпро закрита для вільного проходження суден під іноземним прапором без відповідного одноразового дозволу, а також для роботи іноземного флоту між портами України (тобто каботаж) без дозволу на каботажні перевезення, що тягне за собою ненадходження значних коштів до державної скарбниці) [6].

Попри наявність наведених стримуючих факторів багато досліджень і дискусій вказують шлях у майбутнє внутрішнього судноплавства та морського судноплавства. Але вони вимагають автоматизації всіх основних бортових систем і вдосконаленої навігаційної системи, яка зможе підтримувати курс судна, виявляти та адаптуватися до мінливих умов моря та погоди, уникати зіткнень і ефективно керувати судном у заданих параметрах безпеки. Для перевезень «річка-море» це буде довший шлях, ніж для морських перевезень, але цифровізація допоможе зменшити витрати, краще інтегрувати його в ланцюжок поставок і дати більше можливостей для перевезень в майбутньому.

Україна підписала Угоду про асоціацію з ЄС, тим самим взявши на себе зобов'язання щодо розвитку внутрішнього водного транспорту, а саме, щодо включення річкового транспорту в систему мультимодальних перевезень та розробку мережі пріоритетних водних транспортних маршрутів. Зокрема, перспективною є участь України у від-

родженні міжнародної водної магістралі E-40, що має створити можливості експорту української продукції на нові ринки, скоротити логістичні витрати, принести додаткові доходи транспортному сектору України.

Висновки. Річково-морські перевезення зробили можливим впровадження нової інтермодальної технології у внутрішніх районах, зокрема, з новими внутрішніми терміналами та відповідними інвестиціями в інфраструктуру вздовж водних шляхів. Деякі річкові порти здатні грати роль регіональних розподільчих центрів. Особливо це стосується Західної Європи (Бельгія, Німеччина, Франція, Нідерланди, Англія) та країн навколо Балтійського моря (Швеція, Фінляндія), де річково-морські судна мають обмеження по вазі від 1000 до 3000 тонн. Однак річково-морське судноплавство має обмеження в масштабах свого функціонування і, отже, має опиратися на підтримку нішевих торговельних можливостей і фідерних послуг.

Якщо географічні та ринкові умови підходять, то можна використовувати річковий зв'язок із об'єднанням або поділом вантажів у морських портах. За допомогою річково-морського судноплавства можна обійти морські порти та перейти безпосередньо з річкового порту до іншого. Крім цього, основні переваги можуть бути пов'язані з уникненням перевантажених автомобільних доріг і морських портів. Основна складова економічного ефекту від використання суден змішаного плавання – це відсутність затрат на перевалку вантажів у гирлових портах. Це сприяє прискоренню доставки вантажу від продавця до покупця і забезпеченню більшої схоронності вантажу через відсутність перевантажувальних і складських операцій.

Флот річково-морського судноплавства має високий середній вік і потребує реконструкції та нового будівництва суден. Тому інфраструктурні проблеми, викликані відсутністю модернізації та обслуговування, та мінливі ринки ставлять під загрозу успіх провадження річково-морського судноплавства на цих ринках.

Тим не менш, судноплавство має можливість і може сприяти розвантаженню дорожньої та залізничної інфраструктури, а також більшій екологічності транспортної системи в майбутньому, якщо галузь буде отримувати державні та міжнародні інвестиції. Перспективи використання суден змішаного плавання для внутрішніх і міжнародних перевезень великі, і капітальні вкладення швидко окупляться. Завдяки високій економічності вантажні перевезення у змішаному плаванні «річка-море» знаходять широке застосування у міжнародних транспортно-економічних зв'язках.

Список літератури:

1. Тимченко Н.М., Кузьменко О.Ю., Кузьменко В.С. Аналіз сучасного стану функціонування підприємств водного транспорту України та світу. *Причорноморські економічні студії*. Випуск 64. 2021. С. 73-78. <https://doi.org/10.32843/bses.64-12>
2. Акімов О.В. Державне регулювання транспортних перевезень. *Інвестиції: практика та досвід*. Випуск 4. 2021. С. 108-111. URL: http://www.investplan.com.ua/pdf/10_2011/29.pdf
3. Використання внутрішнього водного транспорту в логістичних системах URL: https://stud.com.ua/23470/logistika/vikoristannya_vnutrishnogo_vodnogo_transportu_logistichnih_sistemah
4. Транспорт «річка-море» в Європі. URL: https://inland--navigation--market-org.translate.google.com/chapitre/2-river-sea-transport-in-europe-the-case-of-seagoing-ships-navigating-on-inland-waterways/?lang=en&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc
5. Схема конструкції судна типу «річка-море». URL: <https://sea-man.org/konstruksii-korpusa-sudna.html>
6. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF RIVER-SEA-TRANSPORT. URL: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/workshops/wrshp110919/07_RUebachs_en.pdf
7. Інформація про водний транспорт України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-vodniy-transport-ukraini.html>

Kunda N.T., Petrushenko N.S. FEATURES OF THE FUNCTIONING OF “RIVER-SEA” CARGO TRANSPORTATION SYSTEM IN THE INTERNATIONAL TRAFFIC

The article is devoted to the study of the functioning of the system of international cargo transportation in vessels of mixed navigation «river-sea» that combines the advantages of various types of water transport. The role and place of water is highlighted transport in the international and domestic transport system. It was found that the majority of publications are devoted to river and sea transportation, therefore there is a need to highlight such a segment as transportation by «river-sea» vessels. Shipping «river-sea» is characterized as a special form of sea transportation, which combines cargo transportation by inland waterways roads and international sea routes. The geography of this type of shipping and the nomenclature of the most important foreign trade cargoes are given. Features of the design of mixed navigation vessels and the difference between river-sea transport and combined inland and sea transport. Regulatory requirements operating in sea and inland waterways and Ukraine's participation in international conventions regulating water transportation in Europe are analyzed. The advantages and disadvantages of this type of transport are described. As a result of the generalization of the conducted research on the state of international cargo transportation in the «river-sea» connection, the peculiarities of shipping conditions, differences in construction vessels of the mixed «river-sea» type, nuances of the legal basis of water transportation, advantages and disadvantages affecting the demand for this type of transport, a SWOT analysis of the operation of the «river-sea» cargo transportation system was made. The water transport system of Ukraine is presented, in particular, modern developments in the field of construction of «river-sea» vessels. The problems that hold back the growth of water transportation through the territory of Ukraine are identified, and ways to improve the efficiency of this are identified intermodal technology.

Key words: water transport, cargo transportation, «river-sea» vessels, operating conditions, environmental friendliness, law regime.

УДК 629.463.62

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/24>**Ловська А.О.**

Український державний університет залізничного транспорту

Рибін А.В.

Український державний університет залізничного транспорту

Агапов Є.Д.

Український державний університет залізничного транспорту

Гусак Д.О.

Український державний університет залізничного транспорту

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З ПІДЛОГОЮ ІЗ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ

Для зменшення динамічної навантаженості вагона-платформи при експлуатаційних режимах запропоновано використання сендвіч-панелей у якості складових несучої конструкції, а саме, настилу підлоги. Особливістю сендвіч-панелей є те, що вони складаються з двох металевих листів між якими знаходиться енергопоглинальний матеріал з пружно-фрикційними властивостями.

З метою обґрунтування запропонованого удосконалення проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи. До уваги прийнято поступальні переміщення вагона-платформи відносно вертикальної осі – коливання підсакування, як найбільш поширений тип коливань вагона у експлуатації.

Розрахунок здійснено на прикладі вагона-платформи моделі 13-401. Враховано, що вагон-платформа складається з чотирьох тіл: рама, два візки та вантаж, розміщений на рамі. Вантаж розглянуто як умовний з використанням повної корисної вантажопідйомності вагона-платформи.

При проведенні розрахунків враховано, що колія має пружні характеристики. Розв'язок математичної моделі здійснено в програмному комплексі MathCad. Результати проведених розрахунків довели, що використання сендвіч-панелей у якості складових конструкції вагона-платформи сприяє зменшенню її динамічної навантаженості на 7,2% у порівнянні з типовою конструкцією. Прискорення, які діють на вантаж, розміщений на вагоні-платформі, на 10,2% нижче за ті, що діють на нього з урахуванням типової схеми сприйняття навантажень.

Важливо сказати, що запропоновані рішення щодо конструкційного удосконалення вагона-платформи є доцільними не тільки на стадії виготовлення, а і модернізації вагонів-платформ.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій залізничних транспортних засобів та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

Ключові слова: транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, сендвіч-панель, динамічна навантаженість.

Вступ. Національна транспортна стратегія до 2030 року виділяє розвиток рухомого складу як один з найважливіших напрямків розвитку залізниць України. Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних конструкцій рухомого складу з покращеними техніко-економічними та експлуатаційними показниками. Крім того, конструкція такого рухомого складу повинна забезпечувати можливість зменшення витрат на його утримання.

Найбільш поширеним типом вагону у міжнародному сполученні є вагон-платформа. Його несуча конструкція представлена рамою. В процесі експлуатації вона випробовує циклічні знакозмінні навантаження, які сприяють погіршенню втомної міцності. Тому одним з актуальних питань при проектуванні сучасних конструкцій вагонів, в тому числі вагонів-платформ, є зменшення їх динамічної навантаженості в експлуатації. Це сприяло би покращенню їх втомної міцності, зменшенню витрат на утримання, забезпеченню схоронності перевозимих вантажів тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання визначення динамічної навантаженості, міцності та удосконалень несучих конструкцій вагонів-платформ на даний час є досить поширеними. Так, наприклад, в роботі [1] наведено результати моделювання міцності несучої конструкції вагона-платформи. Особливість вагона полягає у тому, що він має понижену середню частину рами. Розрахунок на міцність реалізовано за методом скінчених елементів. Отримані результати підтверджені експериментальними дослідженнями, проведеними на базі Болгарського національного науково-дослідницького інституту. Однак в роботі не зазначено чи покращується втомна міцність несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням запропонованих технічних рішень.

Особливості випробувань на кручення та згин несучої конструкції вагона-платформи висвітлюються в публікації [2]. Дослідження проведені експериментальним шляхом. Для визначення прогину несучої конструкції вагона-платформи використано метод електричного тензометрування. Однак комплекс випробувань, які використовують автори не висвітлює особливостей розрахунку на втомну міцність несучої конструкції вагона-платформи. Це може сприяти значній похибці отриманих результатів.

В статті [3] розглянуто конструкційні особливості вантажного вагона нового покоління для інтермодальних перевезень. Просторова модель несучої конструкції вагона-платформи спроектована в програмному комплексі PTC/Creo. Розрахунок на міцність здійснено в програмах ANSYS та ADAMS/Rail.

Конструкційні особливості довгобазного вагона-платформи для інтермодальних перевезень зазначено в статті [4]. Наведено результати розрахунку на міцність та динамічну навантаженість несучої конструкції вагона-платформи.

Однак в даних роботах не запропоновано рішень, спрямованих на зменшення динамічної навантаженості вагона-платформи.

Моделювання міцності несучої конструкції вагона-платформи для інтермодальних перевезень різних транспортних засобів проводиться у роботі [5]. При цьому розрахунки здійснено на основі стандартів PN-EN.

В роботі [6] висвітлюються особливості проектування, аналізу та проектної розробки залізничних вагонів нового покоління. Дослідження проведено для Індійської залізниці. При цьому використані міжнародні стандарти для різних

умов завантаження, дотримання оптимальних габаритів вагонів тощо. Однак при проектуванні даних конструкцій вагонів не враховано заходів щодо покращення втомної міцності при експлуатаційних режимах навантаження.

Дослідження динамічної навантаженості несучої конструкції вагона проводиться у роботі [7]. До уваги прийнято випадок використання різних типів візків під вагонами. Проведено аналіз впливу технічних характеристик візків на динамічні показники вагона. При цьому в роботі не проводилося дослідження впливу технічних характеристик візків на втомну міцність несучих елементів вагонів.

В публікації [8] запропоновано конструкцію довгобазного вагона-платформи з пружно-фрикційними складовими в рамі. Проведені розрахунки динамічної навантаженості, міцності, а також втомної міцності довели, що таке удосконалення є доцільним. Разом з цим впровадження пружно-фрикційних складових в раму вагона-платформи ускладнює процес його технічного обслуговування та ремонту.

Отже, проведений аналіз останніх літературних джерел за тематикою дослідження доводить, що питання удосконалень несучої конструкції вагона-платформи для зменшення динамічної навантаженості в експлуатації є актуальними.

Мета та основні завдання статті. Метою статті є наукове обґрунтування впровадження сендвіч-панелей в несучу конструкцію вагона-платформи. Для досягнення зазначеної мети визначені такі завдання:

- сформувати математичну модель динамічної навантаженості вагона-платформи з підлогою із сендвіч-панелей у вертикальній площині;
- визначити прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи та вантаж, розміщений на ньому.

Виклад основного матеріалу. Для зменшення впливу динамічних навантажень на міцність несучої конструкції вагона-платформи, а також схоронність вантажів, що перевозяться на ньому, пропонується виготовлення підлоги із сендвіч-панелей. Особливістю сендвіч-панелі є те, що вона складається з двох металевих листів між якими знаходиться енергопоглинальний матеріал з пружно-фрикційними характеристиками (рис. 1). Використання сендвіч-панелі у якості проміжного адаптера між рамою вагона та вантажем, буде сприяти поглинанню динамічних навантажень, які виникають при коливаннях підскакування та зменшувати їх вплив на вантаж.

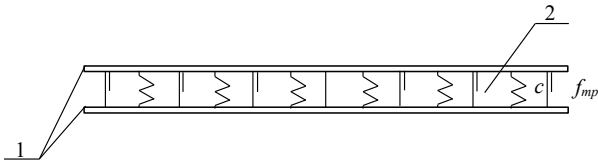


Рис. 1. Конструкційна схема сендвіч-панелі
1 – металеві листи; 2 – матеріал з пружно-фрикційними властивостями

Для обґрунтування запропонованого рішення здійснено математичне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи у вертикальній площині. Розрахункова схема вагона-платформи наведена на рис. 2.

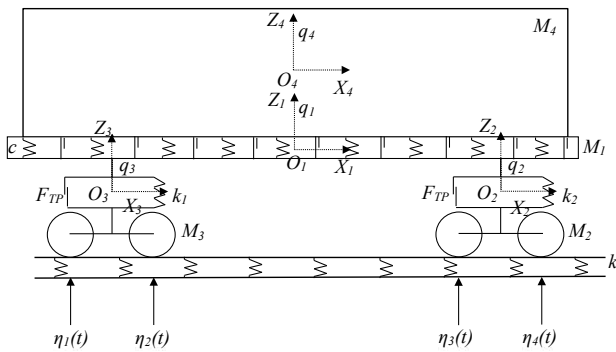


Рис. 2. Розрахункова схема вагона-платформи

Розрахунок здійснено на прикладі вагона-платформи моделі 13-401 (рис. 3 [9]).



Рис. 3. Вагон-платформа моделі 13-401

Враховано, що вагон-платформа складається з чотирьох тіл: рама, два візки та вантаж, розміщений на рамі. Вантаж розглянуто як умовний з використанням повної корисної вантажопідйомності вагона-платформи. При проведенні розрахунків враховано, що колія має пружні характеристики [10].

Система диференціальних рівнянь руху вагона-платформи має вигляд

$$\begin{cases} M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{1,2} \cdot \dot{q}_2 + C_{1,3} \cdot \dot{q}_3 = -F_{TP} \cdot (\text{sign}(\delta_1) + \text{sign}(\delta_2)) + F_z, \\ M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{2,2} \cdot \dot{q}_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\delta_1) + k(\eta_1 + \eta_2), \\ M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot \dot{q}_1 + C_{3,3} \cdot \dot{q}_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = F_{TP} \cdot \text{sign}(\delta_2) + k(\eta_3 + \eta_4), \\ M_4 \cdot \ddot{q}_4 = M_4 \cdot g - F_z, \end{cases} \quad (1)$$

де M_1 – маса несучої конструкції вагона-платформи; M_2, M_3 – маса, відповідно, першого та другого візка; C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин ресорного підвішування k_T ; k – жорсткість колії; B_{ij} – дисипативні коефіцієнти; F_{TP} – сила тертя у ресорному комплекті візка; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; η_i – нерівність колії; F_z – сила, що виникає при переміщенні вантажу відносно рами вагона-платформи.

Сила, що виникає при переміщенні вантажу відносно рами вагона-платформи визначається

$$F_z = c \cdot (q_1 - q_4) + f_{mp} (\text{sign}(\dot{q}_1) - \text{sign}(\dot{q}_4)), \quad (2)$$

де c – жорсткість енергопоглинального матеріалу; f_{mp} – коефіцієнт тертя.

Розв’язок системи диференціальних рівнянь (1) здійснено в програмному комплексі MathCad [11, 12]. Початкові умови прийняті рівними нулю [13, 14]. Результати розрахунків наведено на рис. 4–6. Встановлено, що максимальні прискорення, які діють в центрі мас вагона-платформи, виникають в момент проходження ним рейкової нерівності і дорівнюють $6,5 \text{ м/с}^2$ (рис. 4).

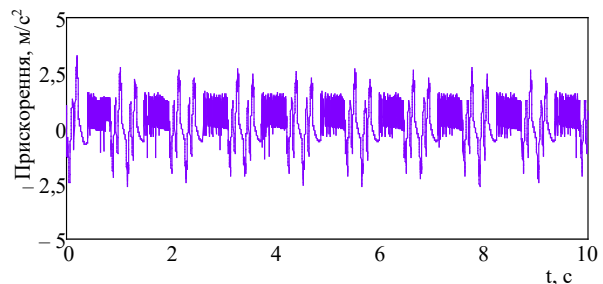


Рис. 4. Прискорення вагона-платформи в центрі мас

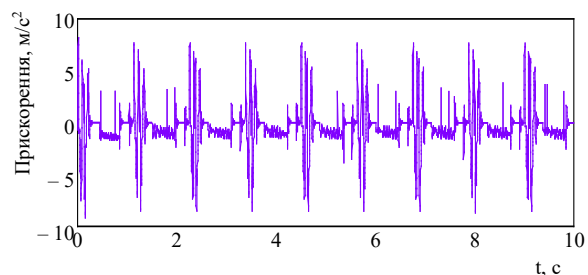


Рис. 5. Прискорення візка

Рис. 5. Прискорення візка

Впродовж подальшого коливального процесу величина прискорення зменшується і становить близько $5,0 \text{ м/с}^2$. Отримана величина прискорення на $6,2\%$ нижча за те, що діє на типову конструкцію вагона-платформи. Прискорення візка склало $9,2 \text{ м/с}^2$

(рис. 5). Прискорення, яке діє на вантаж, розміщений на вагоні-платформі дорівнює $2,08 \text{ м/с}^2$ (рис. 6). Отримана величина прискорення на 10,2% нижче за те, що діє на вантаж з урахуванням типової схеми сприйняття навантажень.

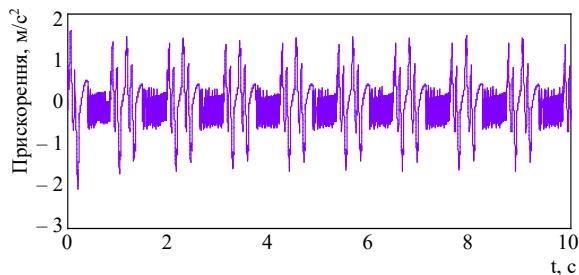


Рис. 6. Прискорення, яке діє на вантаж

Запропоновані рішення щодо конструкційного удосконалення вагона-платформи є доцільними не тільки на стадії виготовлення, а і модернізацій вагонів-платформ.

Важливо сказати, що впровадження сендвіч-панелей у несучу конструкцію вагонів-платформ вимагає дотримання стандартів безпеки та використання сучасних систем діагностики і технічного обслуговування. Такі системи діагностики дозволяють виявляти та діагностувати несправності в конструкції вагона, включаючи втомні тріщини, деформації, знос та інші дефекти, які можуть виникнути під час експлуатації.

Аналіз існуючих діагностичних інструментів для виявлення несправностей у вантажних вагонах, дозволив визначити найбільш ефективні серед них, які доцільно застосувати на вагонах-платформах з підлогою із сендвіч-панелей. До них відносяться датчики акустичної емісії, які можуть виявити несправності, що виникають, до того, як вони стануть критичними, і вихрострумова дефектоскопія, яка використовується для виявлення поверхневих і приповерхневих дефектів в металевих компонентах. Також корисними є такі методи діагностики, як ультразвукове тестування, рентгенографія та візуальний огляд.

Одним з ефективних методів діагностики конструкції вагона є використання датчиків контролю. Ці датчики виявляють і вимірюють вібрації та частоту коливань на різних рівнях. Якщо ці вимірювання відрізняються від нормативних значень, це може вказувати на потенційні несправності в конструкції вагона.

Тому наступним напрямком досліджень є розв'язок технічних питань, пов'язаних з впровадженням в несучу конструкцію вагона-платформи підлоги із сендвіч-панелей, а також наукове обґрунтування використання найсучасніших датчиків моніторингу його технічного стану.

Висновки.

1. Сформовано математичну модель динамічної навантаженості вагона-платформи з підлогою із сендвіч-панелей. До уваги прийнято вертикальні переміщення вагона-платформи. Модель враховує рух вагона-платформи стиковою нерівністю, яка має пружні властивості. При цьому сендвіч-панелі мають пружно-фрикційні властивості.

2. Визначено прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи та вантаж, розміщений на ньому. Максимальні прискорення, які діють в центрі мас вагона-платформи, виникають в момент проходження ним рейкової нерівності і дорівнюють $6,5 \text{ м/с}^2$. Впродовж подальшого коливального процесу величина прискорення зменшується і становить близько $5,0 \text{ м/с}^2$. Отримана величина прискорення на 6,2% нижче за те, що діє на типову конструкцію вагона-платформи. Прискорення візка дорівнює $9,2 \text{ м/с}^2$. Прискорення, яке діє на вантаж склало $2,08 \text{ м/с}^2$, що на 10,2% нижче за те, що діє на нього з урахуванням типової схеми сприйняття навантажень.

Розглянуто можливі варіанти діагностики несучої конструкції вагона-платформи з підлогою із сендвіч-панелей в експлуатації.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій залізничних транспортних засобів та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

Список літератури:

1. Stoilov V., Simić G., Purgić S., Milković D., Slavchev S., Radulović S., Maznichki V. Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 664. 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/664/1/012026>
2. Šťastniak Pavol, Kurčík Pavol, Pavlík Alfréd. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 235(2). 00030. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
3. Das Apurba, Agarwal Gopal. Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon // Computer Science. 2020. MARTCH. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4_24

4. Fabian Peter, Gerlici Juraj, Masek Jaroslav, Marton Peter. Versatile, efficient and long wagon for intermodal transport in Europe // Communications. 2013. Vol. 2. P. 118 – 123.
5. Krason W. Niezgodna T. FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards // Bulletin of the Polish Academy of Sciences technical sciences. 2014. Vol. 62, No. 4. P. 843–851. <https://doi.org/10.2478/bpasts-2014-0093>
6. Nandan Shivendra, Trivedi Rishikesh, Kant Satyajeet, Ahmad Javed, Maniraj M. Design, analysis and prototype development of railway wagons on different loading conditions // Preprint, 2020, March.
7. Myamlin Sergey, Povilas Lingaitis Leonas, Dailydka Stasys, Vaičiūnas Gediminas, Bogdevičius Marijonas, Bureika Gintautas. Determination of the dynamic characteristics of freight wagons with various bogie // Transport. 2015. Vol. 30(1). P. 88–92. <https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1020565>
8. S. Panchenko, O. Fomin, G. Vatulia, O. Ustenko, A. Lovska. Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. № 1/7 (109). P. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>
9. Сайт о вагонном парке и вагонном хозяйстве // <https://vagon.by/gallery/image/1122>
10. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ. 2003. 269 с.
11. Сяєв А. В. Вступ до системи MathCad: навчальний посібник. Дніпропетровськ. 2004. 108 с.
12. Богач І. В., Краковецький О. Ю., Килик Л. В. Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь засобами MathCad: Навчальний посібник. Вінниця. 2020. 106 с.
13. Sergii Panchenko, Juraj Gerlici, Glib Vatulia, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov, Kateryna Kravchenko. The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. Applied Sciences. 2023. Vol. 13(1). 79. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
14. A. Koshlan, O. Salnikova, M. Chekhovska, R. Zhyvotovskiy, Y. Prokopenko, T. Hurskiy, A. Yefymenko, Y. Kalashnikov, S. Petruk, A. Shyshatskiy. Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 5. No. 9 (101). P. 16–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>.

Lovska A.O., Rybin A.V., Agapov E.D., Husak D.O. MATHEMATICAL MODELING OF THE VERTICAL LOADING OF A FLAT WAGON WITH A FLOOR OF SANDWICH PANELS

To reduce the dynamic loading of the flat wagon under operating conditions, it is proposed to use sandwich panels as components of the supporting structure, namely the flooring. A feature of sandwich panels is that they consist of two metal sheets, between which there is an energy-absorbing material with elastic-friction properties.

In order to substantiate the proposed improvement, mathematical modeling of the dynamic loading of the supporting structure of the flat wagon was carried out. The translational movements of the flat wagon relative to the vertical axis were taken into account – bouncing oscillations, as the most common type of oscillations of the wagon in operation.

The calculation was made on the example of a flat wagon model 13-401. It is taken into account that the flat wagon consists of four bodies: a frame, two bogies and a load placed on the frame. The cargo is considered as conditional using the full payload capacity of the flat wagon.

When carrying out calculations, it was taken into account that the path has elastic characteristics. The solution of the mathematical model was carried out in the MathCad software package. The results of the calculations proved that the use of sandwich panels as components of the flat wagon structure helps to reduce its dynamic loading by 7.2% compared to the standard design. The accelerations acting on the load placed on the flat wagon are 10.2% lower than those acting on it, taking into account the typical load perception scheme.

It is important to say that the proposed solutions for the structural improvement of the flat wagon are expedient not only at the stage of manufacture, but also at the stage of modernization of flat wagon.

The conducted studies will contribute to the creation of recommendations for the design of modern structures of railway vehicles and to improve the efficiency of the transport industry.

Key words: transport mechanics, flat wagon, load-bearing structure, sandwich panel, dynamic loading.

Маннапова О.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Бойко С.О.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Урум Н.С.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Рященко О.І.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМИХ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ АЗОТУ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ

Метою роботи є підвищення екологічності суднових двигунів за рахунок моніторингу токсичності відпрацьованих газів і корегування параметрів двигунів. Поставлена мета досягається шляхом розробки математичної моделі залежності питомих викидів діоксиду азоту від експлуатаційних характеристик головних двигунів. Особливою проблемою всіх існуючих системах автоматичного управління залишається формування такого значення кута випередження впорскування палива, при якому значення питомих викидів оксидів азоту з відпрацьованих газів, буде відповідати вимогам правила 13 Окисли азоту Додатка VI Конвенції МАРПОЛ 73/78. В зв'язку з цим в статті розв'язано задачу оптимізації значення кута випередження впорскування палива на різних режимах роботи суднових дизельних двигунів. Для розв'язання даної задачі безпосередньо і розроблено математичну модель, що дозволяє зробити процес оптимізації значення кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження й експлуатаційного стану суднового дизеля. Зміст побудови математичної моделі, що описує вплив навантаження і кута випередження впорскування палива розглянуто на прикладі головних двигунів типу 6S90MC-C. Запропонована модель дозволяє вирішувати задачу оптимізації значення кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження й експлуатаційного стану суднового дизельного двигуна з метою зниження питомих викидів діоксидів азоту до значень, нормованих правилом 13 Окисли азоту Додатка VI Конвенції МАРПОЛ 73/78. В роботі визначено, що викиди шкідливих речовин з ВГ суднових дизельних, двигунів залежать від кута випередження впорскування палива. Це пояснюється тим, що при зменшенні кута випередження впорскування палива спостерігається зниження максимальних температур згоряння, а так само час окислювання продуктів згоряння. Таким чином, зі зменшенням кута випередження упорскування палива знижується емісія оксидів азоту.

Ключові слова: математична модель, відпрацьовані гази, метод, дизельний двигун, зміни фаз газорозподілу.

Постановка проблеми. Захист навколишнього середовища останнім часом є глобальною проблемою людства. Постійне збільшення споживання вуглеводних палив і викидів в атмосферу шкідливих речовин від їх використання викликає порушення природного процесу самоочищення біосфери і є загрозою життя людини. Для зупинки даного процесу, підписані міжнародні угоди, прийняті державні постанови і програми захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів.

У країнах Європейського Союзу нормування викидів шкідливих речовин з відпрацьованими

газами (ВГ) автомобільних дизелів здійснюється відповідно до правил Європейської екологічної комісії (ЄЕК) ООН № 49. За минулі роки ці правила неодноразово піддавалися істотному корегуванню, як за переліком нормованих шкідливих речовин, так і за жорсткістю їх нормативів. Згідно Євро-5 (діють з 2008 року) значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ дизельних двигунів не повинне перевищувати 2 г/ (кВт·год) Тобто, у порівнянні з Євро-3 (діють з 2000 року) вимоги до значення питомих викидів оксидів азоту стали більш жорсткими на 250 %.

Завдяки високій енергетичній ефективності дизельні двигуни в даний час витиснули інші типи енергетичних установок на судах морського і річкового флоту та у близькому майбутньому вони збережуть домінуюче положення.

Працюючий дизельний двигун є інтенсивним джерелом акустичного, теплового і хімічного забруднення навколишнього середовища. Проблема скорочення викидів забруднюючих речовин працюючим дизельним двигуном є однією з найважливіших задач, як судноплавства, так і дизелебудування, від рішення якої залежить стан здоров'я людини і збереження оточуючого середовища.

В даний час склалася ситуація, коли розвиток судових дизельних двигунів і їх конкурентноздатність визначаються головним чином розробкою технологічних рішень, що дозволяють знизити викиди шкідливих речовин до рівня зазначених вище екологічних вимог. Ці вимоги можуть бути досягнуті різними засобами.

Найбільш відомі в суднобудівній галузі способи зниження викидів оксидів азоту, такі як селективне каталітичне відновлення і рециркуляція ВГ мають серйозні недоліки – це значне ускладнення конструкції та збільшення витрати палива. Ріст цін на паливо змушує суднобудівні компанії шукати такі методи, що одночасно забезпечують зниження викидів оксидів азоту без помітного погіршення паливної економічності дизельного двигуна.

Серед таких методів та моделей заслуговують на особливу увагу ті, які спрямовані на удосконалення робочого процесу шляхом впливу на термодинаміку горіння палива в циліндрі двигуна внутрішнього згорання.

Таким чином, є актуальною задача розробки математичної моделі залежності питомих викидів діоксида азоту від експлуатаційних характеристик головних двигунів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у рішення проблеми підвищення екологічної безпеки водного транспорту за допомогою зниження викидів від судових дизельних двигунів внесли результати наукових досліджень наступних вчених: Возницького І.В., Зубрилова С.П., Дорохова А.Ф., Климової Є.В., Щавелєва Д.В., Іванченко А.А., Смайлиса В.И., Стаценко В.Н., Одінцева В.І., Туркіна В.А., Окунева В.М., Обозова А.А., Покусаєва М.М., Кірпіченко С.В. та ін.

Аналіз в роботі [1] свідчить, що можливість зниження шкідливих викидів тільки за рахунок організації робочого процесу двигуна може не

забезпечити повною мірою вимоги Tier 3. Тому, до проблеми очищення ВГ необхідно шукати комплексний підхід, використовуючи прогресивні методи, які не потребують конструкційних змін двигуна:

- попередня обробка палива в каталітичному фільтрі-перетворювачі;
- обробка води для водопаливної емульсії;
- рециркуляція та самоочищення ВГ у рідинному контактному апараті.

Визначаючи ефективність способів зниження викидів ВГ, в роботі [2] обґрунтовується необхідність регулювання кута випередження впорскування палива, якості сумішоутворення для зменшення неповноти згорання і зниження концентрації токсичних компонентів у ВГ.

При визначенні найбільш ефективних способів зниження викидів ВГ в роботі [3] пропонується для рішення даної проблеми застосовувати рециркуляцію ВГ.

В роботі [4] відзначається, що для реалізації на судах можуть бути застосовані дві технології очищення газів від оксидів азоту: абсорбційне рідинне очищення і технологія селективного каталітичного відновлення NOx аміаком. Недоліком абсорбційного очищення на судні є його висока вартість, а також необхідність рішення задач, пов'язаних із забрудненням водного середовища. Істотну вартість будуть мати пристрої очищення газів, в основі роботи яких передбачається використовувати холодну плазму та електронні пучки. Для виключення зазначених недоліків пропонується використовувати технологію селективного некаталітичного відновлення оксидів азоту аміаком або карбамідом. Для підвищення ефективності технології селективного некаталітичного відновлення оксидів азоту запропоновано використовувати рециркуляцію ВГ дизельного двигуна у нейтралізаторі.

Мета статті (постановка завдання). Метою роботи є підвищення екологічності судових двигунів за рахунок моніторингу токсичності ВГ і корегування параметрів двигунів.

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі [5] відзначено, що на утворення оксидів азоту найбільш сильний вплив робить кут випередження впорскування палива φ_{on} , тобто регульовальний параметр дизельного двигуна. Вважається, що при зменшенні кута впорскування палива знижуються максимальна температура згорання і час, що відводиться на це згорання. Тому, зі зменшенням кута випередження впорскування палива викид оксидів азоту знижується, а викиди COx, CH і сажі, як правило, збільшуються.

Разом з тим, сприятливий вплив зменшення кута випередження впорскування палива на викиди оксидів азоту приводить, як правило, до деякого зниження паливної економічності дизельного двигуна.

За даними роботи [6] зменшення кута випередження впорскування палива на 10° повороту колінчатого валу дизельного двигуна при роботі дизеля на номінальному режимі приводить до зниження змісту оксидів азоту в його ВГ, на 60 % і погіршенню паливної економічності на 10 % при одночасному збільшенні викиду сажі на 100 %.

В експлуатаційній практиці виникають ситуації, що стосуються оперативного управління концентрацією шкідливих речовин, які викидаються судовими двигунами. Це відбувається, наприклад, коли судно входить у район контролю викидів оксидів азоту з ВГ, (NECA). У таких випадках для виконання вимог ІМО Tier-2 або Tier-3 (для двигунів установлених на судах побудованих після 1 січня 2016 року) потрібна швидке настроювання двигуна на режим з мінімально можливою емісією оксидів азоту з ВГ, і відсутністю видимої димності газів, навіть за рахунок паливної економічності.

Одним з регулювальних параметрів, що дозволяють швидко вирішувати поставлену задачу, є кут випередження впорскування палива.

Таким чином, можна зробити висновок, що при зменшенні кута випередження впорскування палива емісія оксидів азоту знижується, а димність навпаки росте. Дана обставина дозволяє стверджувати: кожному режиму роботи судового дизельного двигуна властиво раціональне з погляду мінімального викиду шкідливих речовин значення кута випередження впорскування палива.

Отже, реалізація цих або подібних їм залежностей у системах автоматичного керування судових дизельних двигунів дозволяє знижувати значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ, і, зокрема, довести їх до рівня вимог Tier-2, а в деяких випадках і до рівня Tier-3, правила 13 «Окисли азоту» Додатка VI «Правила запобігання забруднення повітряного середовища із судів» Конвенції МАРПОЛ 73/78. Такими системами управління оснащуються багато судових дизельних двигунів виробництва «MAN Diesel & Turbo».

Дизельні двигуни моделі 6S90MC-C компанії «MAN Diesel & Turbo» характеризуються механічним приводом розподільного валу, що контролює геометричні фази впорскування палива, відкриття випускного і пускового клапанів, з яких тільки кут випередження впорскування палива, який впливає на максимальне тиски згоряння в циліндрі P_z ,

може змінюватися в експлуатації за допомогою встановленої системи зміни кута випередження на оснві функції зміни фаз газорозподілу Variable Injection Timing (VIT).

Функція зміни фаз газорозподілу (VIT) в судових дизельних двигунах вступає в дію під час регулювання тиску згоряння в залежності від навантаження. Змінний момент впорскування (VIT) дозволяє досягти максимального тиску згоряння під час роботи з частковим навантаженням, що допомагає зменшити витрату палива, а також досягти ефективного згоряння в двигуні.

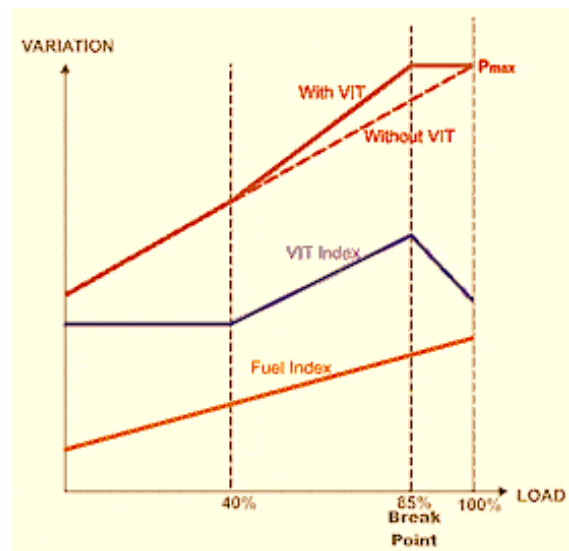


Рис. 1. Демонстрація ефективності функції зміни фаз газорозподілу VIT

Контролюючи момент впорскування палива в паливному насосі і випереджаючи момент впорскування паливного насоса, VIT збільшує максимальний тиск в двигуні.

При роботі з головним судовим двигуном, оснащеним системою зміни фаз газорозподілу VIT, судовому інженеру необхідно знати наступні моменти для забезпечення безперебійної роботи двигуна:

1. Вільність механічних частин: Привід змінного моменту впорскування VIT працює на русі ексцентрикового валу всмоктувального і переливного клапанів. Морські інженери повинні переконатися, що ці клапани не мають жодних перешкод або надмірного люфту. Пружина ексцентрикового валу також повинна регулярно перевірятися на предмет належної роботи, щоб уникнути будь-яких поломок.

2. Перевірка значень індикатора навантаження: Регулююча паливна тяга передає рух вихідному важелю регулятора і відповідно визначає подачу палива в циліндр. Судновий механік повинен

перевірити відповідність між положенням індикатора навантаження на регулювальній пластині, передбаченій в тязі, і значенням індикатора навантаження на місцевому маневровому стенді і на пульті дистанційного керування, коли VIT встановлений на "0". Якщо є відхилення в будь-якому з трьох значень, його необхідно виправити, перш ніж починати будь-які дії з регулюванням фаз газорозподілу паливного насоса.

3. Налаштування приводу VIT: Перевірте хід приводу, коли VIT «0», вставивши дистанційну втулку між важелем регулювання всмоктувального клапана і блокуванням. Перемістіть VIT в максимальне положення вперед і мінімальне положення назад відповідно і запишіть значення на індикаторі навантаження на регулювальній пластині. Також перевірте хід приводу на пульті дистанційного керування. Нарешті, запишіть і порівняйте будь-які відхилення, зазначені в інструкції виробника.

4. Зазор VIT: При установці VIT після технічного обслуговування необхідно перевірити зазор і вирівнювання між упорною пластинкою і тягою, встановивши циліндр у повністю втягнуте положення. Якщо зазор відсутній, упорну пластину необхідно відшліфувати до тих пір, поки зазор не буде досягнутий (рис. 2).

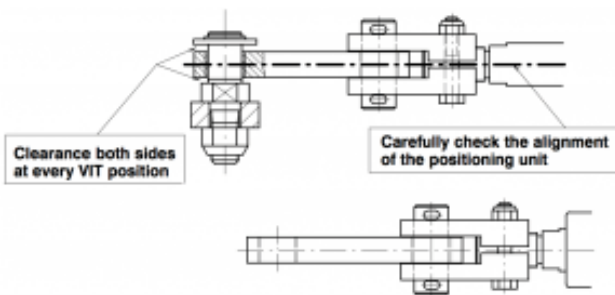


Рис. 2. Особливості налаштування зазору VIT

5. Електричне підключення: Для електронного керування системою зміни фаз газорозподілу (VIT) необхідно регулярно перевіряти всі кабельні з'єднання між з'єднувальною коробкою та клемою VIT.

6. Пневматичний циліндр: Пневматичний циліндр, який діє як позиціонує вузол зчеплення VIT, іноді оснащений механічним стопором, який слід перевіряти на предмет заклинювання. Це буде корисно для переміщення циліндра вручну в разі виходу з ладу автоматичної системи позиціонування.

7. Обкатка: Коли судновий дизельний двигун знаходиться на обкатці/обкатуванні через капі-

тальний ремонт компонентів двигуна, VIT повинен бути відключений або вимкнений на весь період до завершення обкатки.

8. Робота двигуна з відключеним агрегатом: Якщо головний двигун працює з відключеним агрегатом через серйозну проблему в деталях цього агрегату, VIT повинен бути встановлений на нуль або вимкнений, оскільки це призведе до нерівномірного розподілу навантаження в двигуні.

9. Відмова VIT: Коли відбувається відмова VIT, піковий тиск горіння більше не контролюється пневматичним приводом. У такій ситуації необхідно встановити дистанційну втулку, щоб зафіксувати нейтральне положення VIT.

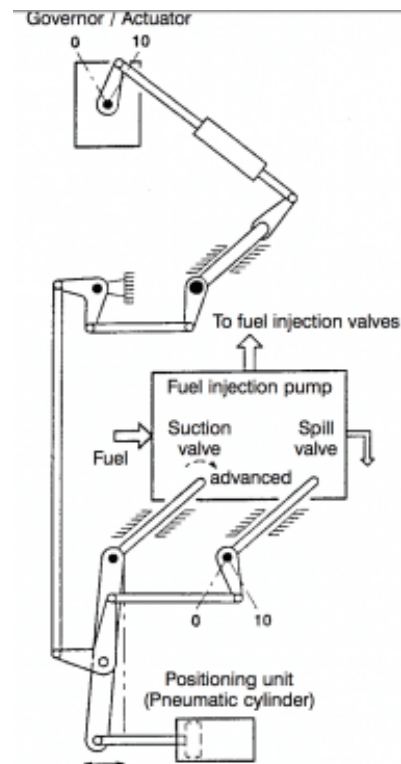


Рис. 3. Особливості функціонування пневматичного циліндру при використанні VIT

Це не є вичерпним списком, але включає всі важливі моменти, які необхідно враховувати при роботі з двигуном з VIT. VIT використовується для зменшення загальної витрати палива і досягнення максимального тиску навіть при низькому навантаженні, але погане обслуговування і експлуатація VIT може звести нанівець цей результат і навіть призвести до серйозних пошкоджень основних частин двигуна.

З погляду поліпшення екологічних характеристик роботи суднових дизельних двигунів 6S90MC-C виробництва компанії "MAN Diesel & Turbo" перевага системи VIT полягає в наявності можливості зменшити кут випередження

впорскування палива, що приводить до зниження питомих викидів оксидів азоту з ВГ.

Особливою проблемою всіх існуючих системах автоматичного управління залишається формування такого значення кута випередження впорскування палива φ_{on} , при якому значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ, буде відповідати вимогам правила 13 Окисли азоту Додатка VI Конвенції МАРПОЛ 73/78. Отже, необхідно розв'язати задачу оптимізації значення кута випередження впорскування палива на різних режимах роботи судових дизельних двигунів. Для розв'язання даної задачі необхідно мати математичну модель, що дозволяє зробити процес оптимізації значення кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження й експлуатаційного стану судового дизеля.

Зміст побудови математичної моделі, що описує вплив навантаження і кута випередження впорскування палива головних двигунів типу 6S90MC-C на значення питомих викидів діоксиду азоту ВГ визначається відповідно до рекомендацій теорії планування експерименту.

Базовий вираз математичної моделі у загальному випадку має наступний вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (1)$$

де y – значення питомих викидів діоксиду азоту у ВГ ГД (г/(кВт год));

x_i, x_j – значення факторів в кодованому масштабі;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – значення коефіцієнтів рівняння регресії.

Для розрахунку коефіцієнтів базового виразу математичної моделі (1) реалізовано повний факторний експеримент виду 3^n , наприклад випробувань для двох незалежних факторів z_1 та z_2 при трьох значеннях кожного фактору (у безрозмірній системі координат це: +1 – максимальне значення фактору; 0 – середнє значення фактору; -1 – мінімальне значення фактору). При цьому факторами, наприклад, можуть бути: z_1 – навантаження головного двигуна у відсотках від максимальної тривалої потужності (% MCR); z_2 – кут випередження впорскування палива в градусах повороту колінчатого валу головного двигуна до верхньої мертвої точки (ПКВ до ВМТ). За результатами експерименту формується відповідна матриця планування.

З метою спрощення розрахунків значень коефіцієнтів базового виразу математичної моделі (1) матриця експерименту приводиться до ортогонального плану відповідно до виразу:

$$x'_j = x_j^2 - \overline{x_j^2} = x_j^2 - \sum_{i=1}^N x_{ji}^2 / N = x_j^2 - \frac{6}{9} = x_j^2 - \frac{2}{3}, \quad (2)$$

В даному випадку всі коефіцієнти базового виразу математичної моделі (1) визначаються з використанням наступного виразу:

$$b_j = \sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_i / \sum_{i=1}^N x_{ji}^2, \quad (3)$$

При цьому дисперсії коефіцієнтів базового виразу математичної моделі (1) визначаються за виразом:

$$s_{b_j}^2 = s_{ооcnp}^2 / \sum_{i=1}^N x_{ji}^2, \quad (4)$$

Відповідно до результатів розрахунків за матрицею планування повного факторного експерименту наступне формальне представлення математичної моделі (1) може бути представлено як:

$$\hat{y} = b'_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} (x_1^2 - \hat{x}_1^2) + b_{22} (x_2^2 - \hat{x}_2^2), \quad (5)$$

В подальшому розраховується значення дисперсії для коефіцієнта b_0 :

$$s_{b_0}^2 = s_{b'_0}^2 + (\overline{x_1^2})^2 s_{b_{11}}^2 + (\overline{x_2^2})^2 s_{b_{22}}^2, \quad (6)$$

Отримана математична модель відповідно виразів (1)–(6) може бути використана для оцінки впливу на значення питомих викидів діоксиду азоту у ВГ навантаження на двигун і кута випередження впорскування палива головних двигунів моделі 6S90MC-C виробництва компанії «MAN Diesel & Turbo».

Аналогічне перевищення вимог Додатка VI до значення питомих викидів діоксиду азоту у ВГ, даного судового малообертового двигуна буде спостерігатися при навантаженнях в інтервалі від 87,5 до 75 % MCR і кути випередження впорскування палива, що перевищує відповідно 10 і 16 ПКВ до ВМТ.

Модель (1)–(6) дозволяє розв'язувати оптимізаційну задачу визначення значення кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження й експлуатаційного стану судового дизеля з метою зниження питомих викидів оксидів азоту до нормованих значень.

Висновки. В статті отримано математичну модель для оцінки впливу на значення питомих викидів оксидів азоту з ВГ від навантаження і кута випередження впорскування палива головних двигунів моделі 6S90MC-C виробництва компанії "MAN Diesel & Turbo". Дана модель дозволяє вирішувати задачу оптимізації значення кута випередження впорскування палива в залежності від навантаження й експлуатаційного стану судового дизельного двигуна з метою зниження питомих викидів діоксидів азоту до значень, нормованих

правилом 13 Окисли азоту Додатка VI Конвенції МАРПОЛ 73/78. Визначено, що викиди шкідливих речовин з ВГ судових дизельних, двигунів залежать від кута випередження впорскування палива. Це пояснюється тим, що при зменшенні кута випе-

редження впорскування палива спостерігається зниження максимальних температур згоряння, а так само час окислювання продуктів згоряння. Отже, зі зменшенням кута випередження упорскування палива знижується емісія оксидів азоту.

Список літератури:

1. Разлейцев Н.Ф. Моделювання та оптимізація процесу згоряння в дизелях. Харків: Вища школа, 1980. 169 с.
2. Черниш І.І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні судові дизелі: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса: НУ "ОМА", 2019. 217 с.
3. Зіненко М.М. Удосконалювання експлуатації судових малооборотових двигунів на основі контролю параметрів і концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05. Одеса, 2013. 133 с.
4. Голуб Є.С., Мадорский Є.З., Розенберг Г.Ш. Діагностування судових технічних засобів: довідник. К.: Транспорт, 1993. 150 с.
5. Наливайко В.С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння. Миколаїв, 2015. 332 с.
6. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки. Миколаїв: УДМРТУ, 2002. 353 с. URL: <https://ua1lib.org/book/3153403/a9d654> (дата звернення 26.01.2023).
7. Variable Injection Timing (VIT): What Marine Engineers Must Know? URL: <https://www.marineinsight.com/main-engine/vit-marineengineer-must-know/> (дата звернення 26.01.2023).
8. What is VIT + FQS? URL: <https://chiefengineerlog.com/2022/02/21/what-is-vit-fqs/> (дата звернення 26.01.2023).

Mannapova O.V., Boiko S.O., Urum N.S., Riashchenko O.I. RESEARCH OF METHODS FOR TIME SERIES SMOOTHING WHEN PROCESSING NAVIGATIONAL DATA OF SHIP MOTION

The aim of the work is to improve the environmental friendliness of marine engines by monitoring the toxicity of exhaust gases and adjusting engine parameters. This goal is achieved by developing a mathematical model of the dependence of specific nitrogen dioxide emissions on the performance characteristics of the main engines. A special problem of all existing automatic control systems is the formation of such a value of the fuel injection advance angle at which the value of specific emissions of nitrogen oxides from exhaust gases will meet the requirements of Rule 13 Nitrogen Oxides of Annex VI of MARPOL Convention 73/78. In this regard, the article solves the problem of optimizing the value of the fuel injection advance angle at different modes of operation of marine diesel engines. To solve this problem directly, a mathematical model has been developed that allows the process of optimizing the value of the fuel injection advance angle depending on the load and operational condition of a marine diesel engine. The content of the construction of a mathematical model describing the influence of load and fuel injection advance angle is considered on the example of main engines of the 6S90MC-C type. The proposed model makes it possible to solve the problem of optimizing the value of the fuel injection advance angle depending on the load and operational condition of a marine diesel engine in order to reduce specific nitrogen dioxide emissions to the values regulated by Rule 13 Nitrogen Oxides of Annex VI of MARPOL Convention 73/78. The paper determines that emissions of harmful substances from the exhaust gas of marine diesel engines depend on the fuel injection advance angle. This is explained by the fact that with a decrease in the fuel injection advance angle, a decrease in the maximum combustion temperatures and the oxidation time of combustion products is observed. Thus, with a decrease in the fuel injection advance angle, the emission of nitrogen oxides decreases.

Key words: *mathematical model, exhaust gases, method, diesel engine, changes in gas distribution phases.*

Мельник О.М.

Одеський національний морський університет

БЕЗПЛОТНЕ СУДНОПЛАВСТВО ЯК РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІННОВАЦІЙ У МОРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Морський транспорт нещодавно став однією з нових перспективних галузей для застосування та розвитку інформаційних технологій. Причинами були традиційна консервативність галузі, тривалий цикл проектування та експлуатації суден і, що найголовніше, нерозвинена та дорога інфраструктура телекомунікацій, заснована переважно на супутникових технологіях. Передача великих обсягів онлайн стала основним критерієм ефективності бізнесу. Проте бажаного рівня розвитку таких технологій на морському транспорті поки що не досягли проте судноплавство в значній мірі потребує розроблення та впровадження новітніх технологій з метою підвищення ефективності транспортних операцій та забезпечення їх безпеки. Виключення людського фактору з процесів навігації судном обумовила появу автономних суден втім залишається коло невирішених питань у процесі їх експлуатації таких як контроль за визначенням місцеположення, дослідження обмежень та джерел похибок супутникових радіонавігаційних систем, врахування помилкової або невірно інтерпретованої системою інформації та способи і алгоритм її виправлення з метою підвищення точності у позиціонування що у сукупності представляє значний практичний інтерес. У цій статті проведено аналіз розвитку систем безекіпажного судноводіння та шляхи їх імплементації у сферу торговельного судноплавства, а також способи використання технологій для ефективного обміну даними між автономними судном та берегом у рамках єдиної інформаційної мережі, що пов'язує всі елементи системи управління. Розглянуто особливості моніторингу та місцеположення та забезпечення утримання автономного судна на заданому курсі на основі технологій е-навігації.

Ключові слова: автономне судно, безекіпажне судноплавство, інноваційні технології, морський транспорт, точність позиціонування, безпека судноплавства.

Постановка проблеми. Протягом багатьох століть судноплавна індустрія покладалася на знання та досвід мореплавців, які складали екіпажі суден. Однак, сьогодні автономні технології готові перебудувати морський сектор за допомогою безпілотних суден. Невеликі безпілотні судна вже почали експлуатуватися, а технологія для більших суден перебуває на стадії розробки. Настав час морської галузі прийняти автономність і зрозуміти, як вона формуватиме нові підходи до морських транспортних процесів та як краще її використовувати. Поява морських автономних надводних суден, MASS (англ. Maritime Autonomous Surface Ship), безумовно вплине на проектування суден, їх будівництво, портову інфраструктуру, послуги та інтерфейси. Автономність змінить берегові елементи судноплавства, починаючи з портової інфраструктури та обробки вантажів та закінчуючи наземною логістикою та транспортним ланцюжком.

Виклад основного матеріалу. Великий інтерес до концепції автономних надводних суден проявляється з боку міжнародного морського співтовариства. Ряд високовартісних фінансованих

проектів у цьому напрямі було вже реалізовано, деякі продовжують розвиватися у кількох країнах. В авангарді цієї діяльності країни Північної Європи, переважно Фінляндія та Норвегія. Такі компанії, як Ролс-Ройс, Вяртсила, VVT, MUNIN. Неабиякий інтерес виявляють і країни азіатсько-тихоокеанського регіону, які активно задіяні в морському бізнесі, як у суднобудівній галузі так і в комерційній експлуатації флоту. Підвищення інтересу з боку крупних судноплавних компаній та торговельних міжнародних організацій прогнозується у середньостроковій та довгостроковій перспективі. За даними аналітичної компанії BIS Research, що займається аналізом ринку, передбачуваний світовий дохід від ринку автономних суден, що розвивається, складе близько 3,48 млрд доларів США до 2035 року. Більшість з цих ініціатив спрямовано ті види судноплавства, у яких і комерційні та дослідницькі організації бачать найбільшу перспективу.

Очікується, що в майбутньому обсяги морської торгівлі зростатимуть і в подальшому, відповідно зростатиме і кількість суден, необхідних для перевезення вантажів, а також кількість моряків, необ-

хідних для управління суднами. Слід констатувати той факт, що вже зараз світове судноплавство стикається з проблемою нестачі кваліфікованих морських фахівців. В основі цієї проблеми лежить зростаюча непривабливість морських професій, особливо для нових поколінь що певною мірою викликано притаманними мореплавству недоліками а саме відсутність повноцінного спілкування, сім'ї, високий ступень ізоляції від соціального життя, що супроводжує роботу на морському судні, а також всі труднощі побуту та труднощі цієї професії, такі як погодні умови, специфіка часових поясів та інше. Зростаюча в останні роки тенденція до зниження швидкості суден, заснована на екологічних нормах і вимогах, збільшує тривалість рейсів суден, а разом з цим і час, який моряки проводять на борту.

Уряди багатьох країн розуміючи важливість розроблення та впровадження високих технологій все більше інвестують в цільові розробки технологій автономного судноплавства, намагаючись зайняти істотну частку світового ринку таких суден у найближчому майбутньому. Активною мірою розробляються проекти, які передбачають будівництво автономних суден, що відповідають "третьому ступеню" з чотирьох ступенів автономності, визначених Комітетом з безпеки на морі ІМО в ході оцінки нормативних вимог до морських автономних надводних кораблів (МАНС). Наприклад ступінь три описує судно, яке не вимагає екіпажу на борту і керується дистанційно, хоча відзначається той факт, що знаходження моряків може бути потрібне на борту для суто технічних цілей на ранніх стадіях розвитку, що буде ступенем автономії два. Ступінь чотири – це повністю автономне та безпілотне судно, здатне самостійно приймати рішення та визначати порядок та послідовність дій (рис. 1).



Рис. 1. Ступінь автономності суден

Незважаючи на деякі цілком справедливий заперечення, безпілотне автономне судно є виходом із становища, в якому опиниться галузь в найближчій перспективі – дефіцит пропозиції моряків через непривабливість цієї роботи і зростаючий попит на моряків через збільшення обсягів перевезень.

Тому з одного боку, автономне судноплавство може знизити очікуваний тиск на ринок праці моряків, оскільки дозволить принаймні частково зменшити трудомісткість експлуатації судна. З іншого боку, рутинні завдання на борту будуть автоматизовані, і лише складні, але цікаві навігаційні та технічні роботи будуть перенесені з судна до берегового операційного центру, що зробить роботу моряка більш привабливою та ніж сьогодні. Крім того, під час запровадження безпілотного судноплавства очікуються економічні та екологічні вигоди.

Під час експлуатації судна в автономному режимі вкрай важливим є визначення його поточного місцеположення. Сучасні автономні судна оснащуються системами штучного інтелекту для вирішення безлічі завдань управління судном і його обладнанням, у тому числі і вирішення завдань управління (прийняття рішення) за відсутності зв'язку з віддаленим Центром управління і моніторингу. Саме тому навігаційні системи автономного судна мають вирішувати завдання визначення його місцеположення у будь-яких ситуаціях. Для підвищення надійності оцінок точності (визначення) координат автономне судно може оснащуватися комплексом обладнання (технічні засоби оцінки координат – ТЗОК), що дозволяє розраховувати та визначати фізичні координати судна в реальному часі. Таке вимірювальне та обчислювальне обладнання автономного судна використовує технічні системи вимірювання, що ґрунтуються на різних фізичних принципах.

Найбільш поширені методи, засновані на супутникових системах навігації (Global Navigation Satellite System, GNSS). Такі системи, крім оцінки поточних координат судна, дозволяють виміряти швидкість і напрямок (поточний курс) руху судна, що оснащено приймачами сигналу. Системи GNSS містять космічне та наземне обладнання і наземного сегмента (систем управління). Станом на сьогодні чотири супутникові системи забезпечують повне покриття та безперебійну роботу для всієї земної кулі – GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, тому автономне судно одночасно може містити різні системи ТЗОК (рис. 2), за допомогою яких координати судна визначаються:

- методом Доплера за допомогою циклічних вимірювань;
- за допомогою приймачів GNSS;
- методом Доплера на основі траверзного методу.

Безумовно, оцінка поточних координат місця судна за сигналами GNSS дозволяє дати високу точність результату, оскільки сучасні приймачі сигналу

GNSS працюють по всіх доступних супутниках використовуючи метод “All in View” (всі наявні), застосовують автономні алгоритми обробки відбракування сигналів від супутників, які не забезпечують цієї ситуації вимогам заданої точності. Крім того, автономне судно може бути оснащено й іншими не супутниковими системами вимірювання координат в реальному часі. Наприклад, визначення розташування судна може здійснюватися шляхом детектування напрямів приходу сигналів автоматичної ідентифікаційної системи (AIC) від інших джерел таких як суден, буїв, берегових станцій тощо, виділення з цих сигналів інформації про місцезнаходження цих джерел та подальшого вирішення завдання визначення власних координат автономного судна.

Таким чином, на автоматизовану систему керування судном покладається завдання не тільки вимірювання сигналів від різних джерел, але і подальшої їх обробки з метою визначення місцеположення судна в поточному часі. Саме те, що можуть використовуватися різні джерела виміральної інформації, призводить до того, що подальша обробка буде проводитися в різних системах координатних перетворень: а) земна базова система координат; б) пов'язана з корпусом система координат; в) гідродинамічна система координат; г) геометрична система координат. Але остаточне рішення на спосіб вимірювання та подальшу обробку повинен приймати штучний інтелект у разі відсутності зв'язку з Центром управління.

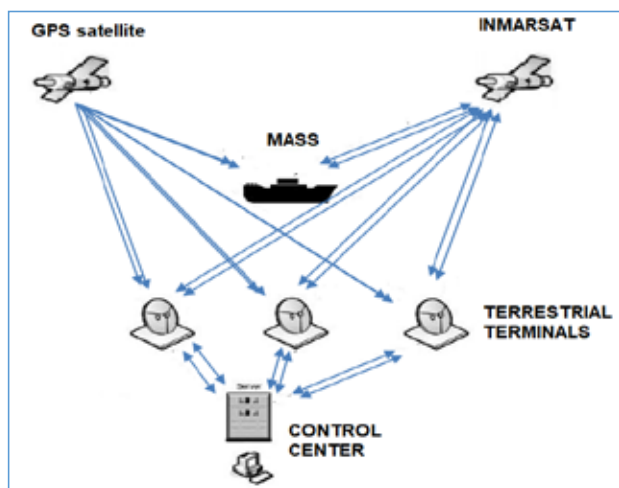


Рис. 2. Алгоритм інформаційного обміну МАНС

Враховуючи те, що перші пілотні проекти безекіпажного судноводіння стали застосовуватися саме у внутрішніх водних басейнах, перешкоди у визначенні місцеположення таких об'єктів у просторі є набагато більшою проблемою на

малих водних шляхах, ніж у відкритому морі. Перешкоди – це спотворення малопотужних сигналів GPS через такі перешкоди, як радіохвилі, лінії стільникового зв'язку, які є глушниками, що використовуються за аналогією з автомобільними антирадарми контролю швидкості. Ненавмисні перешкоди також можуть бути викликані різними пристроями на борту судна, такими як радари, радіостанції, антени та супутникові модеми.

До проблем точності позиціонування суден в процесі автоматизації внутрішнього морського транспорту слід віднести протоки, вузькі внутрішні водні шляхи, системи шлюзів і гавані портів що вимагають від суден граничної точності навігації, іноді залишаючи лише кілька метрів між суднами, що розходяться. Маневри підходу та відходу судна від причалу вимагають особливої уваги з боку віддаленого оператора, який веде моніторинг цього процесу. Для того, щоб правильно оцінити ситуацію і при необхідності дистанційно керувати судном, віддаленому оператору необхідно знати точне положення судна з точністю до метрів. Помилки викликані тим, що сигнали супутників GPS відбиваються від довколишніх структур, таких як стіни шлюзу, мости та їх опори, будівлі та інші судна. Такі перешкоди затримують сигнали GPS і знижують точність та надійність позиціонування судна. Ще одним фактором, що впливає на визначення місця положення автономного судна та його точність, є видимість супутників GPS. Наприклад коли судно опускається в шлюз, стінки шлюзу блокують пряму видимість від судна до супутників GPS, що призводить до втрати інформації для розрахунку місцеположення. Вирішення проблеми позиціонування на сантиметровому рівні може бути досягнуто шляхом отримання поправок сигналу – зазвичай відомих як RTK поправки RTK (Real Time Kinematic) кінематичні виміри, що виконуються у реальному часі. Вони використовуються для додатків, що вимагають високої точності, таких як позиціонування на рівні сантиметрів, з точністю до 1 см від місцевої базової станції або через стільниковий зв'язок. У традиційному RTK з фізичними базовими станціями або віртуальними референсними станціями (VRS – virtual reference stations) поправки надходять як спостережень, у яких всі джерела помилок об'єднуються як частина спостережень. Інші корекції, забезпечують субметрове позиціонування та використовують корекції з геостаціонарних супутників або вбудовані алгоритми зменшення багатопроменевості, що дозволяє виявити та мінімізувати вплив її помилок. Відстеження кількох частот сигналу та

кількох супутникових угруповань ГНСС забезпечує надмірність, завдяки чому судновий приймач ГНСС завжди має достатню кількість вимірювань для визначення точного місця розташування від чотирьох основних супутникових систем позиціонування: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou (рис. 3).



Рис. 3. Рівні точності позиціонування залежно від приймача та поправок, що їм використовуються

Перешкоди, викликані глушінням, знижують точність позиціонування і навіть можуть призвести до втрати сигналів GPS-позиціонування в радіусі сотень метрів навколо джерела перешкод. Коли глушіння викликає випадковий шум у частотному діапазоні GPS, спуфінг замінює інформацію про місцеположення судна, що передається супутниками у вигляді невірної інформації про його положення у просторі. Такий пристрій підміни даних може бути потенційно використано для порушення траєкторії руху судна і зробити його вразливим для крадіжки або навіть захоплення. З метою уникнення таких проявів розробляються і застосовуються алгоритми придушення перешкод, які забезпечують надійне позиціонування в умовах глушіння або спуфінгу. Вони визначають частоту перешкод і блокують при розрахунку позиціонування а графічний аналізатор спектру допомагає оцінити частоту перешкод та визначити джерело перешкод.

Що стосується систем курсовказання автономного судна то завдання визначення його орієнтації може відрізнятись від вектору швидкості через вплив водної течії і вітру. Тому лише за наявності точної інформації про курс віддалений оператор може отримати візуалізацію довжини судна в картографічному програмному забезпеченні. Традиційні рішення на основі магнітного компаса не знайшли ефективного застосування з огляду на їхню чутливість до масивних металевих об'єктів на маршруті переходу, на них можуть впливати шлюзи, мости, а також інші судна, що проходять поруч. Втім існують більш сучасні рішення на основі гірокомпаса що доступні і, як правило, більш надійні, проте їх ціна надмірно висока, і вони є надто дорогим компонентом для невеликих проектів автоматизації

суден. Рішенням є застосування супутникових компасів, де пара антен розміщуються в діаметральній площині на відстані декількох метрів один від одного на борту судна і за допомогою двохчастотного приймача GNSS визначається точна інформація про позиціонування антен, що дає визначення курсового кута з точністю до $0,01^\circ$.

Алгоритм уникнення зіткнень для безпілотної навігації суден зазвичай включає набір правил і процедур, які дозволяють такому судну уникати зіткнень з іншими суднами або перешкодами на своєму шляху. В загальному випадку такий алгоритм може бути наступним:

1. Виявлення перешкод за допомогою датчиків, таких як радар, лідар і камери, далі ця інформація передається в систему запобігання зіткненням.

2. Оцінка ризиків де використовується інформація, зібрана датчиками, для визначення ризику зіткнення з кожною із виявлених перешкод. Оцінка ризику враховує такі фактори, як розмір, швидкість і напрямок руху перешкоди, а також швидкість і напрямок руху самого судна.

3. Корекція курсу яка на основі оцінки ризику рекомендує коригування курсу для уникнення перешкоди. Це може передбачати зміну швидкості або напрямку судна, або і того, і іншого.

4. Прийняття рішення про те, чи прийняти або відхилити рекомендовану корекцію курсу. Якщо судно приймає корекцію курсу, воно виконує необхідні зміни швидкості і напрямку, щоб уникнути перешкоди.

5. Прогнозування зіткнення, коли система безперервно відстежує навколишню обстановку і прогнозує потенційні зіткнення з іншими суднами або перешкодами в майбутньому. Згодом вона рекомендує подальшу корекцію курсу, щоб уникнути цих потенційних зіткнень. Якщо система запобігання зіткненням не може прийняти рішення або ситуація вимагає втручання людини – оператора, щоб він взяв на себе контроль над судном і прийняв необхідні рішення для уникнення зіткнення.

Висновки. Варто підкреслити, що в контексті концепції безекіпажного судноводіння не йдеться про винахід нового підходу або нової сутності перевезення вантажів морем, йдеться про перетворення того функціоналу, який вже притаманний екіпажам морських суден. Процеси судноводіння, технології перевезення вантажів та всі інші функції послідовно виконуються в автоматичному та дистанційному режимах. Завдяки впровадженню автономних суден судноплавні компанії зможуть скоротити операційні витрати

на 15–30%. Це також дозволить покрити дефіцит висококваліфікованих моряків, який зараз досягає 20% від необхідної робочої сили. Застосування математичних моделей для вирішення практичних навігаційних завдань, нових технологій визначення місцеположення і курсовказання і управління рухом автономних суден стає все більш актуальним, в основному завдяки використанню комп'ютерних технологій у суднових навігацій-

них систем. Впровадження інноваційних методів і технологій в процеси управління автономним судном при виконанні ключових суднових операцій, зумовлює також необхідність постійного розроблення нового та удосконалення наявного суднового та берегового обладнання, а також створення основ для розвитку автономного портового флоту та підготовки спеціалістів для експлуатації та управління автономними суднами.

Список літератури:

1. Mingyu & Joung, Tae-Hwan & Jeong, Byongug & Park, Han-Seon. Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*. 2020. 4. 10.1080/25725084.2020.1779427.
2. Pietrzykowski, Zbigniew & Hajduk, Jerzy. Operations of Maritime Autonomous Surface Ships. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2019. 13. P. 725-733. 10.12716/1001.13.04.04.
3. Kurt, Ismail & Aymelek, Murat. Operational and economic advantages of autonomous ships and their perceived impacts on port operations. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24. 10.1057/s41278-022-00213-1.
4. Kim, Tae-eun & Perera, Lokukaluge & Sollid, Magne-Petter & Batalden, Bjørn-Morten & Sydnese, Are. Safety challenges related to autonomous ships in mixed navigational environments. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2022. 10.1007/s13437-022-00277-z.
5. Kim, Tae-eun & Mallam, Steven. A Delphi-AHP study on STCW leadership competence in the age of autonomous maritime operations. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2020. 19. P. 163–181. 10.1007/s13437-020-00203-1.
6. Størkersen, Kristine. Safety management in remotely controlled vessel operations. *Marine Policy*. 2020. 130. 104349. 10.1016/j.marpol.2020.104349.
7. Bogusławski, Krzysztof & Gil, Mateusz & Nasur, Jan & Wróbel, Krzysztof. Implications of autonomous shipping for maritime education and training: the cadet's perspective. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24. 10.1057/s41278-022-00217-x.
8. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022. 114, P. 91-101. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>.
9. Onishchenko, Oleg & Shumilova, Kateryna & Volyanskyy, S. & Volyanskaya, Y. & Volianskyi, Y. Ensuring Cyber Resilience of Ship Information Systems. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2022. 16. P. 43-50. 10.12716/1001.16.01.04.
10. Golikov, V. & Golikov, V. & Volyanskaya, Ya & Mazur, Oksana & Onishchenko, Oleg. A simple technique for identifying vessel model parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. 172. 012010. 10.1088/1755-1315/172/1/012010.
11. Kooij, Carmen & Colling, Alina & Benson, C. When will autonomous ships arrive? A technological forecasting perspective. 2018. 10.24868/issn.2515-818X.2018.016.
12. IMO MSC.1/Circ.1638 (Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS))
13. Miyoshi, T., Fujimoto, S., Rooks, M., Konishi, T., & Suzuki, R. Rules required for operating maritime autonomous surface ships from the viewpoint of seafarers. *Journal of Navigation*, 2022. 75(2), P. 384-399. doi:10.1017/S0373463321000928.
14. Melnyk, O., Onyshchenko, S., Koryakin, K. Nature and origin of major security concerns and potential threats to the shipping industry. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2021. 113, P. 145-153. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.113.11>.
15. Onyshchenko S., Melnyk O. Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2021. 14 (6), 132 – 136. DOI: 10.25103/jestr.146.15
16. Autonomous ship steering system developed. *Digital Ship – Digital Energy Journal*. 2017. URL: <https://thedigitalship.com/news/maritime-satellite-communications/item/5016-autonomous-ship-steering-system-developed>. (Доступно на 25.07.2022).
17. V.Filimonov Autonomous ships and the difficulties of their operation. *Baltic Lloyd*. 2020. URL: <https://baltlloyd.ru/sudohodstvo/avtonomnye-suda-i-trudnostihjekspluatacii.html>. (Доступно на 25.07.2022).

Melnyk O.M. CREWLESS SHIPPING AS A DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN MARITIME TRANSPORTATION

Maritime transport has recently become one of the new promising industries for the application and development of information technology. The reasons for this were the traditional conservatism of the industry, the long cycle of ship design and operation, and, most importantly, the underdeveloped and expensive telecommunications infrastructure based mainly on satellite technologies. The transfer of large volumes online has become the main criterion for business efficiency. However, the desired level of development of such technologies in maritime transport has not yet been achieved, but shipping is in great need of developing and implementing the latest technologies to improve the efficiency of transportation operations and ensure their safety. The exclusion of the human factor from ship navigation processes has led to the emergence of autonomous vessels, but there are still a number of unresolved issues in the course of their operation, such as positioning control, study of limitations and sources of errors of satellite radio navigation systems, consideration of erroneous or incorrectly interpreted information by the system and methods and algorithms for its correction in order to improve positioning accuracy, which together are of significant practical interest. This article analyzes the development of unmanned navigation systems and the ways of their implementation in the field of merchant shipping, as well as the ways of using technologies for efficient data exchange between autonomous vessels and the shore within a single information network linking all elements of the control system. The article considers the peculiarities of monitoring and location and ensuring that an autonomous vessel stays on a given course based on e-navigation technologies.

Key words: *autonomous ship, crewless navigation, innovative technologies, maritime transport, positioning accuracy, navigation safety.*

Михайлова Ю.В.

Одеський національний морський університет

Доля О.Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Вільшанюк М.С.

Одеський національний морський університет

Стеба А.А.

Одеський національний морський університет

ОСОБЛИВОСТІ АГЕНТУВАННЯ МОРСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ СУДЕН НА РИНКУ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ

Перевезення пасажирів на судах на сьогодні є досить актуальною темою. Круїзні маршрути, подорожі морем завжди залучають достатню кількість бажаючих здійснити поїздки на судні. При цьому виникає низка питань, які необхідно вирішити у найкоротші терміни із задоволенням запитів усіх зацікавлених сторін: пасажирів, судновласників, контролюючі органи, портова влада, туристичні компанії, страхові компанії, шипчандлерські компанії. У цьому випадку виникає необхідність залучення такого фахівця, як морський агент. Він представляє інтереси принципала в порту при заході судна в порт. Агент здатний скоординувати роботу портових служб, як-от буксирні, лоцманські, портовий нагляд. У цій статті зазначено специфіку роботи морського агента на пасажирському судні, її особливості. Функції морського агента у пасажирському судноплаванні не властиві роботі агента під час обслуговування вантажних суден. У багатьох джерелах багато уваги приділяється морському агенту, який обслуговує вантажні судна, при цьому відчувається нестача матеріалу щодо роботи морського агента в пасажирському судноплаванні. У роботі розглянуто порядок взаємодії морського агента з тревел-агентом, з капітаном, портовою владою, особливості обслуговування пасажирського судна, порядок дій агента в екстрених випадках, наприклад, при різкому погіршенні самопочуття одного з пасажирів. Також визначено пакет документів, необхідний оформлення пасажирського судна у порту як під час приходу, і при відході судна. Було вивчено питання загального порядку організації пасажирських перевезень, представлено функціональну структуру організації пасажирських перевезень, визначено поняття у питанні класифікації морських агентів у пасажирському судноплаванні. Окремо було розглянуто питання щодо оформлення яхт в порту, оскільки там присутня специфіка роботи цих суден та порядку їх заходу до порту.

Ключові слова: морське агентування, морський агент, пасажирські перевезення, принципал, судно, рейс, судновласник.

Постановка проблеми. Агентування морських пасажирських суден на сьогоднішній день є маловивченим питанням. При цьому на практиці часто виникають ряд питань щодо оформлення приходу морського пасажирського судна, який обсяг повноважень у агента під час укладання договорів на обслуговування судна, на постачання запасів тощо. У пасажирському судноплаванні на ринку туризму з'являються особливі види агентів, що й є відмінністю роботи агента на пасажирському судні. В результаті вивчення робіт різних авторів було зроблено висновок, що більша увага приділяється агентуванню вантажних суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання морського агентування розкривають

праці вітчизняних та іноземних авторів. Темі автоматизованої інформаційної підтримки діяльності морських агентів та оптимізації роботи з постачання суден у сервісних ергастичних системах присвячені роботи одного із фахівців у галузі морського агентування [1-3]. У роботах [4-6] торкнулося дослідження організації пасажирських морських перевезень загалом. Авторами [7-12] визначено поняття та функції морських агентів при обслуговуванні вантажних суден.

Специфіка роботи агентів на круїзних судах розглянута [13] у невеликому обсязі та потребує більш пильного вивчення.

Постановка завдання. У цій роботі пропонується вивчити особливості роботи морських аген-

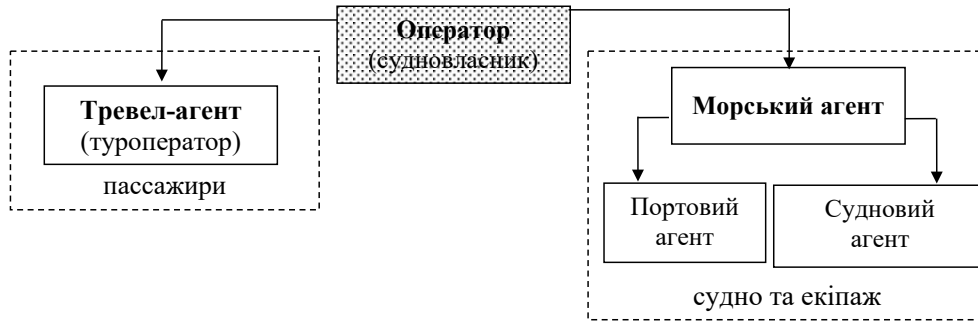


Рис. 1. Загальна схема організації перевезень у пасажирському судноплавстві

тів на пасажирському судні, обсяг їх повноважень та взаємозв'язок з рештою учасників перевезення пасажирів. Робота агентів у пасажирському судноплавстві пов'язана з виконанням багатьох функцій, які не властиві функціям агента при обслуговуванні вантажних перевезень. У зв'язку з цим хотілося б відзначити, що з'являються нові види агентів, причому залежно від умов вони можуть поєднувати функції кількох учасників.

Виклад основного матеріалу дослідження. У пасажирському судноплавстві всі функції, пов'язані зі складанням та оголошенням розкладу, встановленням проїзної плати та умов перевезення, організацією системи залучення пасажирів, резервування місць та продажу квитків, здійснюються, як правило, оператором (судновласником). Однак у світовій практиці часто пасажирські судна здаються у тайм-чартер фрахтувальнику, який сам організує їх експлуатацію, приймаючи на себе згадані функції оператора (судновласника). У пасажирському судноплавстві типовою є така схема організації перевезень (рис. 1).

У зазначеній схемі *можуть мати місце деякі модифікації*, наприклад:

– замість судновласника оператором може виступити туристична фірма-фрахтувальник,

яка фрахтує пасажирське судно на умовах тайм-чартеру (рис. 2);

– морський агент, маючи ліцензію на туристичну діяльність і одночасно будучи туроператором, що займається залученням пасажирів, резервуванням та букуванням місць, може сам зафрахтувати судно, виступаючи одночасно як оператор і генеральний агент (рис. 3);

– тревел-агент (туроператор) може виступати як генеральний агент, приймаючи на себе, таким чином, виконання всього комплексу заходів, пов'язаних із завантаженням судна та залученням пасажирів (рис. 4).

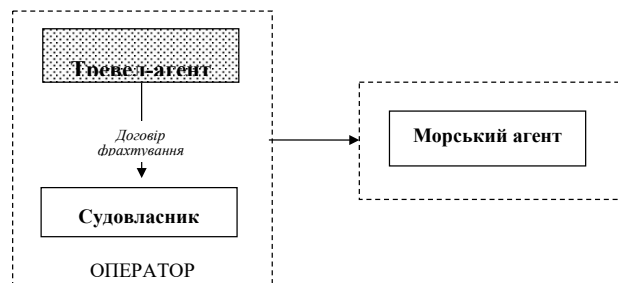


Рис. 2. Оператор у схемі організації пасажирських перевезень

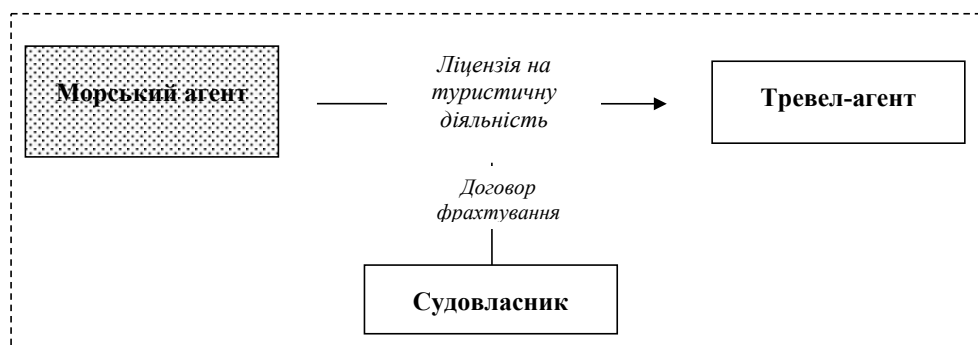


Рис. 3. Оператор та генеральний агент у схемі організації пасажирських перевезень

У загальному вигляді з урахуванням виконуваних учасниками функцій структура організації пасажирських перевезень може бути наступною (рис. 5).

Оператором лінії або круїзу може виступати безпосередньо судновласник або туристична фірма-фрахтувальник.

Судновласник щорічно скликає агентів та туроператорів, які обслуговують його судна на нараду, на якій розглядаються загальні питання та результати роботи лінії, комерційна діяльність агентів і туроператорів, узгоджуються розклади та тарифи на наступний рік, розподіляються квоти місць, складається кошторис витрат, перелік заходів тощо.

Надання судна по чартеру туристичним агентствам є вигідним та зручним для судновласника способом експлуатації судна, оскільки він звільняється від обов'язків щодо реалізації квитків, проведення рекламних заходів та екскурсійного обслуговування пасажирів у портах заходу. Згідно з укладеним договором фрахтування проведення

всіх заходів, пов'язаних з комерційною експлуатацією судна, стає і правом і обов'язком **фрахтувальника**. В даному випадку фрахтувальник, як самостійний оператор сам вступає у ділові взаємини з тревел-агентами з питань залучення клієнтів та організації продажу квитків та з морськими агентами з обслуговування судна в порту.

Коло обов'язків **агента**, широта його повноважень залежить від правового статусу (портовий агент, судовий агент, генеральний агент, спеціальний агент) та від виду судноплавства (круїзне або лінійне), яке він обслуговує.

Тревел-агент (туроператор) – це один із видів спеціальних агентів.

В силу специфіки своєї роботи кожен тревел-агент пов'язаний з багатьма туристичними та транспортними компаніями, готельними та ресторанными фірмами. Отримавши від капітана інформацію про екскурсії, замовлені групами туристів, тревел-агент повинен подбати про їх організацію, а за відсутності в нього ліцензії на це забезпечити проведення екскурсій через спеціалізовані фірми.

Зазвичай тревел-агент несе перед принципалами матеріальної відповідальності за обсяг реалізованих ним послуг, а стимулом його діяльності є комісійна винагорода, розмір якої становить певний відсоток від загальної суми виручки за реалізовані ним послуги.

Взаємини тревел-агента з його принципалом оформляють як письмової угоди, але можлива і усна домовленість.

Генеральний агент – це агент оператора (судновласника або фрахтувальника), який діє на підставі укладеної угоди, за якою він має виключне

право агентування всіх суден принципала в зоні дії агента. Генеральний агент, призначений у будь-якій країні чи регіоні, координує та контролює діяльність інших агентів у цій країні чи регіоні, які по відношенню до нього виступають як субагенти.

Судновласник чи генеральний агент залежно від сезону, величини та структури пасажиропотоку, а також техніко-економічних характеристик суден на напрямку, розподіляє квоту пасажирських місць між тревел-агентами. Порядок розподілу квот, система та терміни взаємної інформації регламентуються спеціальними інструкціями або положеннями.

За виконання своєї роботи генеральний агент отримує за договором із судновласником комісійну винагороду, яка

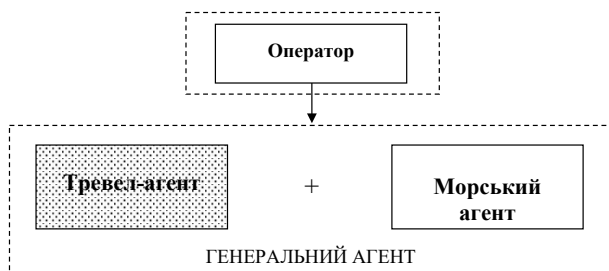


Рис. 4. Генеральний агент у схемі організації пасажирських перевезень

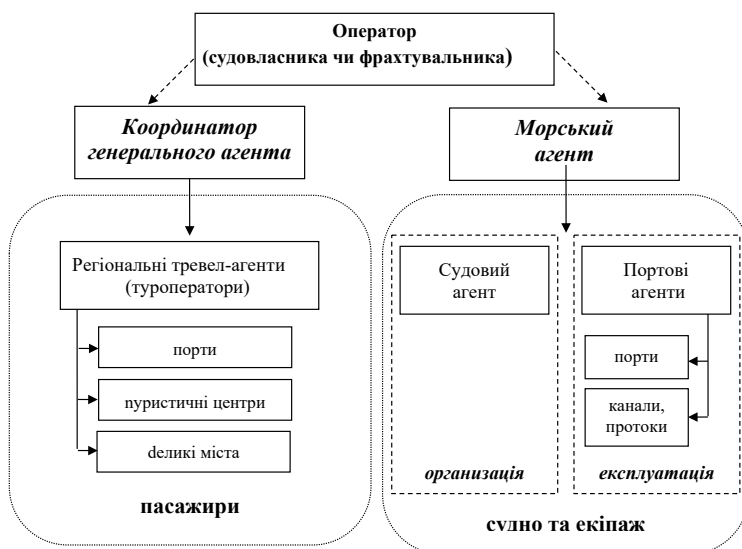


Рис. 5. Функціональна структура організації перевезень у пасажирському судноплавстві

становить певний договором відсоток від суми пасажирської виручки чи фрахту. Взаємини між судновласником та генеральним агентом регулюються Угодою на генеральне агентування (General agency agreement), яка досить широко охоплює всі аспекти співпраці сторін. Генеральна угода зазвичай укладається терміном від 3 до 5 років із щорічним уточненням найменувань використовуваних суден, термінів, розкладів, цін тощо.

Особливості туристичного ринку, обсяг оголошених на ринку круїзних програм, сезонність та специфіка попиту, необхідність залучення до реалізації програми великої кількості тревел-агентів іноді вимагають призначення **координатора генерального агента**, який обирається оператором у країні, де планується проведення круїзної програми, з-поміж великих туристичних фірм, які мають досвід у маркетингу морських круїзів. Призначивши генерального агента круїзної програми, оператор надає йому від свого імені повноваження на розробку проектів розкладів та цін, розподіл квот місць, організацію роботи туроператорів та контроль за їх діяльністю.

Морський агент як правило, виконує функції, які можна класифікувати так: організація всього комплексу заходів, пов'язаних з обслуговуванням судна в порту заходу, незалежно від того, хто оплачує портові збори та агентську винагороду; обслуговування пасажирів; обслуговування екіпажу судна.

Через агента оператор (судновласник чи фрахтувальник) входить у ділові відносини з третіми особами у різних галузях комерційної діяльності, яких можна віднести буксирування, лоцманську проводку, оренду устаткування, страхування, постачання тощо.

За існуючими в портах звичаями пасажирські судна мають статус «**яхтового обслуговування**», тобто пасажирському судну всі необхідні послуги надаються в першу чергу через агента пасажирського судна, таким чином, він зобов'язаний стежити за тим, як виконується це положення імміграційною, санітарною, митною та портовою владою, буксирною, лоцманською, шипчандлерською та іншими компаніями. Це означає, що лоцман повинен бути заздалегідь попереджений про час підходу судна та чекати його в обумовленому місці, щоб без затримки здійснити проведення судна до підготовленого причалу. Так само повинні бути замовлені буксири при постановці судна до причалу та відході від нього.

На підставі інформації тревел-агентів морський агент готує і представляє імміграційним,

митним і санітарним владі в терміни, зумовлені місцевими правилами, пасажирський маніфест, організує посадку (висадку) пасажирів і навантаження (вивантаження) багажу, що належить їм, і автомашин. Затримка виходу пасажирів на берег з вини агента є неприпустимою і в подібних випадках ніякі вибачення перед пасажирами не рятують положення. Якщо стоянка триває кілька днів, судновласник та його агент повинні виявити турботу про тих пасажирів, які використовують судно. Усі пасажирів повинні бути сповіщені про точний час відплиття і попереджені, що запізнілі повинні наздоганяти судно в наступному порту заходу будь-яким видом транспорту власним коштом. Агенту слід своєчасно поінформувати адміністрацію судна, дирекцію круїзу і відповідно пасажирів про всі місцеві митні, імміграційні та санітарні правила, щоб не поставити екіпаж і пасажирів у скрутне становище. Якщо пасажирське судно з будь-якої причини порушує оголошений розклад, агент зобов'язаний потурбуватися про розміщення пасажирів, що прибули, і проінформувати свого принципала про вжиті ним заходи і понесені у зв'язку з цим витрати. Однією з найважливіших функцій агента пасажирського судна є організація постачання. Враховуючи короткий період стоянки круїзних та особливо лінійних суден, великі обсяги та широкий асортимент постачання, підготовку постачальницьких операцій необхідно розпочинати задовго до приходу судна до порту. Агент по радіо отримує заявки судна на бункер, воду, олії, продовольство та інші види постачання, багато з яких не характерні для суден вантажного флоту; квіти, свіжі газети та журнали, зубочистки, серветки тощо. Агент розміщує замовлення, попередньо вторгує ціни з відповідними фірмами, рекомендованими судновласником, погоджує з власниками фірм час доставки постачання на борт судна, маючи на увазі, що пасажирське судно не може бути затримане в порту ні на хвилину.

Агент може виступати також і як **брокер-посередник** між судновласником і фрахтувальником пасажирського судна. Розмір брокерської комісії агента визначається угодою між трьома сторонами під час укладання угоди.

Як у лінійному, і у круїзному судноплаванні існує типова форма угоди з агентами, де докладно регламентуються правничий та обов'язки сторін, зокрема, система оформлення проїзних документів, звітності, терміни і порядок переказу грошей судновласнику чи генеральному агенту.

Проведення підготовчих робіт, завчасне надання необхідних і правильно оформлених

документів офіційній владі, проведення низки організаційних заходів, пов'язаних із підготовкою до прийому пасажирського судна, є найважливішою частиною роботи портового агента. Добре організований та підготовлений прийом сприяє продовженню корисної стоянки судна, збільшенню часу участі пасажирів у берегових екскурсійних програмах.

Підготовча робота агента з обслуговування судна починається з отримання їм інформації про підхід судна. Першою турботою агента є сповіщення про підхід судна з подальшим уточненням з отримання додаткової інформації від капітана судна часу підходу. Далі агент має подбати про завчасне номінування причалу.

В портах, де лоцманська та буксирна проводка судна до причалу складається з двох операцій – морської та портової, агент зобов'язаний скоординувати їх таким чином, щоб не допустити простою судна на стику двох операцій.

Після отримання від судна попередньої інформації (дається за 48 годин і за 24 години) про передбачуваний час підходу (ETA – expected time of arrival) до точки прийому лоцмана (Pilot position) агент дає заявки до адміністрації порту:

– **на підхід** (окрема заявка, за тією ж формою, надається до митної служби),

– **на бункерування судна водою** (у заявці необхідно вказати не лише потрібну кількість води, а й адресу місцезнаходження судновласника),

– **на зняття сухого сміття** (згідно з існуючими правилами, у курортних містах з пасажирських суден приймається тільки сухе сміття нехарчового походження, харчові відходи здавати на берег заборонено).

До 2003–2004 років, ніяких складнощів у вирішенні питання бункерування судна не було. Судно подавало заявку агенту про необхідність бункерування прісною водою після приходу до порту. Агент подавав заявку порту, порт інформував відповідну митну службу про заплановане бункерування. Після приходу в порт пасажирське судно отримувало прісну воду в необхідній кількості, а порт отримував належну винагороду за надані послуги (порти продають не воду, а свої послуги з організації бункерування). А послуги, що надаються портами, відповідно до чинного законодавства не підлягають спеціальному митному оформленню.

У 2004 р. митні органи виставили вимогу щодо необхідності оформлення митних декларацій за формою МД-2 при організації бункерування круїзних суден прісною водою. Для такого оформлення

у вантажний відділ припортової митниці потрібно було подати такі документи: заявку на ім'я начальника порту із зазначенням кількості води, необхідної для бункерування судна та юридичної адреси судновласника; договір про взаємини між портом та агентською компанією, що працює на території порту; копію аркуша судновласника для номінування агента; засвідчений переклад листа про номінування агента судновласником; копію заявки на бункерування водою з обов'язковим зазначенням необхідної кількості тонн;

засвідчений переклад заявки судна на бункерування водою;

документ, у якому зазначено прапор судна та місцезнаходження судновласника (класифікаційне свідоцтво відповідного Реєстру).

У 2007 р. портам та агентуючим компаніям були пред'явлені нові митні вимоги, які ще більше ускладнили процедуру декларування водопровідної води. Згідно з виставленими вимогами, агенти повинні при оформленні заявки на бункерування судна подавати в митні органи не номінацію від судноплавної компанії, а договір агентування.

За існуючою схемою капітани вказували в заявці лише необхідність отримання бункера в порту заходу. Після приходу судна вода подавалася на борт через береговий водопровід у максимальній можливій кількості. Після закінчення бункерування,

Перед відходом судна підписувалися документи, що підтверджують кількість відпущеної судну води, судновласнику виставлявся рахунок, який оплачувався своєчасно та в повному обсязі.

Відповідно до нових вимог, до початку бункерування оформляється митна декларація форми МД-2 на заявлену кількість води. Після її оформлення (на бланку декларації наприкінці оформлення налічується 5–6 різних митних печаток та штампів), з отриманням дозволу від відповідної митної служби починається процес бункерування. Подача води на судно зупиняється після фіксації кількості відпущеної води на водомірі.

Основна проблема тут полягає в тому, що у разі отримання від судна заявки на поставку додаткової кількості води, цю заявку практично неможливо виконати, оскільки задекларована кількість води вже видана, а на оформлення нової декларації часу не залишається. Періодично митним брокером можуть вимагатися й інші документи, без надання яких виникають проблеми з оформленням митної декларації, що у свою чергу може перешкоджати своєчасному початку бункерування судна прісною водою.

Дуже важливим моментом в організації прийому пасажирських суден у портах є організація та порядок роботи офіційної влади. В даний час робота організована так, що проходить не більше 15–25 хвилин з моменту підйому комісії на борт судна до отримання вільної практики для проведення пасажирських операцій та участі у екскурсійних програмах.

До складу комісії (як правило, не менше 10–12 осіб) крім агента входять представники: санітарно-карантинного відділу порту, прикордонної (імміграційної) служби, митної влади, ветеринарного та фітосанітарного контролю, екологічної служби, соціальних служб роботи з моряками (клубу або міжнародного центру роботи з моряками).

Враховуючи, що робота комісії з документами вимагає досить тривалого часу, головне завдання агента перед початком документального оформлення судна, вирішити питання з владою про дозвіл виходу пасажирів на берег. Як правило, члени комісії не мають заперечень проти такого порядку роботи. Тим більше, що чинне положення про порядок пропуску через державний кордон передбачає лише документальне оформлення круїзних суден.

Тому агент насамперед отримує від пасажирського помічника екземпляри Пасажирського маніфесту та Суднової ролі. Уточнює, чи відповідають вони спискам, попередньо висланим агенту і представленим імміграційній службі.

Якщо змін немає, то, як правило, прикордонній владі за погодженням з представниками митниці та СКО, дають дозвіл на вихід пасажирів. Агент може повідомити пасажирського помічника, що "Ship is cleared for the passengers".

Після закінчення документального оформлення судна та сходу влади на берег агент приступає до виконання судових заявок, а також займається організацією підготовки документів, необхідних для оформлення відходу судна.

Зійшовши на берег, агент вручає капітанові портового нагляду такі документи: Генеральна декларація з додатком списку чинних судових документів; копія Мерительного свідчення (Tonnage Certificate); Суднова роль; Список пасажирів.

На агенті лежить обов'язок своєчасного подання заявок усім компаніям та установам, які беруть участь у обслуговуванні судна. Агент повинен проконтролювати виконання всіх видів послуг та формальностей у узгоджені терміни.

У період стоянки судна в порту крім документального оформлення агент організує вико-

нання низки операцій з обслуговування судна та екіпажу: постачання судна паливом, судовими оліями, прісною водою, продовольством тощо, ремонт судна або судового обладнання, відновлення або заміна за необхідності судових сертифікатів, прання білизни для екіпажу та пасажирів, здавання судном сміття, фекальних вод та баласту, видача готівки капітану та команді за їх заявкою, медичне обслуговування пасажирів та членів екіпажу, їх госпіталізація та репатріація з одужання, організація зміни екіпажу та узгодження нової судової ролі з прикордонною владою, доставка та відправлення судової кореспонденції, ряд інших обов'язків.

Організація відходу пасажирського судна значно простіша, ніж виконання формальностей на відхід вантажного судна. Як правило, все документальне оформлення відбувається на березі, влада на борт судна перед відходом не піднімається.

Для документального оформлення відходу агент повертає представникам митної служби комплект документів, отриманий адміністрацією судна від митної служби до приходу з відповідними відмітками митниці. Додатково представникам митниці надається комплект документів в одному примірнику, аналогічний представленому комплекту документів на прихід. Для адміністрації судна митного оформлення документів не здійснюється і будь-які документи на судно не передаються.

Агент повинен прибути на судно не менше ніж за годину до відходу судна з порту, щоб було достатньо часу оформити дисбурсментські рахунки та звітувати про виконану роботу за заявками адміністрації судна. Після виконання цих заходів агент вручає пасажирському помічнику акти СКО та карантинних служб, Суднову роль та Пасажирський маніфест з відмітками прикордонної служби, які мають бути представлені в наступному порту заходу. "Port Clearance" – остаточний документ, що вручається агентом пасажирському помічнику. Цей документ підтверджує, що судно не має жодних зобов'язань перед портом і може безперешкодно виходити в рейс згідно з розкладом. Про закінчення документального оформлення судна та його готовність до виходу в рейс після повернення всіх пасажирів на борт агент повідомляє по УКХ зв'язку капітану портового нагляду та лоцманам.

Після відходу судна з порту робота агента не закінчується, агент зазвичай виконує такі функції:

– інформування судновласника про всі події, що стосуються стоянки судна в порту. Як правило,

в e-mail повідомленні, що надсилається судновласнику, передається наступна інформація: час підходу судна на рейд, час підйому лоцмана на борт, час швартування судна до причалу, початок роботи влади, початок висадки пасажирів на берег, випадки організації медичного обслуговування пасажирів та членів екіпажу, ін.

Також дається інформація: про прибуття агента на борт судна для оформлення відходу, фіксується час приходу лоцманів на борт, зазначається час закінчення підготовки документів, час вручення документа "Port Clearance", час повернення останніх пасажирів на борт судна, время отшвартовки судна от причала;

- інформування агента порту призначення про час відходу судна, що передбачається прибуття в порт призначення;
- здійснення грошових розрахунків з третіми особами за витратами судна, формування дисбурсментських рахунків та відправлення їх у відповідний банк судновласника;
- інкасація фрахтової виручки та здійснення переказів фрахту судновласнику;
- регулювання претензій за окремими дорученнями судновласника та капітана.

За сучасними міжнародними нормами, що склалися, для оформлення яхтового заходу в іноземний порт, **капітан надає владі** три основні документи: Суднова роль; Судновий квиток; Транзитний лог, в якому відображаються позначки імміграційної, митної та інших контролюючих служб.

У закордонних портах оформленням яхт займається самостійно судновий агент, на борт яхти не піднімається ніхто, крім агента. У портах України оформлення яхт здійснюється згідно з [14-15]. Як впливає з вимог цього документа, **до складу комісії з контролю яхт, їхнього екіпажу та пасажирів** входять представники: прикордонного контролю, митного контролю, ветеринарного та фітосанітарного контролю, логічного контролю, санітарно-карантинного контролю, контролю над переміщенням культурних цінностей.

Питання організації списання з судна хворих пасажирів і членів екіпажу з метою їх подальшої госпіталізації організаційно не складне. Госпіталізація потрібна у випадках складних захворювань і агент є єдиною особою, яка може і повинна надавати увагу списаному з судна хворому іноземному громадянину.

При отриманні інформації від адміністрації судна про необхідність списання хворого пасажира або члена екіпажу, агент повинен офіційно інформувати санітарно-карантинний відділ порту,

імміграційну та митну служби. Для списання хворого необхідно отримати висновок суднового лікаря про хворобу, в якій обов'язково має бути письмово зазначено, що медична служба судна вимагає госпіталізації хворого в береговому лікувальному закладі.

При списанні з судна члена екіпажу агент повинен отримати від адміністрації судна також письмову гарантію про те, що всі витрати на госпіталізацію та подальшу репатріацію здійснюються за рахунок судновласника. Надалі агент діє від імені судновласника, оплачуючи всі необхідні витрати, пов'язані з лікуванням та репатріацією моряка. Після одужання хворого члена екіпажу та відправлення його на батьківщину всі витрати включаються додатковий дисбурсментський рахунок.

Агентська компанія, що займається агентуванням круїзних суден, в обов'язковому порядку повинна мати довгостроковий договір з міськими лікувальними установами, в якому обумовлюється порядок госпіталізації іноземних громадян та надання їм лікарняних палат. При укладанні договору з лікувальною установою необхідно уточнити, якими страховими товариствами дана лікувальна установа уповноважена надавати медичну допомогу хворим у разі настання страхових випадків.

Туроператор зобов'язаний страхувати пасажирів, які беруть участь в екскурсіях і, при необхідності, організувати цим пасажиром належне медичне обслуговування. У зв'язку з цим, з усіх питань, у тому числі пов'язаних з наданням медичних послуг пасажиром, необхідністю госпіталізації, судова адміністрація звертається до судового агента.

Крім того, часто пасажири подорожують сім'ями, тому члени сім'ї хворого (чоловік, дружина, діти) можуть виявити бажання зійти на берег разом із захворілим родичем. Агент у разі має подбати про забезпечення родичів житлом на березі. Однак у цьому випадку також необхідно врахувати, що деякі пасажири мають страховку, згідно з якою у випадках важких захворювань за ними страхова компанія висилає санітарну авіацію для доставки в європейські лікувальні клініки. Тому агент має попередити родичів, що санітарна авіація бере на борт лише хворого без об'ємного багажу. Родичам доведеться діставатися додому самостійно.

При списанні пасажира з судна агенту зазначається, що всі витрати у разі пасажир компенсує рахунок свого страхового поліса. Страхових полісів, так само як і страхових компаній, що забез-

печують страхування пасажирів, велика кількість. Тому агент обов'язково перед списанням хворого пасажирів з борту судна повинен з'ясувати в дирекції круїзу назву та адресу туристичної фірми, в якій даний пасажир придбав квиток на круїз.

Справа в тому, що незалежно від особистої страховки, що є у пасажирів, кожна туристична фірма в обов'язковому порядку страхує життя і здоров'я пасажирів при реалізації квитків на круїз. Тому якщо індивідуальний страховий поліс пасажирів не акцептується лікувальним закладом, агенту необхідно зв'язатися з туристичною фірмою, що реалізувала квиток на круїз. У цьому випадку туристична компанія забезпечує відшкодування витрат згідно з чинними міжнародними нормами. Але якщо своєчасно її виконати, отримати поруку турагентства на організацію лікування хворого пасажирів, то витрати агента будуть компенсовані у повному обсязі.

Заявка на госпіталізацію пасажирів від судового лікаря може надійти за кілька хвилин до запланованого відходу судна. Агенту слід у стислий термін оформити необхідні для списання пасажирів документи, зібрати його особисті речі, викликати «Швидку допомогу», інформувати владу, вирішити низку інших організаційних

питань. Тому часто питання про наявність у пасажирів страхового поліса відходять на другий план.

Однак необхідно пам'ятати, що організація медичного обслуговування тяжко хворого іноземного пасажирів вимагає від агента значних матеріальних витрат. Допомога хворому необхідно надавати негайно, проте, якщо агент не матиме достатньої інформації про страхування пасажирів, це може призвести до економічних втрат морського агентства.

Висновки. В результаті аналізу діяльності морського агента в пасажирському судноплаванні було зроблено висновок, що відмінною особливістю є робота з великим колом осіб: пасажирів, контролюючі органи, портова влада, компанії, що забезпечують припасами, туристичні компанії, лікувальні установи. При цьому в деяких випадках, наприклад, при різкому погіршенні самопочуття пасажирів, необхідно діяти екстрено, оперативно, вміти прийняти правильне рішення, здатне задовольнити всі зацікавлені сторони.

Вивчення даного питання надалі дозволить визначити технологію функцій морського агента, скласти типовий алгоритм його дій, що дозволить автоматизувати процес агентування морських пасажирських суден.

Список літератури:

1. Петров І.М., Вичужанін В.В., Рудніченко М.Д., Шибаяєва Н.О., Шибаяєв Д.С. Проектування автоматизованої інформаційної системи підтримки діяльності морського агента в сервісних ергатичних системах. Вісник сучасних інформаційних технологій, 2018. № 1 (1). С. 36-48.
2. Петров И.М. Диверсификация агентской деятельности и предоставление шипчандлерских услуг. URL: http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/natural/sudovozhdenie/2011_20_Ptrov.pdf (дата звернення 15.12.2022)
3. Петров І.М. Модель оптимізації управління запасами на консигнаційних складах в сервісних ергатичних системах на морському транспорті. Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2016. № 2 (15). С. 57-64
4. Михайлова Ю.В. Пассажи́рские перевозки. Одесса, ОНМУ, 2013. 325 с.
5. Tourism towards 2030. Global overview / UNWTO. Gyeongju, 2011. 19 p.
6. Travel & Tourism Economic Impact 2011 Ukraine / World Travel & Tourism Council. London, 2011. 20 p.
7. Кодекс торговельного мореплавства України. 1994 р. (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № NN 47-52, ст.349).
8. Полтавський О. В. Договір морського агентування у світлі поділу норм Кодексу торговельного мореплавства України на приватні та публічні. Вісник Національного університету внутрішніх справ, 2004. № 26. С. 250-254.
9. Агентування морського торговельного флоту. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0066697-03> (дата звернення 14.02.2023)
10. Кулієв А., Саліхоглу М. Правова основа діяльності морського агента. URL: <http://pgp-journal.kiev.ua/archive/2019/12/20.pdf> (дата звернення 14.11.2022)
11. Балобанов О.О., Пальченко А.А. Збірник лекційних і практичних матеріалів з правового регулювання морського агентування. Одеса, 2021. 104 с.
12. Локотей Т. Операції з агентування морських суден: правове регулювання, бухгалтерський та податковий облік. [Електронний ресурс]. URL: https://jurliga.ligazakon.net/ru/analitics/167198_operats-z-agentuvannya-morskikh-suden-pravove-regulyuvannya-bukhgalterskiy-ta-podatkoviy-oblk (дата звернення 23.09.2022)
13. Селиванов В.В. Агентирование круизных судов и яхт. Одесса: Феникс, 2010. 240 с.

14. Постанова КМУ № 451 від 21.05.2012 «Питання пропуску через державний кордон осіб, автомобільних, водних, залізничних та повітряних транспортних засобів перевізників і товарів, що переміщуються ними» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/451-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення 14.10.2022)

15. Наказ Міністерства інфраструктури України № 430 від 27.06.2013 «Про затвердження Порядку оформлення приходу суден у морський порт, надання дозволу на вихід суден у море та оформлення виходу суден із морського порту». https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1230-13?find=1&text=%D1%8F%D1%85%D1%82#w1_1 (дата звернення 18.10.2022)

Mykhailova Iu.V., Dolia O.E., Vil'shaniuk M.S., Steba A.A. FEATURES OF AGENCIES OF MARINE PASSENGER SHIPS

Transportation of passengers on ships is a very relevant topic today. Cruise routes and sea trips always attract a sufficient number of people willing to travel by ship. At the same time, a number of issues arise that must be resolved as soon as possible to satisfy the requests of all interested parties: passengers, shipowners, control authorities, port authorities, travel companies, insurance companies, shipchandler companies. In this case, there is a need to involve such a specialist as a maritime agent. He represents the interests of the principal in the port when the ship enters the port. The agent is able to coordinate the work of port services, such as tugboats, pilotage, port supervision. This article specifies the specifics of the work of a maritime agent on a passenger ship, its features. The functions of a maritime agent in passenger shipping are not typical of the work of an agent during the maintenance of cargo ships. In many sources, a lot of attention is paid to the sea agent who serves cargo ships, while there is a lack of material on the work of a sea agent in passenger shipping. The work examines the procedure for the interaction of a maritime agent with a travel agent, with the captain, the port authorities, the peculiarities of the service of a passenger ship, the procedure for the agent's actions in emergency cases, for example, in case of a sharp deterioration in the well-being of one of the passengers. The package of documents required for the registration of a passenger ship at the port both during the arrival and departure of the ship is also defined. The question of the general order of the organization of passenger transportation was studied, the functional structure of the organization of passenger transportation was presented, and the concept of classification of maritime agents in passenger shipping was defined. The issue of registration of yachts at the port was separately considered, as there are specifics of the operation of these vessels and the procedure for their arrival at the port.

Key words: maritime agency, maritime agent, passenger transportation, principal, ship, voyage, ship owner.

УДК 656.615
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/28>

Мурад'ян А.О.

Одеський національний морський університет

Демидюков О.В.

Одеський національний морський університет

НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ПОРТОВИХ ЗБОРІВ

Відзначено, що ефективність діяльності морських портів цілком залежить від запровадженої системи тарифів та портових зборів, ставки яких впливають на рівень конкурентоспроможності портових операторів. Розглянуто основні види портових зборів, які справляються у морських портах України та напрями використання коштів від них. Акцентовано увагу на тому, що ці кошти повинні спрямовуватись виключно за цільовим призначенням – для фінансування утримання відповідних споруд. Досліджено проблеми, які склалися в сфері справляння портових зборів у вітчизняних морських портах. Зазначено, що завищені ставки, значна кількість видів, відсутність затвердженої методики розрахунку спричиняють зниження конкурентоспроможності портових операторів та рівня прибутку інфраструктурних об'єктів. Доведено необхідність зміни підходів до формування тарифної політики у вітчизняних портах та встановлення обґрунтованих ставок портових зборів. Встановлено, що світові лідери портової галузі запроваджують дієві заходи в напрямі зниження портових зборів та тарифів на портові послуги, спрощують режими обробки транзитних вантажів, що дозволяє підвищити їх конкурентоспроможність та рівень прибутковості. Розглянуто основні цілі ціноутворення в морських портах. Особливу увагу приділено аналізу існуючих підходів до формування цінової політики. На основі узагальнення досвіду лідерів портової галузі сформовано напрями удосконалення системи формування портових зборів. А саме: зменшення кількості портових зборів та їх ставок, а при їх розрахунку, в якості базового, використання витратного методу (виходячи з середніх витрат) у поєднанні з ринковим підходом; використання системи знижок, яка спирається на результати моніторингу конкурентної ситуації та обґрунтування доцільності; затвердження Методики розрахунку портових зборів, яка враховує найкращий світовий досвід; забезпечення використання надходжень від портових зборів за цільовим призначенням. Відзначено, що їх реалізація сприятиме запровадженню конкурентної тарифної політики у вітчизняних портах, забезпеченню ефективного та безпечного обслуговування суден при дотримання сучасних стандартів в цій сфері, розвитку портової інфраструктури та використання транзитного потенціалу країни.

Ключові слова: портові збори, тарифи, морський порт, ефективність, конкурентоспроможність, морський транспорт, портові оператори, розвиток.

Постановка проблеми. Україна має вигідне географічне положення, що створює сприятливі умови для участі в світових морських вантажних перевезеннях.

Проте, конкурентні умови, які склалися сьогодні на цьому ринку, сучасні виклики, які впливають на функціонування морських портів, вимагають перегляду та коригування існуючих підходів та механізмів їх розвитку.

Зазначимо, що ефективність діяльності морських портів цілком залежить від того, наскільки швидко вони пристосовуватимуться до сучасних вимог світового ринку, а їх конкурентоздатність та привабливість для судноплавних компаній обумовлюється дотриманням сучасних стандартів в цій сфері, ступенем забезпечення стандартів

безпеки суден, рівнем розвитку портової інфраструктури та запровадженням механізмів реалізації нових логістичних рішень.

Світові практики доводять, що частиною фінансових результатів портів та основним джерелом фінансування їх діяльності, за рахунок якого забезпечується утримання портової інфраструктури, є доходи від портових тарифів, включаючи прибутки від портових зборів, ставки яких характеризують економічні умови цих інфраструктурних об'єктів і послуг стивідорних компаній та впливають на рівень конкурентоспроможності портових операторів.

Тому, встановлення обґрунтованих ставок портових зборів є дуже важливим питанням в галузі. А провідні порти світу, враховуючи цей аспект,

вживають дієвих заходів в напрямі зниженні портових зборів та тарифів на портові послуги, спрощення режимів обробки транзитних вантажів, що дозволяє підвищити їх конкурентоспроможність та рівень прибутковості.

Експерти [1, с. 34; 2] звертають увагу на проблему завищеного рівня портових зборів у вітчизняних портах в порівнянні з аналогічними об'єктами як в Азово-Чорноморському басейні, так і світі (зокрема, портами Північної Європи, США, Бразилії та Австралії).

Отже, необхідність реалізації конкурентної тарифної політики у вітчизняних портах потребує формування відповідних напрямів удосконалення системи портових зборів, що актуалізує тематику даного дослідження. Це створить додаткові умови для зростання конкурентоспроможності портів, розвитку їх інфраструктури, сприятиме підвищенню ефективності функціонування морегосподарського комплексу, використанню транзитного потенціалу країни, її інтеграції до світової транспортної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню теоретичних та практичних підходів в сфері формування тарифної політики, спрямованих на підвищення ефективності функціонування морських портів та їх конкурентоспроможність, технологічних аспектів розвитку цих інфраструктурних об'єктів в контексті вирішення питання підвищення ефективності процесів ціноутворення присвячено праці зарубіжних та вітчизняних науковців.

Так, спираючись на існуючий досвід встановлення портових тарифів і зборів в портах світу, авторами досліджень [1; 3; 4] визначено їх переваги та недоліки, а також проаналізовано проблеми в цій сфері; розглянуто чинники впливу на процеси ціноутворення.

Акцентуючи увагу на структурі ціни та різноманітних моделях ціноутворення, в роботах [5; 6; 7] запропоновано авторські погляди на системи формування тарифів в морських портах; сформовано методологічні основи таких процесів в контексті розвитку морегосподарського комплексу [8].

Науковцями [9; 10] розглянуто основні шляхи підвищення ефективності тарифної політики, запропоновано принципи формування портових зборів, а також приділена увага обґрунтуванню знижок з розміру чинних тарифів на навантажувально-розвантажувальні послуги.

Окремі питання формування тарифної політики в морських портах світу досліджуються та аналізуються міжнародними організаціями.

А саме: Світовим банком (*World Bank*) [11], Конференцією ООН з торгівлі та розвитку (*United Nations Conference on Trade and Development – UNCTAD*) [12] та іншими.

Однак, питання формування системи портових зборів потребує подальшого опрацювання з метою визначення основних напрямів її вдосконалення задля підвищення конкурентоспроможності вітчизняних морських портів, забезпечення ефективного та безпечного обслуговування суден в портах України, при дотримання сучасних стандартів в цій сфері та реалізації нових рішень.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення основних напрямів удосконалення системи формування портових зборів у вітчизняних морських портах задля забезпечення ефективної діяльності всіх учасників процесу перевезень та підвищення конкурентоспроможності цих інфраструктурних об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під портовими зборами розуміються грошові суми, стягнуті з судновласників і вантажовласників у морських торговельних портах світу портовими властями та іншими органами для покриття витрат на будівництво і утримання портів, підхідних шляхів до них, маяків, наглядових органів тощо [13, с. 129].

Слід вказати, що їх розмір значно впливає на конкурентоспроможність морських портів та послуг відповідних стивідорних компаній. Це пояснюється тим, що надвисокі ставки призводять до підвищення судновласниками (перевізниками) ставок фрахту, що за інших рівних умов знижує конкурентоздатність портових операторів.

Зазначимо, що у морських портах України справляються такі портові збори: корабельний, причальний, якірний, каналний, маяковий, адміністративний та санітарний (табл. 1).

При цьому, кошти від них повинні спрямовуватись виключно за цільовим призначенням – для фінансування утримання відповідних споруд [14].

Дослідження світових практик формування системи портових зборів дозволило констатувати різноманітність підходів, які застосовуються в різних країнах. Але зазначимо, що наприклад, корабельний збір, буксирування, лоцманська проводка та санітарний збір є стандартними зборами. Проте, каналний збір є менш поширеним, а адміністративний взагалі фактично не використовується.

Узагальнюючи закордонний досвід зазначимо, що світові лідери портової галузі дотримуються тенденції спрощення системи портових зборів та зменшення її складових. Так, наприклад порт Рот-

Види портових зборів в Україні

Види	Напрями використання коштів
Корабельний	- на утримання та очищення акваторії порту від наносів і речовин, що забруднюють її поверхню і дно, на заходи, пов'язані із забезпеченням безпеки судноплавства на судноплавних шляхах; - на утримання персоналу, що бере участь у проведенні цих робіт; - на компенсацію інвестицій, внесених суб'єктами господарювання в стратегічні об'єкти портової інфраструктури, що є об'єктами державної власності
Причальний	- на утримання та обслуговування, на ремонт, модернізацію, реконструкцію і будівництво причальних споруд і прилеглих до них територій; - на компенсацію інвестицій, внесених суб'єктами господарювання в стратегічні об'єкти портової інфраструктури, що є об'єктами державної власності, у порядку та на умовах, визначених Кабінетом Міністрів України відповідно до чинного законодавства
Якірний	- на утримання та обслуговування, на ремонт, модернізацію, реконструкцію і створення якірних місць стоянки суден на внутрішньому рейді порту
Канальний	на утримання, обслуговування, ремонт та забезпечення безпеки судноплавства на судноплавних шляхах загальнодержавного значення і каналах, очищення їх від наносів і підтримання їхніх габаритів у межах паспортних значень
Маяковий	на днопоглиблювальні роботи, пов'язані з підтриманням та / або поліпшенням проектних габаритів на каналах;
Адміністративний	- на придбання, модернізацію, реконструкцію та будівництво маяків, спеціалізованих гідрографічних (лоцмейстерських) суден, а також програмно-технічних засобів системи моніторингу надводної обстановки тощо; - на утримання персоналу, що бере участь у проведенні робіт та здійснює технічний нагляд;
Санітарний	на утримання та обслуговування плавзасобів і контейнерного парку, що використовуються для прийняття із суден усіх видів забруднень, на їх ремонт, на утримання, обслуговування і ремонт спеціального портового устаткування для утилізації сміття та інших забруднень тощо.

Джерело: складено за даними [14; 15]

тердам (Нідерланди), як і порт Антверпен (Бельгія) практикують справляння лише трьох значних зборів, які сплачуються адміністрації порту (буксирування та лоцманські послуги сплачуються приватним компаніям); в порту Констанца (Румунія) серед таких – корабельний, причальний та якірний.

Розробляючи цінову політику та формуючи систему тарифів та зборів, морські порти, як правило, прагнуть досягнення наступних цілей ціноутворення:

- сприяння найбільш ефективному використанню активів порту;
- можливість використання отриманих фінансових ресурсів для розвитку країни;
- отримання доходу, достатнього для подальшого розвитку портової інфраструктури та підвищення безпеки судноплавства та рівня логістичних послуг.

Дослідження розмаїття підходів до формування цінової політики дозволило виокремити ті, які використовуються в практиці встановлення ставок портових зборів. А саме:

- витратний – передбачає, що адміністрація порту відшкодуватиме операційні витрати та

одержуватиме дохід на активи шляхом додавання до собівартості запланованого прибутку. При цьому в якості базових, при розрахунку ставок портових зборів можна використовувати різні типи витрат (середні, змінні або граничні). Але слід вказати, що формування портових зборів, виходячи з середніх витрат найчастіше використовується в світовій практиці;

– ринковий підхід – ставки встановлюються з орієнтацією на попит, рівень конкуренції, сприйняття цінності послуги. Слід вказати, що жорстка конкуренція в портовій галузі спричиняє відхилення від ставок портових зборів, визначених на основі витрат, шляхом використання знижок. Такі практики часто використовуються портами світу, що дозволяє за необхідності підвищувати рівень вантажопотоку (принаймні за транзитним).

Вченими [9, с. 42; 10, с. 244] розглядаються також додаткові підходи: наприклад, встановлення ставок виходячи з вартості вантажів, а не операційних витрат адміністрації порту (не знайшло реалізації в портах світу); формування ставок портових зборів із урахуванням скупчення (але на практиці така плата стягується навпаки, з порту, коли для

судноплавних ліній встановлюється надбавка на фрахт за умов очікування причалу).

Зазначимо, що в якості базового підходу при формуванні системи портових зборів вітчизняних портів представляється доцільним використання витратного методу (виходячи з середніх витрат), який, за необхідності, має поєднуватись з ринковим підходом.

При цьому, серед умов такого поєднання слід виокремити наступні:

- еластичність вантажопотоку за ціною;
- індивідуальний підхід до випадку, обґрунтування доцільності на основі аналізу конкуренції з боку інших портів та сприяння зростанню вантажопотоків. Експерти [16] звертають увагу на той факт, що такий аналіз повинен проводитись спільно з операторами терміналів та внутрішнього транспорту, в яких витрати значно перевищують витрати адміністрації порту.

Проблеми, які склалися в сфері справляння портових зборів (завищені ставки, значна кількість видів, відсутність затвердженої методики розрахунку) спричиняють зниження конкурентоспроможності та рівня прибутку вітчизняних морських портів та потребують вирішення.

Серед основних напрямів удосконалення вітчизняної системи формування портових зборів слід відзначити наступні:

- запровадження практики світових лідерів портової галузі в частині зменшення кількості портових зборів;
- приведення бази розрахунку ставок зборів в Україні у відповідність з портами в інших країнах. Зокрема, справляння зборів з валової місткості суден (як бази розрахунку ставок корабельного, каналного, маякового, адміністративного, санітарного та з одиниці ваги вантажу при справлянні якірного збору) [16];
- використання при формуванні системи портових зборів витратного методу (виходячи

з середніх витрат), як базового та його поєднання з ринковим підходом;

- використання системи знижок, яка спирається на результати моніторингу конкурентної ситуації та обґрунтування доцільності;
- затвердження Методики розрахунку портових зборів, яка враховує найкращий світовий досвід;
- забезпечення використання надходжень від портових зборів за цільовим призначенням.

Висновки. Ефективність діяльності морських портів цілком залежить від запровадженої системи тарифів та портових зборів, ставки яких впливають на рівень конкурентоспроможності портових операторів.

Провідні порти світу приділяють значну увагу цьому питанню, запроваджуючи дієві заходи в напрямі зниження портових зборів та тарифів на портові послуги, спрощення режимів обробки транзитних вантажів, що дозволяє підвищити їх конкурентоспроможність та рівень прибутковості.

Проблеми, які склалися в сфері справляння портових зборів у вітчизняних морських портах (завищені ставки, значна кількість видів, відсутність затвердженої методики розрахунку) спричиняють зниження конкурентоспроможності портових операторів та рівня прибутку цих інфраструктурних об'єктів.

Узагальнення досвіду лідерів портової галузі дозволило сформувати напрями удосконалення системи формування портових зборів, реалізація яких сприятиме запровадженню конкурентної тарифної політики у вітчизняних портах, забезпечення ефективного та безпечного обслуговування суден при дотримання сучасних стандартів в цій сфері.

Однак, їх запровадження потребує опрацювання відповідних механізмів реалізації, що складає перспективи подальших досліджень.

Список літератури:

1. Кібік О.М. Теорія і методологія ціноутворення в морських торговельних портах: монографія. Одеса: ОНМУ, 2005. 282 с.
2. Глущенко О. Методика розрахунку ставок портових зборів: крок вперед чи два назад? *Порти України*. 2018. URL: <https://ports.com.ua/opinions/metodika-rozrakhunku-stavok-portovikh-zboriv-krok-vpered-chi-dva-nazad> (дата звернення 02.02.2023).
3. Будник В.А., Шкурко Є.Л., Будник В.А. Контролінг тарифів на перевалку вантажів в морських портах України. *Проблеми економіки*. 2014. Вип. 2. С. 100–101.
4. Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на міжнародному ринку транспортних послуг в умовах глобалізації міжнародного судноплавства: монографія / [авт.кол. : Шибаєв О.Г., Савельєва І.В., Кириллова О.В. та ін.]. Одеса: КУПІСНКО С.В., 2015. 171 с.
5. Meersman H., Strandenes S.P., deVoorde E.V Port Pricing: Principles, Structure and Models: discussion paper. *Norwegian school of economics*. 2014. URL: <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/194585/1/SAM1414.pdf> (дата звернення 02.02.2023).

6. Musso E.L., Bergantino A.S., Porcelli F. Port management performance and contextual variables: Which relationship? Methodological and empirical issues. *Research in Transportation Business & Management*. 2013. URL: <http://www.researchgate.net/publication>. (дата звернення 02.02.2023).
7. Agüero-Tobar M., González-Araya M., González-Ramírez R. Assessment of maritime operations efficiency and its economic impact based on data envelopment analysis: A case study of Chilean ports. *Research in Transportation Business & Management*. 2023. Vol. 46. P. 100-121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100821>
8. Camarero A., Cancelas N., Verdesoto V. Impact of Covid-19 on the cost of technical services in European ports. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Maritime Engineering*. 2022. Vol. 175. P. 3. DOI: <https://doi.org/10.1680/jmaen.2021.006>
9. Жихарева В.В. Методологічні підходи до формування портових зборів у морських портах. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2016. Вип. 54. С. 241-247.
10. Липинська О.А. Теоретичні основи ціноутворення на логістичні послуги морського порту. *Економіка: реалії часу*. 2014. № 6 (16). С. 41-49.
11. *Review of Maritime Transport 2021*. URL: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2021_en.pdf. (дата звернення 02.02.2023).
12. Exchange Rate Pass-Through and Inflation Trends in Developing Countries. *Global Economic Prospects*. World Bank, 2014. June. URL: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEP2014b/GEP2014b.pdf>. (дата звернення 02.02.2023).
13. Про портові збори: Наказ Міністерства інфраструктури України, від 08.05.2013 № 294. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/>. (дата звернення 02.02.2023).
14. Про морські порти України: Закон України від 4.07. 2013 № 406- VII. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4709-17.11>. (дата звернення 02.02.2023).
15. Порядок обліку та використання коштів від портових зборів: Наказ Міністерства інфраструктури України від 27.05.2013 N 316 URL: <http://www.delta-pilot.ua>. (дата звернення 02.02.2023).
16. Лейнг Е., Нів'євський О. Що не так з портовими зборами в Україні і як зробити їх конкурентними. *Економічна правда*. 2017. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2017/09/6/628700/> (дата звернення 02.02.2023).

Muradian A.O., Demydiukov O.V. DIRECTIONS FOR IMPROVING THE SYSTEM OF PORT DUES FORMATION

It is noted that the efficiency of seaports depends entirely on the introduced system of tariffs and port dues, the rates of which affect the level of competitiveness of port operators. The main types of port dues collected in Ukrainian seaports and the ways of using the funds from them are considered. The author emphasizes that these funds should be used exclusively for their intended purpose – to finance the maintenance of the relevant facilities. The author analyzes the problems that have arisen in the field of collection of port dues in domestic seaports. It is noted that inflated rates, a significant number of types, and the lack of an approved calculation methodology lead to a decrease in the competitiveness of port operators and the level of profit of these infrastructure facilities. The author proves the need to change approaches to the formation of tariff policy in domestic ports and to establish reasonable rates of port dues. It is established that the world leaders of the port industry are introducing effective measures to reduce port dues and tariffs for port services, simplify the modes of transit cargo handling, which allows to increase their competitiveness and profitability. The main objectives of pricing in seaports are considered. Particular attention is paid to the analysis of existing approaches to pricing policy formation. Based on the generalization of the experience of the port industry leaders, the author formulates the directions for improving the system of port dues formation. Namely: reduction of the number of port dues and their rates, and when calculating them, the cost method (based on average costs) in combination with the market approach should be used as the basic method; use of a system of discounts based on the results of monitoring the competitive situation and justification of expediency; approval of the Methodology for calculating port dues, which takes into account the best international experience; ensuring that revenues from port dues are used for their intended purpose. It is noted that their implementation will facilitate the introduction of a competitive tariff policy in domestic ports, ensure efficient and safe servicing of ships in compliance with modern standards in this area, develop port infrastructure and use the country's transit potential.

Key words: port dues, tariffs, seaport, efficiency, competitiveness, maritime transport, port operators, development.

Павловська Л.А.

Одеський національний морський університет

Кириллова О.В.

Одеський національний морський університет

Коробкова О.М.

Одеський національний морський університет

Шпак Н.Г.

Одеський національний морський університет

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРНОГО КАРКАСУ СХЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

У статті досліджуються особливості та основні інфраструктурні проблеми для перевезень українських зовнішньоторговельних вантажів в умовах воєнного стану. Визначається обмеженість застосування українських морських портів, залізниці, автотранспорту, відсутність авіап перевезень, що в свою чергу призвело до необхідності перебудови та ретельного обґрунтування інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів до України.

Проведений аналіз терміну «каркас» в різних варіантах його адаптації, а також термінів «інфраструктура», «транспортна інфраструктура», «транспортно-технологічна схема». Доведена необхідність введення поняття «інфраструктурний каркас схеми доставки вантажів», як такого, що найбільш влучно описує проблему моделювання оптимального транспортного маршруту. Запропоноване таке тлумачення терміну «інфраструктурний каркас схеми доставки вантажів» – це графічне зображення можливих варіантів транспортно-технологічних схем доставки вантажів, що сформовані за обраним критерієм (критеріями) оптимізації.

Запропонований алгоритм моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів, який передбачає використання певної послідовності комплексу різноманітних методів.

Розглядається застосування запропонованого алгоритму моделювання інфраструктурного каркасу на прикладі схеми доставки цитрусових вантажів у контейнерах з країн Південної Америки. На першому етапі за допомогою статистичних методів статичного аналізується структура наявного вантажопотоку за номенклатурою та країнами-постачальниками. В результаті це надає можливість найточніше сформулювати можливі варіанти інфраструктурного каркасу схем доставки наявних вантажів. На другому етапі проведена оптимізація інфраструктурного каркасу схем доставки із застосуванням модифікованої багатоетапної транспортної задачі методами дослідження операцій. На останньому етапі здійснюється економічна оцінка ефективності та перевірка на адекватність отриманих результатів з точки зору практики. Таким чином, доведена доцільності практичного застосування запропонованого алгоритму.

Ключові слова: моделювання, інфраструктурний каркас, схема доставки, алгоритм, транспортна задача, цитрусові у контейнерах.

Постановка проблеми. У довоєнні часи Україна мала потужну транспортну інфраструктуру: розгалужену мережу залізниць, автомобільних шляхів та трубопроводів, 19 аеропортів, 12 річкових та 18 морських торговельних портів. За обсягами вантажних перевезень залізницею Україна займала четверте місце на Євразійському континенті. Значення автодоріг України у міжнародному сполученні підтверджувалося проходженням територією України чотирьох з десяти Міжнародних транспортних коридорів.

Особливу роль в транспортному інфраструктурному комплексі країни грали морські порти,

які є складовою частиною транспортної і виробничої інфраструктури держави, враховуючи їх розташування на напрямках міжнародних транспортних коридорів. Від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного і технічного оснащення, відповідності системи управління і розвитку інфраструктури сучасним міжнародним вимогам залежить конкурентоздатність вітчизняного транспортного комплексу на світовому ринку [1].

2022 рік через всім відомі обставини визначив суттєві зміни в роботі всього транспортного інфраструктурного комплексу України, який тепер,

в першу чергу, має задовольняти потреби військового характеру. Незважаючи на першочергові завдання потреба у задоволенні попиту на цивільні перевезення вантажів залишилася не менше актуальною. Але у сучасних умовах, що склалися в країні, виникла необхідність повної перебудови налагоджених раніше транспортних маршрутів, їх ретельного обґрунтування та оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обговоренню теоретичних та практичних питань формування оптимальних варіантів маршрутів доставки вантажів присвячено чимало робіт зарубіжних та вітчизняних вчених. В окремих роботах зроблено акцент на важливих чинниках, що обумовлюють особливості інфраструктурного забезпечення транспортної логістики [2-3]. Також є достатня кількість робіт, що присвячені використанню: як класичних економіко-математичних методів моделювання оптимальних схем доставки вантажів, так й проєктних методів оптимізації роботи транспортно-експедиторських компаній [4-9]. З'являються нечисленні публікації фахових експертів щодо необхідності перебудови транспортних маршрутів в умовах воєнного стану [10-12], що підтверджує офіційна статистика UNCTAD відносно загальносвітових трендів у функціонуванні морської галузі [13].

Але необхідно зазначити, що поняття «інфраструктурного каркасу схеми доставки вантажів» у транспортній науці практично не зустрічається. На наш погляд, введення такого доцільно з точки зору необхідності урахування сучасних умов в процесах моделювання нових транспортних маршрутів. Також не зустрічається в наукових працях алгоритм обґрунтування оптимального варіанту інфраструктурного каркасу схеми доставки вантажів, що з точки зору його практичного застосування було б доцільним.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд основних особливостей моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки зовнішньоторговельних вантажів до України у сучасних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження. В умовах воєнного стану в Україні, а саме: блокування морських портів, авіап перевезень, ускладнення роботи автотранспорту та погіршення функціонування залізниці транспортно-експедиторські компанії емпіричними методами почали у 2022 році будувати нові транспортні маршрути для доставки зовнішньоторговельних вантажів до України. Для багатьох видів продукції українські морські порти були найефективнішою ланкою в схемах доставки, особливо це стосується ванта-

жів у контейнерах. Саме контейнерні перевезення є основним світовим трендом морської торгівлі через найефективніше рішення щодо перевезення відносно невеликих партій експортно-імпорتنних вантажів [6, 10, 13].

Зараз в Україні порти «Великої Одеси» (Одеса, Чорноморськ, Південний) працюють виключно в рамках «зернової угоди», крім того окремі вантажопотоки переорієнтовано на дунайські порти (Рені, Ізмаїл, Усть-Дунайськ). Необхідно відмітити, що українські дунайські порти мають відносно невеликі потужності та не можуть вирішити наявні інфраструктурні проблеми. Зараз ці порти працюють майже на максимумі своїх можливостей [11].

Тому українські компанії були змушені спрямувати вантажопотоки до морських портів Європи, зокрема: до Румунії (Констанці), Болгарії (Бургасу), Польщі (Гдині, Гданська, Щецина-Свіноуйсьце), Хорватії (Ріски, Плочи), Німеччини (Гамбургу, Бремерхафену), а також Нідерландів (Роттердаму). Переважна більшість експортно-імпорتنних вантажопотоків спрямувала до найближчих країн, які мають виходи до морських шляхів, оскільки це найкоротші маршрути і, відповідно, найдешевші. Найбільш завантаженими українськими товарами у 2022 році були польські порти Гданськ, Гдиня, Щецин та румунський порт Констанца (рис. 1) [10, 11].

На сухопутних ділянках використовувався переважно автотранспорт, особливо якщо в якості головного критерію був час доставки. Це пояснюється обмеженою пропускнуною спроможністю прикордонних переходів та окремих ділянок залізниць Європи. Основна проблема полягає в різній ширині залізничної колії в Україні та Європі, що призводить відповідно до додаткових витрат часу задля перестановки візків вагонів. Зростанню попиту саме на автомобільні перевезення сухопутною ділянкою сприяло і те, що збільшилася пропозиція щодо перевезення автотранспортом до країн Європи, а також відповідно знизилася вартість автомобільної доставки [11].

Крім того, транспортно-експедиторським компаніям доводилося перерозподіляти вантажопотоки по декількох європейських морських портах перевалювання через обмеження їх пропускнуною здатності.

Таким чином, до основних інфраструктурних проблем для перевезень українських зовнішньоторговельних вантажів в умовах воєнного стану можна віднести такі:

1. Практична неможливість перевезення широкої номенклатури вантажів через українські порти

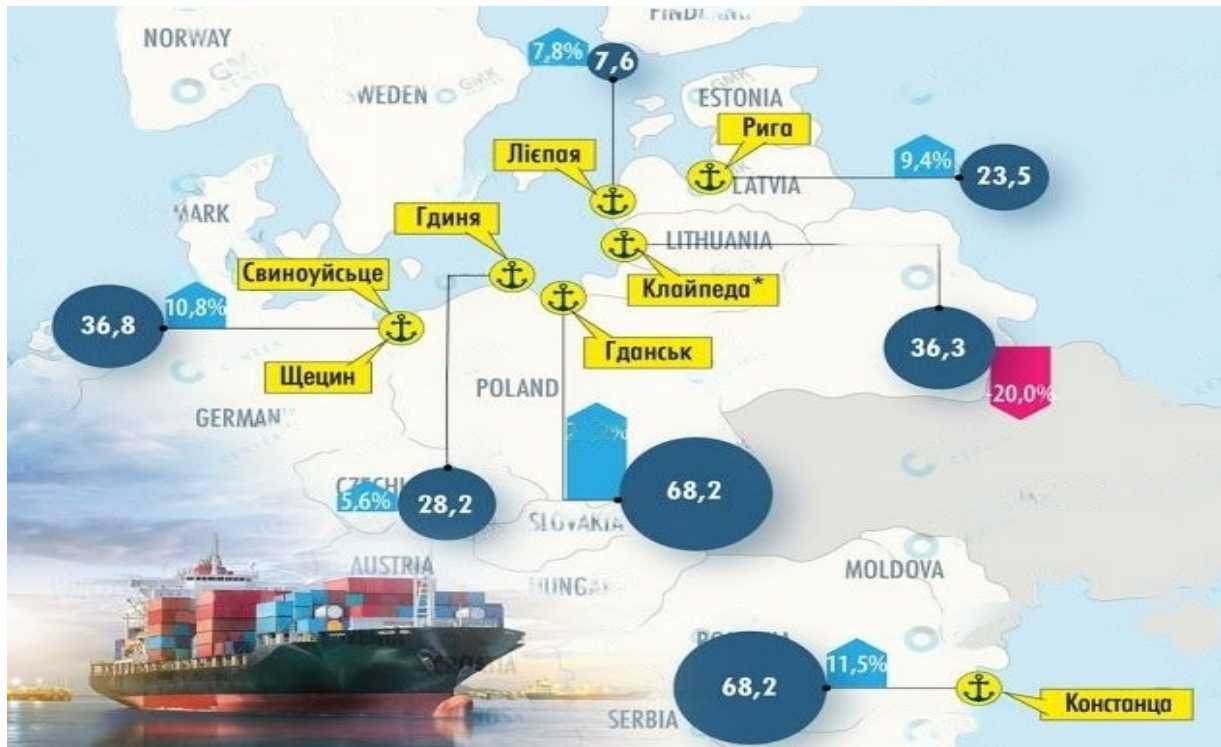


Рис. 1. Обсяг перевалки вантажів у європейських портах у 2022 р., млн. т

Джерело: [11, 13]

та відповідно необхідність переорієнтування, в першу чергу, контейнерних вантажопотоків на морські порти Європи. Що в свою чергу суттєво збільшує вартість та час доставки вантажів.

2. Обмежена пропускна здатність українських дунайських портів для перевантаження різноманітної номенклатури вантажів та обмеженість роботи портів «Великої Одеси» умовами «зернової угоди», що також призвело до необхідності перебудови транспортних маршрутів.

3. Необхідність обґрунтування вибору сухопутного виду транспорту для доставки вантажів до європейських морських портів через обмежену пропускну спроможність прикордонних залізничних та автомобільних переходів, а також відсутність інтеграції між транспортними структурами України та сусідніх країн, суттєвий дефіцит вагонного та локомотивного парку у європейських залізничних перевізників.

4. Відсутність достатньої потужності перевантажувальної інфраструктури на українсько-європейському кордоні.

Все це призводить до необхідності застосування відповідних методів для моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів у сучасних умовах.

В першу чергу, звертаючись до термінології, слід зазначити, що у науковій літературі засто-

сування терміну «каркас» (від франц. «carcasse» – скелет) здійснюється у різних галузях науки і техніки. Прикладом може бути активне використання поняття в екологічних, географічних та економічних науках: «природний каркас», «екологічний каркас», «природоохоронний каркас», «біосферний каркас», «інституційний каркас», «демографічний каркас», «науково-освітній каркас», «інноваційний каркас», «інфраструктурний каркас регіону» та інші. Але по відношенню до транспортної науки це поняття практично не застосовується. Що саме ми розуміємо під терміном «інфраструктурний каркас схеми доставки вантажів» або «транспортний інфраструктурний каркас» та які методи можна використовувати для його моделювання, розглянемо далі.

Задля розуміння вище наведеного, звернемося також до терміну «інфраструктура», створений поєднанням латинських коренів *infra* (нижче, під) і *structura* (будова), що використовується для позначення загальної основи будь-якої системи. Проте його значення різні в залежності від того, де застосовується цей термін: в економіці, в логістиці або до транспорту. Трактовку терміну «інфраструктура» необхідно всякий раз уточнювати в залежності від контексту, в якому цей термін використовується.

Транспортна інфраструктура є складовою частиною транспортних систем і включає шляхи

сполучення, термінальні об'єкти, а також допоміжні засоби і системи (енергопостачання, зв'язку, управління рухом, обміну даними тощо). В даному контексті інфраструктура розглядається як єдина основа функціонування транспортних систем [14].

Поняття «інфраструктурного каркасу схеми доставки» наближено до поняття «транспортно-технологічна схема», під яким розуміють графічне зображення технологічного процесу доставки вантажів, що включає в себе всі транспортні, вантажно-розвантажувальні та інші, пов'язані з ними операції, в установленому порядку їх виконання з описом і зазначенням застосовуваних технічних засобів. Але вибір спочатку можливих варіантів схем доставки вантажів з подальшим обґрунтуванням та вибором у підсумку оптимального варіанту потребує також вибору відповідного критерію оптимізації.

Для класичної транспортної задачі виділяють два типи завдань: критерій вартості (досягнення мінімуму витрат на перевезення) або відстаней та критерій часу (витрачається мінімум часу на перевезення). Вибір критерію залежить від побажань безпосередньо вантажовласника, також можлива багатокритеріальна оптимізація з розстановкою відповідних пріоритетів.

Враховуючи вище наведені міркування, можна надати таке визначення терміну «інфраструктурний каркас схеми доставки вантажів» – це графічне зображення можливих варіантів транспортно-технологічних схем доставки вантажів, що сформовані за обраним критерієм (критеріями) оптимізації.

На різних етапах дослідження щодо вирішення завдання обґрунтування оптимального варіанту інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів можуть застосовуватися різні методи: як неформалізовані, так й формалізовані та слабо формалізовані. Нами пропонується алгоритм моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів, який передбачає використання певної послідовності комплексу різноманітних методів. Запропонований алгоритм представлений у послідовності таких етапів:

1. На етапі постановки задачі дослідження, тобто формування можливих варіантів інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів пропонується застосування формалізованих методів (наприклад, морфологічного методу або методу колективної генерації ідей), а також формалізовані методи (наприклад, методи статистичного аналізу).

2. На етапі оптимізації, тобто вибору оптимального варіанту інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів доцільно застосовувати формалізовані методи, до яких в першу чергу відносять методи дослідження операцій (методи математичного програмування: лінійного, цілочислового та динамічного програмування), а також слабо формалізовані методи (наприклад, методи мережевого планування).

3. На етапі аналізу оптимального варіанту інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів пропонується застосування емпіричних методів, а саме, практична оцінка адекватності отриманого результату.

Зупинимося окремо на другому етапі запропонованого алгоритму. Найчастіше задача оптимізації інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів вирішується як класична транспортна задача з різними варіантами її модифікації. Класична транспортна задача – це окремий випадок загальної задачі лінійного програмування, оскільки вона була сформульована і поставлена для вирішення питання про найбільш раціональне планування перевезень на транспорті. Зазвичай в якості критерію оптимізації застосовується мінімум загальної вартості перевезень. Слід зазначити, що термін «вартість» у задачах лінійного програмування має умовний характер, тобто під ним розуміють будь-яку складову, від якої вартість перевезень залежить пропорційно, наприклад, собівартість, відстань, час тощо. Тому, при розв'язанні задачі, знаходять мінімум витрат або грошових, або часу, або тонно-кілометрової роботи та ін. [9]. Одним з найбільш простих і широко розповсюджених методів розв'язання транспортної задачі саме за критерієм мінімізації загальної вартості перевезень є метод потенціалів.

Розглянемо реалізацію запропонованого алгоритму на конкретному практичному прикладі – обґрунтування інфраструктурного каркасу схеми доставки цитрусових вантажів із країн Південної Америки до України.

В Україну постачається досить широка номенклатура цитрусових вантажів-це апельсини, мандарини, лимони, лайми, грейпфрути, кумкват, цитрони тощо. Трійку лідерів складають мандарини, апельсини та лимони. За останні роки найбільшими сезонними постачальниками лимонів до України були Аргентина та Бразилія (рис. 2, табл. 1).

Традиційно продовольчі швидкопсувні вантажі, до яких відносяться й цитрусові вантажі, перевозяться морем рефрижераторними суднами.

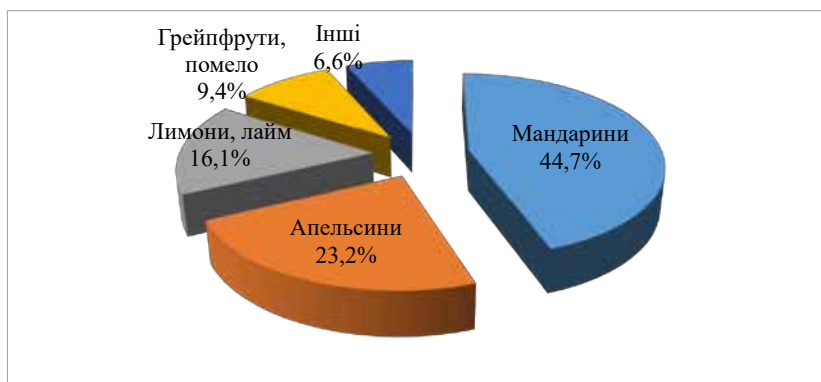


Рис. 2. Структура імпорту цитрусових в Україну за номенклатурою у 2021 р., %

Джерело: сформовано авторами на основі даних [15]

Таблиця 1

Структура поставок цитрусових в Україну за основними країнами – постачальниками у 2021 р., тис. т

№ з/п	Назва країни-постачальника	Назва виду цитрусових				Кількість позицій	Всього
		Мандарини	Апельсини	Лимон, лайм	Грейпфрут, помело		
1.	Аргентина	-	0,85	7,51	-	2	8,36
2.	Бразилія	-	-	2,15	-	1	2,15
3.	Греція	3,55	0,91	-	-	2	4,46
4.	Грузія	2,99	-	-	-	1	2,99
5.	Єгипет	15,32	49,99	-	-	2	65,31
6.	Ізраїль	-	-	-	0,57	1	0,57
7.	Іспанія	7,05	4,95	0,97	-	3	12,97
8.	Італія	2,85	-	-	-	1	2,85
9.	Китай	-	-	-	16,68	1	16,68
10.	Пакистан	14,64	-	-	-	1	14,64
11.	Південна Африка	-	8,19	4,32	2,86	3	15,37
12.	Туреччина	114,09	17,70	42,49	14,07	4	188,35
13.	Інші країни	3,20	2,23	1,36	0,36	-	-
	Всього	163,68	84,83	58,80	34,54		366,11

Джерело: сформовано авторами на основі даних [15]

Але в останні роки в усьому світі, в тому числі й в Україні, спостерігається активна контейнеризація вантажоперевезень, в тому числі й продовольчих швидкопсувних вантажів у рефрижераторних контейнерах.

В роботі були сформовані варіанти інфраструктурного каркасу схеми доставки імпортованих цитрусових вантажів (лимонів у рефрижераторних контейнерах) від портів країн-експортерів (Аргентини та Бразилії) українським споживачам у Житомирі, Полтаві та Хмельницькому з проміжним етапом – перевалюванням в портах Констанца та Гданськ (рис. 3).

Такий вибір портів перевалки був викликаний тимчасовим призупиненням контейнерного сервісу судноплавних ліній у портах України та розглядається у якості варіанту доставки вантажів у ситуації форс-мажору.

На морському етапі вантаж доставляється суднами – контейнеровозами, на сухопутному етапі

розглянуто варіант доставки лише автомобільним транспортом, оскільки такий вид транспорту найбільше забезпечує належне збереження швидкопсувних вантажів у рефрижераторних контейнерах.

Описані вище варіанти інфраструктурного каркасу схеми доставки були відображені з метою детального вивчення кожної ланки, що привело до оптимізації її роботи. Проектний вантажопотік складає 550 FEU (forty equivalent unit – уніфікована абревіатура сорока футового контейнеру стандарту ISO).

У роботі застосована модифікована економіко-математична модель класичної транспортної задачі, а саме модель багатоетапної транспортної задачі, використання якої дозволило оптимізувати маршрут проходження імпортованого вантажопотоку (формули (1)–(6)).

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T c_{kj}^t x_{kj}^t \quad (1)$$

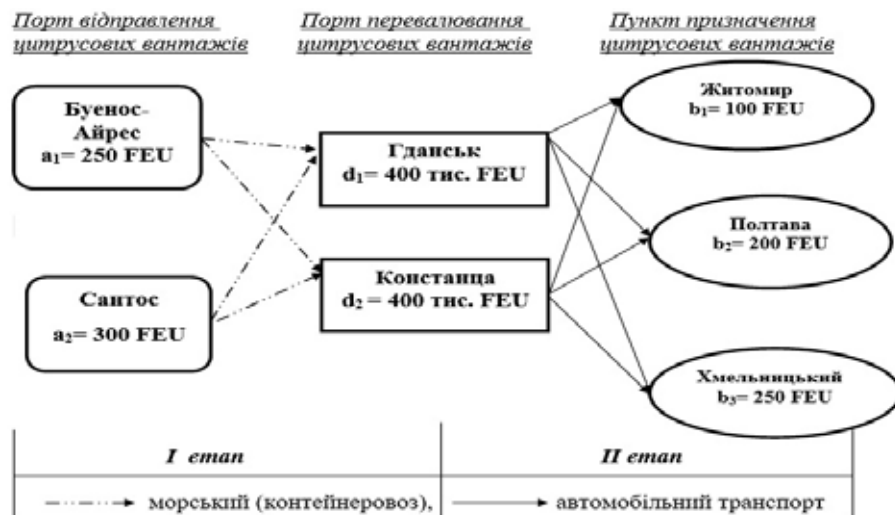


Рис. 3. Можливі варіанти інфраструктурного каркасу схеми доставки імпортованих цитрусових вантажів до України

Джерело: сформовано авторами

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} = a_i (i = \overline{1, m}) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k (k = \overline{1, p}) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^p \sum_{t=1}^T x_{kj}^t = b_j (j = \overline{1, n}) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^T x_{kj}^t \leq d_k (k = \overline{1, p}) \quad (5)$$

$$x_{ik} \geq 0 (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}); x_{kj}^t \geq 0 (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n}; t = \overline{1, T});$$

$$x_{kk} \geq 0 (k = \overline{1, p}); x_{kk} = 0 (k \neq k; k = \overline{1, p}); \quad (6)$$

$$x_{ij} = 0 (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}),$$

де: X_{ik} – кількість вантажу, яка може бути відправлена з і-ого порту відправлення до к-ого порту перевалювання, FEU; X_{kj}^t – кількість вантажу, яка може бути відправлена з к-ого порту перевалювання до j-ого пункту призначення t-им наземним видом транспорту, FEU; C_{ik} – вартість доставки одного FEU з вантажем, який може бути відправлений з і-ого порту відправлення до к-ого порту перевалювання, дол. США/FEU; C_{kj}^t – вартість доставки одного FEU з вантажем, який може бути відправлений з к-ого порту перевалювання до j-ого пункту призначення t-им наземним видом транспорту, дол. США/FEU; a_i – кількість вантажу, заявленого на вивіз у і-ому порту відправлення, FEU; b_j – кількість вантажу, який потребується у j-ому пункті призначення, FEU; d_k – пропускна спроможність контейнерного терміналу к-ого порту перевалювання, FEU;

(1) – цільова функція, що мінімізує загальні транспортні витрати на перевезення з пунктів

виробництва в пункти призначення через пункти перевалювання; (2) – обмеження про повний вивіз вантажу, пред'явленого в кожному порту відправлення; (3) – обмеження про можливе недовикористання пропускної спроможності контейнерних терміналів кожного порту перевалювання після прибуття вантажу; (4) – обмеження обов'язкового задоволення потреби кожного пункту призначення; (5) – обмеження про можливе недовикористання пропускної спроможності контейнерних терміналів кожного порту перевалювання після відправлення; (6) – обмеження на можливі значення змінних.

Проведені розрахунки на мінімум загальних витрат на доставку імпортованих цитрусових вантажів (лимонів у рефрижераторних контейнерах) показали, що доставка всієї партії вантажу виявилася дешевшою з використанням обох запропонованих портів перевалки, що викликано різницею у ставках на морське перевезення (рис. 4).

При доставці цитрусових за участю двох портів перевалки, а не лише через порт Констанца, економія складе 254 750 дол. на рік для всієї партії вантажу, тобто 463,2 дол./FEU. Отриманий результат оптимізації цілком адекватним практичній ситуації у сучасних умовах.

Висновки. Сучасні умови функціонування транспортного комплексу України потребують ретельного обґрунтування варіантів схем доставки зовнішньоторговельних вантажів. Результати дослідження дозволили сформулювати термін «інфраструктурний каркас схем доставки вантажів», якій. На наш погляд, най-

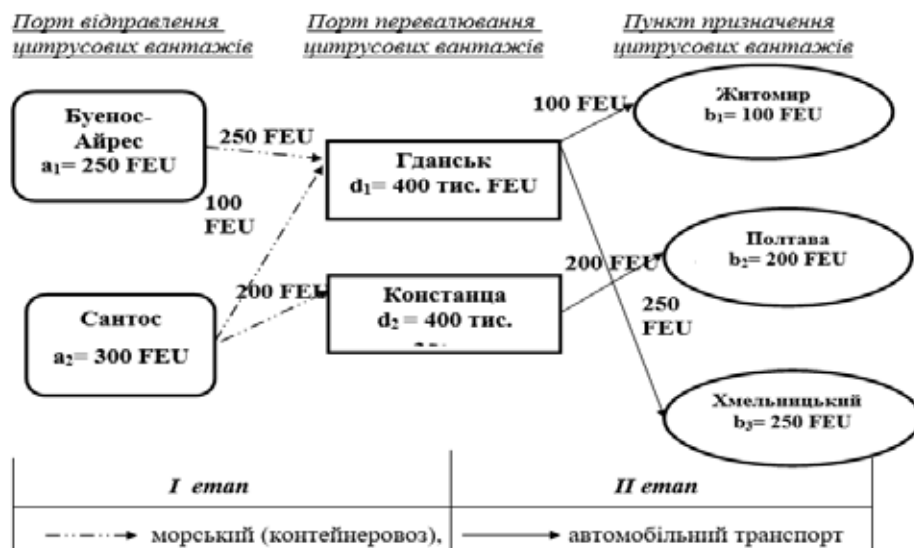


Рис. 4. Оптимальний варіант інфраструктурного каркасу схеми доставки імпортованих цитрусових вантажів до України

Джерело: сформовано авторами

більш влучно відображає сенс завдання, що вирішується. Запропонований алгоритм моделювання інфраструктурного каркасу схем доставки вантажів, який передбачає використання певної послі-

довності комплексу різноманітних методів. Доведена ефективність його практичного застосування з точки зору адекватності отриманих результатів на конкретному прикладі.

Список літератури:

1. Офіційний сайт Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/> (дата звернення: 13.02.2023)
2. Шпак Н.Г. Дослідження впливу інтеграції на показники учасників міжнародної економічної системи. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2018. № 4 (65). С. 134-149. doi: 10.31375/2226-1915-2018-4-134-149
3. Шпак Н.Г. Визначення конкурентоспроможності учасників міжнародної економічної системи з урахуванням митного чинника. *Бізнес-інформ*. 2018. № 12 (491). С. 149-155.
4. Глущенко М.І., Кічка О.І. Моделювання процесів транспортного обслуговування логістичних систем. Зб. наукових праць науково-практичної конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», тези доп. Северодонецьк, 2015. С. 17-19. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84593362.pdf#page=17> (дата звернення: 14.02.2023)
5. Кічка О.І. Вибір оптимальної схеми доставки вантажу в логістичних системах. *Вісник Східно-українського національного університету ім. В. Даля*. 2015. № 2 (219). С. 9-11. URL: http://filelibsnu.at.ua/naukovi/vestnik_2-219-2015.pdf#page=9 (дата звернення: 14.02.2023)
6. Коробкова О.М. Теоретичні основи здійснення митних процедур при переміщенні вантажів у контейнерах. *Інноваційна економіка*. 2021, № 1-4. С. 180-187. doi: 10.37332/2309-1533.2021.1-2.24
7. Pavlova N.L., Onyshchenko S.P. Development and research of a model for optimizing the composition of a project-oriented forwarding company's suppliers. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 6. P. 36-42. URL: https://www.zbw.eu/econis-archiv/bitstream/11159/6802/1/1796145319_0.pdf (дата звернення: 13.02.2023)
8. Pavlova N., Onyshchenko S., Obrova A., Chebanova T., Andrievska V. Creating the agile-model of the project-oriented transport companies work. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 1/3(109). P. 124-143. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/225529/225505> (дата звернення: 13.02.2023)
9. Павловська Л.А. Сучасні методики викладання дисципліни «Дослідження операцій в транспортних системах». Зб. матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2022», тези доп. Київ, 2022. С. 167-168.
10. Коробкова О.М. Логістична діяльність підприємств в умовах воєнного стану. *Actual problems of modern science*. 2023. № 4. С. 457-459.

11. Як змінилася експортна логістика компаній ГМК у 2022 році. URL: https://cfts.org.ua/articles/yak_zminilasya_eksportna_logistika_kompaniy_gmk_u_2022_rotsi_1945 (дата звернення: 13.02.2023)
12. Ткачів С. Схема перевезення легкових автомобілів до України. Проблеми та їх вирішення. URL: https://cfts.org.ua/blogs/skhema_perevezennya_legkovikh_avtomobiliv_do_ukrani_problemi_ta_kh_virishennya_660 (дата звернення: 13.02.2023)
13. *Review of Maritime Transport 2022*. URL: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2022> (дата звернення: 14.02.2023)
14. Павловська Л.А. Особливості дистанційного викладання дисципліни «Інфраструктура транспортних систем». *Modern engineering and innovative technologies, Germany*. 2021. №16. С.27-33. doi: 10.30890/2567-5273.2021-16-03-012.
15. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 14.02.2023)

Pavlovska L.A., Kirillova O.V., Korobkova O.M., Shpak N.G. FEATURES OF MODELING THE INFRASTRUCTURAL FRAMEWORK OF CARGO DELIVERY SCHEMES IN MODERN CONDITIONS

The article researches the peculiarities and main infrastructural problems of transportation for Ukrainian foreign trade goods in the conditions of martial law. The limitations of the use seaports of Ukraine, railways, motor vehicles transportation, and lack of air transportation are determined, which in turn led to the need to rebuilding and thoroughly substantiating the infrastructural framework of cargo delivery schemes to Ukraine.

The analysis of the term "framework" in various variants of its adaptation, as well as the terms "infrastructure", "transport infrastructure", "transport and technological scheme" was carried out. The need to introduce the concept of "infrastructural framework of the cargo delivery scheme" as the one that most aptly describes the problem modeling the optimal transport route is proven. The proposed interpretation of the term "infrastructural frame of the cargo delivery scheme" is a graphic representation of possible variants of transport and technological schemes of cargo delivery, formed according to the selected optimization criterion (criteria).

The proposed algorithm for modeling the infrastructural framework of cargo delivery schemes, which involves the use of a certain sequence of a complex of various methods.

The application of the proposed algorithm for modeling the infrastructural frame is considered on the example of the scheme for the delivery of citrus cargo in containers from South American countries. At the first stage, with the help of statistical methods, the structure of the existing cargo flow is analyzed by the nomenclature and supplier countries. As a result, it provides an opportunity to most accurately formulate possible options for the infrastructural framework of the available cargo delivery schemes. At the second stage, the infrastructure optimization framework of delivery schemes was carried out using a modified multi-stage transportation problem using operations research methods. At the last stage, economic efficiency is evaluated and a check on the adequacy of the obtained results from the point of view of practice are carried out. Thus, the feasibility of practical application of the proposed algorithm has been proven.

Key words: modeling, infrastructure framework, delivery scheme, algorithm, transport problem, citrus in containers.

Petrov L.M.

Odessa Military academy

Kishianus I.V.

Odessa Military academy

Petryk Yu.M.

Odessa Military academy

Nikishyn V.A.

Odessa Military academy

ELEMENTS OF THE THEORY OF A MILITARY VEHICLE WITH A PERMANENTLY DEVELOPED WHEEL DRIVE

The working process of the car is accompanied by the load of the wheel drive by the gravitational force, which leads to a delay in the movement of the rotation of the tire during its deformation, as well as a decrease in the power transmitted to the power to the wheel drive. The article deals with the research of the elements of the theory of a military vehicle with a permanently developed wheel drive using the Lagrange equation, as well as the theorem on the change in kinetic energy of such a wheel drive. The purpose of the study is to improve the technological scheme of loading the wheel drive (permanently developed wheel drive) with the developed transfer of energy to the wheel drive due to the kinematically connected moving wheel, the transformation of the energy supplied to the wheel drive into the controlled relative to the center of its hub and with assembly traction force of the car with the carrying force, which is an auxiliary factor to the innovative technology of its movement.

The scientific and practical direction of the work consists in the fact that for the first time the technology was considered, in which the law of change of mechanical energy is applied during the rotation of the wheel drive on the road by applying a permanently developed wheel drive, and this allows a more expedient approach to the consideration of the implementation of the torque on the wheel drive.

The research methodology was to establish a mathematical relationship between the speed of the cyclic movement of the additional wheel, which is associated with the center of the car wheel hub, and this allows to increase the dynamic mobility of the car directly.

The result of the research is the development of the elements of the theory of a military vehicle with a permanently developed wheel drive, which allows to develop a design of a permanently developed wheel drive and to increase the dynamic mobility of the vehicle directly.

The value of the conducted research, the results of the conducted work will allow to make a contribution to the automotive industry.

The proposed model of a car with a permanently developed wheel drive is suitable for use in order to effectively implement engine power and convert it into traction force on the wheel.

Key words: *physical-mathematical model, force, permanently developed wheel drive, wheel, moment of inertia, kinetic energy.*

Formulation of the problem. The kinetic energy of the car's gradual movement can be an indicator of its energy level. When the technical condition of the car deteriorates, greater (than for a technically sound condition) engine energy consumption is required to maintain the given level of kinetic energy of the gradual movement of the car. At a fixed speed, the car's speed fluctuates relative to its average value. Fluctuations and levels of kinetic energy resulting in additional engine energy consumption.

Highlighting previously unresolved parts of the overall problem

The level of kinetic energy of the car's gradual movement can be an indicator of the car's energy load. Previously conducted studies between kinetic energy and additional energy consumption during car movement show the existence of a relationship between them.

Setting objectives. It is necessary to solve the problem of choosing and substantiating indicators

that affect the implementation of energy indicators of the technical capabilities of the car.

Presentation of the main research material

We consider a system with a permanently developed wheel drive as a system with two degrees of freedom, (fig. 1).

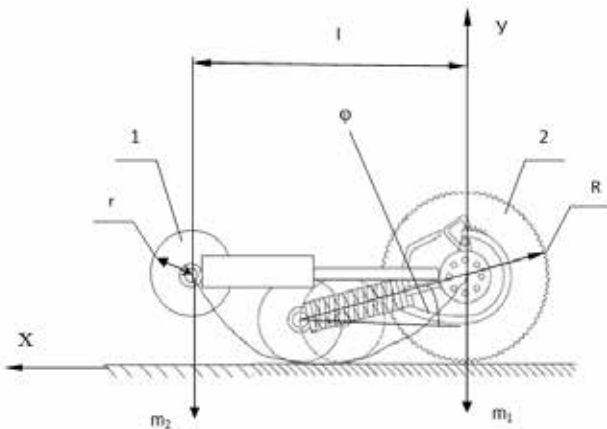


Fig. 1. A system with a permanently developed wheel drive

We tie the coordinate axes directly to the permanently developed wheel drive. As generalized coordinates, we choose the abscissa X of point C and the angle φ of deviation of point K , which is located on the flexible element, from its initial state. In accordance with this, two Lagrange equations are formed for a system with a permanently developed wheel drive. [3, p. 19]

The attachment to the beam of the bridge of the permanently developed wheel drive to the military vehicle is shown in (fig. 2).

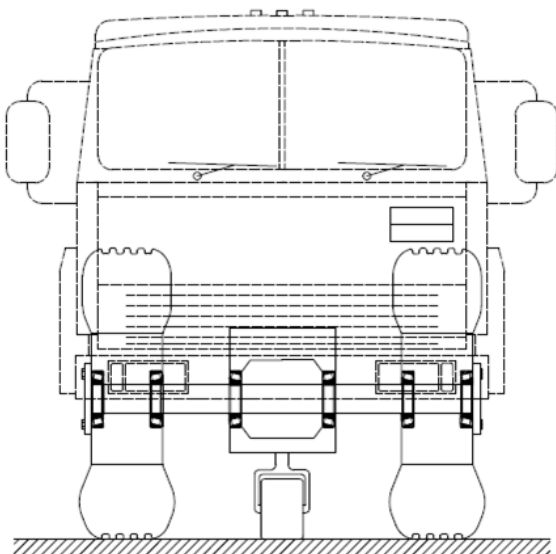


Fig. 2. General appearance of a military vehicle with permanently developed wheel drive

The attachment to the hub of the wheel of a permanently developed wheel drive to a military vehicle is shown in (fig. 3).

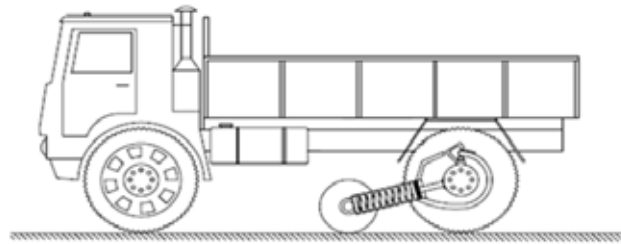


Fig. 3. A military vehicle with permanently developed wheel drive

In figure 4. shows a separate permanent-developed wheel drive, which has a mechanical connection with the beam of the driving bridge.

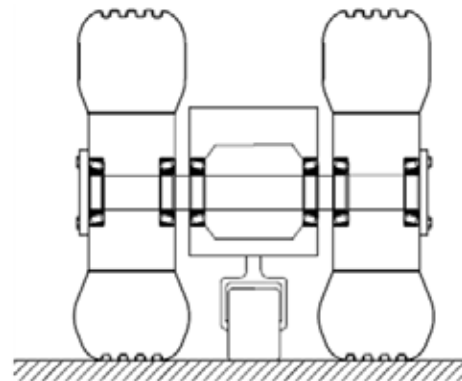


Fig. 4. A permanently developed wheel drive is separately allocated, which has a mechanical connection with the beam of the driving bridge.

To solve the problem of the movement of a military vehicle with a permanently developed wheel drive, consider the physical and mathematical model of this vehicle, (fig. 5), which is closely related to the system with a permanently developed wheel drive, (fig. 1). [4, p. 22-29]

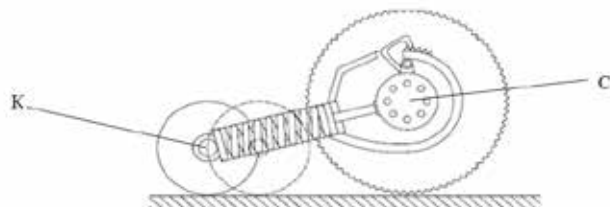


Fig. 5. Physical model of a permanently developed wheel drive

A system with two degrees of freedom is considered. As generalized coordinates, we will choose the abscissa x of the point C of the wheel drive and the angle φ of the deviation of the SC rod from the vertical position.

For the selected system, we will add two Lagrange equations [1, p. 480]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi \quad (2)$$

We denote the total mass of the wheels of wheeled vehicle 1 by m^1 , and the mass of wheel 2 with a center at point K by m^2 ,

Let's find the kinetic energy T of the formed system:

- kinetic energy T_1 of the wheels of the wheel drive 1;
- kinetic energy T_2 of wheel 2;

$$T_1 = \frac{m_1 V_c^2}{2} + I_c \frac{\omega_1^2}{2} \quad (3)$$

$$T_2 = \frac{m_2 V_k^2}{2} + I_k \frac{\omega_2^2}{2} \quad (4)$$

where

V_c and V_k speeds of points C and K;

ω_1 - angular speed of the wheels of the wheel drive 1;

ω_2 - angular speed of wheel 2;

I_c is the moment of inertia of the wheels of wheel drive 1 relative to the axis of rotation that passes through point C;

I_k is the moment of inertia of wheel 2 relative to the axis of rotation that passes through point K.

So,

$$T = T_1 + T_2 = \frac{m_1 V_c^2}{2} + \frac{Y_c \omega_1^2}{2} + \frac{m_2 V_k^2}{2} + \frac{Y_k \omega_2^2}{2} \quad (5)$$

We mean

$$V_c = \dot{X}; V_k = \dot{X}; Y_c = \frac{m_2 R}{2}; Y_k = \frac{m_2 r}{2}; \quad (6)$$

$$\omega_1 = \frac{V_c}{R} = \frac{\dot{X}}{R}; \omega_2 = \frac{V_k}{r} = \frac{\dot{X}}{r} \quad (7)$$

R is the radius of the wheels of wheeled vehicle 1;

r is the radius of wheel 2.

Let's represent the speed of point K through generalized coordinates

To determine the speed of movement of point K, we determine its Cartesian coordinates X_k and Y_k through the selected generalized coordinates:

$$X_k = X + L \sin \varphi \quad (8)$$

$$Y_k = L \cos \varphi \quad (9)$$

The derivative of these formulas

$$\dot{X}_k = \dot{X} + l \cos \varphi \dot{\varphi}; \dot{Y}_k = -l \sin \varphi \dot{\varphi} \quad (10)$$

So,

$$V_k^2 = X_k^2 + Y_k^2 = (\dot{X} + l \cos \varphi \dot{\varphi})^2 + l^2 \sin^2 \varphi \dot{\varphi}^2 = \dot{X}^2 + 2 \dot{X} l \cos \varphi \dot{\varphi} + l^2 \cos^2 \varphi \dot{\varphi}^2 + l^2 \sin^2 \varphi \dot{\varphi}^2 \quad (11)$$

$$= \dot{X}^2 + 2 \dot{X} l \cos \varphi \dot{\varphi} + l^2 \dot{\varphi}^2 (\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) = \dot{X}^2 + 2 \dot{X} l \cos \varphi \dot{\varphi} + l^2 \dot{\varphi}^2$$

Let's substitute the expressions of the components included in the equation for kinetic energy [2, p. 196].

$$T = \frac{m_1 \dot{X}^2}{2} + \frac{1}{2} m_1 R^2 \frac{\dot{X}^2}{2R^2} + \frac{m_2}{2} (\dot{X}^2 + l^2 \dot{\varphi}^2 + 2 \dot{X} l \cos \varphi \dot{\varphi}) + \frac{1}{2} m_2 r^2 \frac{\dot{X}^2}{2r^2} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{3}{2} m_1 + \frac{3}{2} m_2 \right) \dot{X}^2 + m_2 l^2 (\dot{\varphi}^2 + 2 \dot{X} l \cos \varphi \dot{\varphi}) \right] \quad (12)$$

Let's calculate the generalized force, the time derivative of the kinetic energy:

For the generalized coordinate x:

$$\dot{x}_0 = 0; \quad \dot{\dot{x}}_0 = 0; \quad (13)$$

$$\dot{\varphi}_0 = 0; \quad \dot{\dot{\varphi}}_0 = 0$$

For the generalized coordinate φ :

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m_2 l (\dot{\varphi} + \dot{X} \cos \varphi); \quad (14)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) = m_2 l (\dot{\varphi} + \dot{X} \cos \varphi - \dot{X} \varphi \sin \varphi); \quad (15)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = -m_2 l \dot{X} \varphi \sin \varphi \quad (16)$$

The generalized forces Q_x and Q_φ , with respect to the generalized coordinates, are found using the following formulas:

- forces $P_1 X$ and $P_2 X$ are perpendicular to all, and therefore $P_1 X = P_2 X = 0$.

- forces P_1 and P_2 are parallel to the y axis, and therefore $P_1 y$ and P_1 ; $P_2 y$ and P_2 .

Coordinates $Y_c = 0$, since the force P_1 is applied at point C.

Coordinates : $Y_k = l \cos \varphi$.

Then the generalized forces Q_x and Q_φ will be tied to the formulas:

$$Q_x = P_1 \frac{\partial Y_c}{\partial X} + P_2 \frac{\partial Y_k}{\partial X} = 0. \quad (17)$$

$$Q_\varphi = P_1 \frac{\partial Y_c}{\partial \varphi} + P_2 \frac{\partial Y_k}{\partial \varphi} = -P_2 l \sin \varphi = -m_2 g l \sin \varphi \quad (18)$$

At the same time, taking into account that the wheel drive of a car with a movable wheel relative to the cell K is under the influence of weight forces P_1 and P_2 , which exist as a force function for the car, then the force function for these forces will be written in the form:

$$L = P_1 Y_c + P_2 Y_k = P_2 l \cos \varphi \quad (19)$$

so,

$$Q_x = \frac{\partial L}{\partial X}; Q_\varphi = \frac{\partial L}{\partial \varphi} = -P_2 l \sin \varphi = -m_2 g l \sin \varphi. \quad (20)$$

Lagrange's equations take the form:

$$\left(\frac{3}{2} m_1 + \frac{3}{2} m_2 \right) \dot{X} + m_2 l (\dot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) = 0 \quad (21)$$

$$l \dot{\varphi} + \dot{X} \cos \varphi - g \sin \varphi = 0. \quad (22)$$

We will take into account that the cell K of the moving wheel deviates from the cell t. C of the wheel

drive of the car, and therefore Lagrange's equations take the form:

$$\left(\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2\right)x + m_2 l \dot{\varphi} = 0 \quad (23)$$

$$x + l\dot{\varphi} + g\varphi = 0. \quad (24)$$

From the first equation, we select the generalized coordinate:

$$X = -\frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \dot{\varphi} \quad (25)$$

Having integrated this equation, we get

$$X = -\frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \varphi + C_1 \quad (26)$$

The second integration makes this equation look like this;

$$X = -\frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \varphi + C_1 t + C_2 \quad (27)$$

The function of the generalized coordinate φ is the most decisive in creating (giving) dynamism and power to the wheel drive. To determine this function from Eqs into formula (24) and formula (25):

$$\frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \dot{\varphi} + l\dot{g} + g\varphi = 0. \quad (28)$$

or

$$\frac{3}{2}m_2 l \dot{\varphi} + \left(\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2\right)g\varphi = 0 \quad (29)$$

finally:

$$\dot{\varphi} + \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{g}{l} \varphi = 0. \quad (30)$$

let's enter the notation:

$$\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{g}{l} = n^2 \quad (31)$$

Then the equation into formula (30) takes the form

$$\dot{\varphi} + n^2 \varphi = 0. \quad (32)$$

The general solution of this equation will have the form:

$$\varphi = C_3 \cos nt + C_4 \sin nt \quad (33)$$

Derivative 3 of this equation has the form:

$$X = C_1 t + C_2 - \frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} (C_3 \cos nt + C_4 \sin nt) \quad (34)$$

The obtained equations, which are tied to the generalized coordinates x and φ from time t , determine the dynamics of the car wheel and the force on the wheel drive of the car.

Let's define the free constants: C_1, C_2, C_3, C_4 at $t=0$, we have:

$$X_0 = -\frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \varphi_0 + C_1; \quad (35)$$

$$\dot{X}_0 = \frac{m_2 l}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} \dot{\varphi}_0 + C_1; \quad (36)$$

let:

$$x_0 = 0; \dot{x}_0 = 0; \text{ but } \varphi_0 = 0; \dot{\varphi}_0 = 0. \quad (37)$$

then

$$C_1 = 0; n = \sqrt{\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{g}{l}} = \sqrt{\left(1 + \frac{P_2}{P_1}\right) \frac{g}{l}}; C_3 = \varphi_0; C_4 = 0 \quad (38)$$

Therefore, the final equation takes the form:

$$\varphi = \varphi_0 \cos nt$$

$$X = \frac{m_2 l \varphi_0}{\frac{3}{2}m_1 + \frac{3}{2}m_2} (1 - \cos nt) \quad (39)$$

where

$$n = \sqrt{\left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right) \frac{g}{l}} = \sqrt{\left(1 + \frac{P_2}{P_1}\right) \frac{g}{l}} \quad (40)$$

Conclusions

1. The proposed scientific and methodological approach allows to increase the level of technical use of the energy indicators of the wheel drive of the car.

2. The proposed permanently developed wheel drive allows to increase the efficiency of using the power of the car engine to overcome the forces of external resistance to its movement, and thus, with the help of the generated kinetic energy of gradual movement, it is possible to determine the rational speed of the car, at which the task of the work process is more efficiently performed.

3. The maximum value of the efficiency of using a permanently developed wheel drive can be normalized when diagnosing a car based on energy indicators.

Bibliography:

1. Вахламов В.К.. Автомобили: Конструкция и элементы расчета: учебник для студ. высш. учеб. Заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 480 с.
2. Ганзюк М.О. Аналіз конструкцій та розрахунків автомобілів. Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090258 «Автомобілі та автомобільне господарство» денної та заочної форм навчання укладач. Луцьк.: ЛНТУ, 2011. 196 с.
3. Карташов А. Б. Разработка крупногабаритных колесных движителей из композиционных материалов на основе стеклопластика : автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, 2010. 19 с.
4. Гутиев С. К., Мамити Г. И., Плиев С. Х., Мельников А. С. Колесно-шагающий авто на снегу АВГ2012. Специальные колесные машины для освоения горных территорий. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2009. № 3(24). С. 22–29.

Петров Л.М., Кішнянус І.В., Петрик Ю.М., Нікішин В.А. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІЙСЬКОВОГО АВТОМОБІЛЯ З ПЕРМАНЕНТНО-РОЗВИНУТИМ КОЛІСНИМ РУШІЄМ

Робочий процес автомобіля супроводжується навантаженням колісного рушія гравітаційною силою, що приводить до затримки руху обертання шини при її деформації, а також зменшення потужності, яка передається потужності на колісний рушій. В статті розглянуті питання дослідження елементів теорії військового автомобіля з перманентно-розвинутим колісним рушієм з застосуванням рівняння Лагранжа, а також теореми про зміну кінетичної енергії такого колісного рушія. Метою дослідження є удосконалення технологічної схеми навантаження колісного рушія (перманентно-розвинутим колісним рушієм) при розвинутої передачі енергії на колісний рушій за рахунок кінематично-пов'язаного з ним рухливого колеса, перетворення енергії підведеної до колісного рушія в керований відносно осередком його маточини та зі складанням тягового зусилля автомобіля з переносною силою, яка є допоміжним фактором до інноваційної технології його переміщення.

Науковий та практичний напрям роботи полягає в тому, що вперше розглянута технологія в якій при обертанні колісного рушія по дорозі застосовано закон зміни механічної енергії шляхом застосування перманентно-розвинутим колісним рушієм, а це дозволяє більш доцільно підійти до розгляду реалізації крутного моменту на колісному рушії.

Методологією дослідження являлося встановити математичний зв'язок між швидкістю циклічного переміщення додаткового колеса, яку пов'язано з осередком маточини автомобільного колеса, а це дозволяє підвищити динамічну рухливість безпосередньо автомобіля.

Результатом дослідження є розробка елементів теорії військового автомобіля з перманентно-розвинутим колісним рушієм що дозволяє розробити конструкцію перманентно-розвинутого колісного рушія і підвищити динамічну рухливість безпосередньо автомобіля.

Цінність проведеного дослідження, результати проведеної роботи дозволять зробити внесок в галузь автомобільного виробництва.

Запропонована модель автомобіля з перманентно-розвинутим колісним рушієм придатна для використання з метою ефективного реалізації потужності двигуна з перетворенням її в тягове зусилля на колесі.

Ключові слова: фізико-математична модель, сила, перманентно-розвинутим колісним рушієм, колесо, момент інерції, кінетична енергія.

UDC 629.3.014.7+629.3.022.
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/31>

Petrov L.M.

Odessa Military academy

Kishianus I.V.

Odessa Military academy

Petryk Yu.M.

Odessa Military academy

Nikishyn V.A.

Odessa Military academy

Rudenko A.V.

Odessa Military academy

THE INTERACTION OF POTENTIAL AND KINETIC ENERGY ON THE WHEEL WITH THE POTENTIAL AND KINETIC LOAD OF THE TRUCK

In the article "Interaction of potential and kinetic energy on a wheel with the potential and kinetic load of a truck" by the authors L.M. Petrova, I.V. Kishianusa, Yu.M. Petryka, V.A. Nikishina, A.V. Rudenka, materials are given that highlight the interaction of potential energy pressing on a wheel with a potential and kinetic load and its transformation into kinetic energy of a wheel with a potential and kinetic load by dividing the potential and kinetic energy into primary and secondary motion.

The movement of the car is carried out with the help of wheeled motors, which partially satisfy the performance of technological tasks in the zone close to combat. The main drawback is the fulfillment of the requirements for moving a military vehicle in difficult conditions, especially when performing combat missions, and in some cases, the impossibility of moving it, which will affect its survivability. To increase the reliability of the technology of moving a car in difficult conditions, the development of world-class specialists is aimed at improving the design of its suspension, as well as the technology of moving vehicles in difficult operating conditions.

The purpose of the study is to improve the design of the load scheme of the wheel drive when it moves over an obstacle, and as a result, the transformation of the energy supplied to the wheel drive and movements according to a certain number of kinematically-distributed in the wheel drive into the controlled movement of the vehicle relative to the wheel with the addition of the traction force of the vehicle with the transfer forces movement, which is an auxiliary factor to the innovative technology of its movement.

The conducted research showed the results of the work carried out, which will make it possible to make a contribution to the field of domestic mechanical engineering.

The proposed model of the vehicle is suitable for use in order to increase the driving capabilities when they perform combat tasks.

Key words: *wheel with potential and kinetic load, potential energy, kinetic energy, primary motion, secondary motion, difficult conditions.*

Formulation of the problem. Military vehicles that perform tasks in difficult operating conditions receive the action of external forces, as well as shocks from the side of the road, while various movements and oscillations of vehicles appear along the longitudinal, transverse and vertical axes.

In order to pose and solve the problem of the occurrence of negative forces and shocks during the movement of the car on its comfort, safety and high-

quality performance of combat tasks, it is necessary to qualitatively select and perform kinematic connection to achieve better characteristics of elastic suspension elements and shock absorbers, and also contribute to increasing the traction capabilities of the car.

Highlighting previously unresolved parts of the overall problem

The evolution of the creation and development of mechanical vehicles began several thousand years

ago with the creation of the first type of motor – the wheeled one on the (fig. 1).

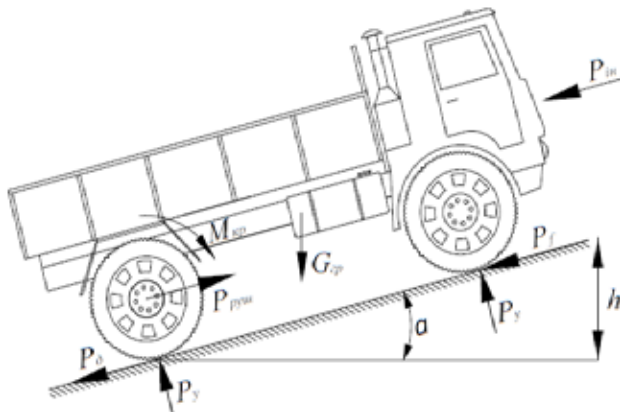


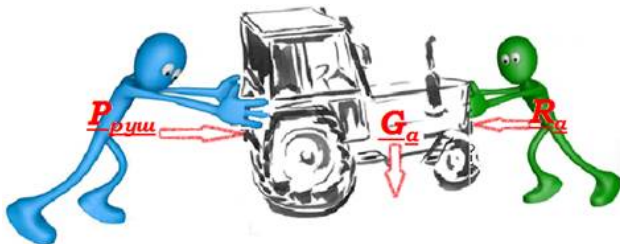
Fig. 1. Power load of a military vehicle

$P_{\text{рак}}$ – traction force of the car; $P_{\text{т}}$ – tangential traction force of the car; $P_{\text{р}}$ – the force of rolling resistance of the wheel drive of the car; P_i – the car's lifting resistance; $P_{\text{ин}}$ – inertia force; $P_{\text{прив}}$ – driving force of the car; $G_{\text{р}}$ – operating weight of the car; P_y – the force of the road's reaction to the car's transmission

The movement of the vehicle is carried out with the help of wheel drives, which partially satisfy the performance of technological tasks in the zone close to combat. The main disadvantage is the fulfillment of the requirements for moving the vehicle in difficult operating conditions, and in some cases the impossibility of moving it at all.

In order to increase the reliability of the technology of moving vehicles in difficult conditions, the development of specialists of the world is aimed at improving the design of the suspension, as well as the technology of moving in difficult operating conditions.

Setting objectives. In order to increase the reliability of the movement of a vehicle performing a combat mission, the authors proposed a technology for this vehicle with modernized wheeled motors, the movement of which, when overcoming difficult road conditions, is supported by inertial components that are formed during the movement of the vehicle.



Presentation of the main research material

Scientists of many countries, who are leaders in the field of creating cars with modern technologies,

did not pay attention to the interaction of energies (potential and kinetic).

The scheme regarding the load of the truck is shown in (fig. 2).

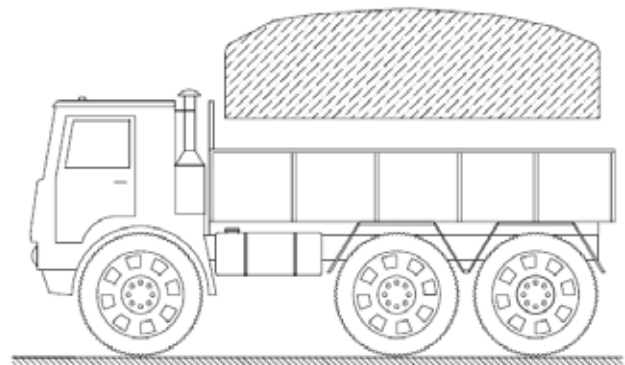


Fig. 2. A diagram showing a truck before it is loaded

In (fig. 3) shows the loading of the truck with the operating weight, which creates the primary movement of the wheel with potential and kinetic load.

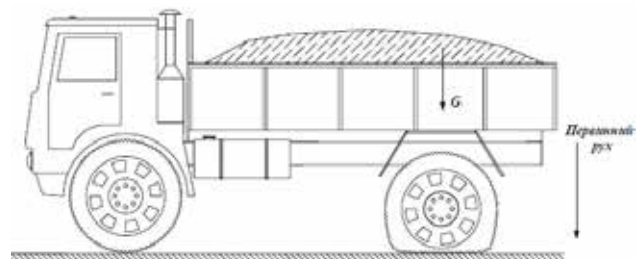


Fig. 3. Scheme of a truck with the primary movement of a wheel drive

In (fig. 4) shows a truck with a wheel force load with potential and kinetic load under the action of secondary motion.

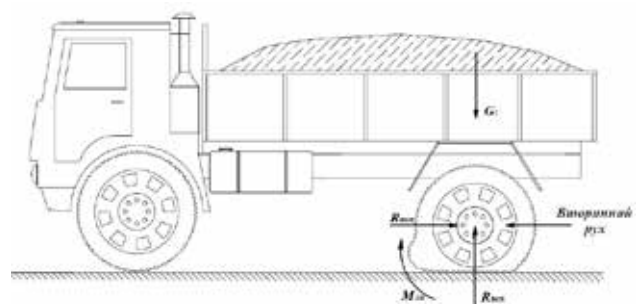


Fig. 4. Scheme of a truck with a power load of a wheel with potential and kinetic load under the action of secondary motion

The physical model of primary and secondary movements of a car wheel with potential and kinetic load is shown in (fig. 5, 6).

As can be seen from (fig. 3, 4), the following forces are applied to ensure the movement of the car:

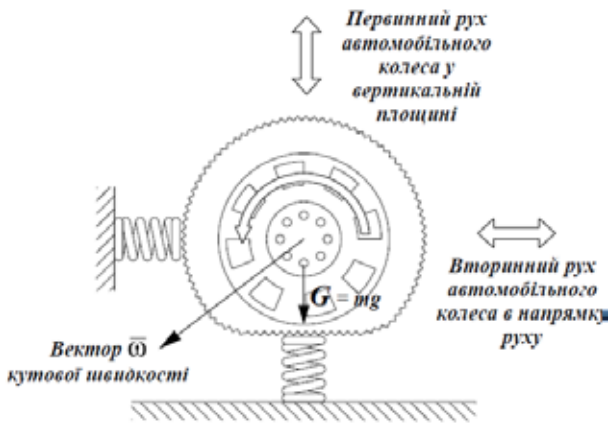


Fig. 5. Physical model of a car wheel with potential and kinetic load under the action of primary and secondary motions

– load of the wheel with potential and kinetic load from the operating weight (primary movement of the wheel with potential and kinetic load from the vertical component of the operating weight G , which deforms the flexible part of the wheel with potential and kinetic load and which contributes to the emergence of a vertical reaction from the support surface);

– the load of the wheel with potential and kinetic load from the torque applied to the wheel with potential and kinetic load from the car transmission (secondary movement of the wheel with potential and kinetic load, which contributes to the appearance of the horizontal reaction of the support surface and the moment of rolling resistance of the wheel with potential and kinetic load) .

This distribution of many forces on the wheel with potential and kinetic load contributes to the appearance of both useful and negative moments that can improve or worsen the movement of the car [2, 3 p. 1–3].

For the proposed mechanical system "wheel with bi-dynamic load", the Lagrange equation was drawn up, in which the perspective of the competition of the kinetic and potential energy of the wheel with the potential and kinetic load is embedded. In the general case, for the degree of freedom, the Lagrange equation, taking into account the kinetic and potential energy, is reduced by the author to the formula (1):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \quad (1)$$

where,

$L=T-\Pi$ – the Lagrange function; T, Π – total stock, respectively, kinetic and potential energy of the system; Q_i – generalized non-conservative forces.

Also to the authors [1, p. 123–133,145–147] as generalized coordinates, the following variables are adopted: horizontal movement of the wheel with potential and kinetic load – x and angular movement of the wheel driver – φ .

At the same time, the kinetic and potential energy of interaction on the wheel with the potential and kinetic load of the truck will be determined by the formulas:

$$T = m_1 + m_2 \frac{x^2}{2} + m_2 l x \varphi \cos \varphi + J \frac{\varphi^2}{2};$$

$$\Pi = -m_2 g l \cos \varphi,$$

where, $J = I^2 \cdot m_2$ – moment of inertia of operating weight;

m_1 – car weight;

m_2 – operational weight

Thus, the Lagrange function for a truck can be written as:

$$L = T - \Pi = m_1 + m_2 \frac{x^2}{2} + m_2 l x \varphi \cos \varphi + J \frac{\varphi^2}{2} + m_2 g l \cos \varphi \quad (2)$$

The generalized forces corresponding to the accepted generalized coordinates will have the form:

$$Q_x = F \quad (3)$$

$$Q_\varphi = 0 \quad (4)$$

F – is the force responsible for the secondary movement of the wheel loaded with the primary movement with potential and kinetic load.

The potential energy of a flexible tire is similar to the case of translational movements, except for the angular stiffness of the elastic metal cord:

$$E_p = \frac{k_1}{2} \alpha_1^2 + \frac{k_2}{2} \alpha_2^2. \quad (5)$$

Here k_i are the constants of the angular stiffness of the metal cord. Substitution of the obtained expressions of kinetic and potential energies into the Lagrange equation leads to rather large equations that are difficult to analyze. At the same time, these equations are nonlinear due to the presence of sinusoidal and cosine functions from the generalized variables α_1 i α_2 .

However, taking into account that elastic suspensions usually do not allow.

large angular deviations, it is reasonable to assume that angles α_1 i α_2 are small [4, p. 331–335].

Calculations of kinetic and potential energy were carried out in the environment Excel.

Table 1 shows the calculations of potential energy carried out depending on K_2 and α^2 .

Table 1

Calculation of potential energy

E_n	K_2	α_2
0,2	10	0,2
28,8	40	1,2
169,4	70	2,2
512	100	3,2
1146,6	130	4,2
2163,2	160	5,2
3651,8	190	6,2

Table 2 shows the calculations of kinetic energy carried out depending on R, m, ω .

Table 2

Calculation of kinetic energy

E_k	R	m	ω
0,004	0,2	5	0,2
4,608	0,4	40	1,2
65,34	0,6	75	2,2
360,45	0,8	110	3,2
1278,9	1	145	4,2
3504,4	1,2	180	5,2
8099,3	1,4	215	6,2

The results of the calculations are shown in (fig. 5).

According to the results of the conducted scientific work, for the first time, an unaccounted part of the energy of the interaction of kinetic and potential energy was discovered, which manifests itself on the graph in the form of an area that is sandwiched between the lines that create: 1 line – potential energy; the second line is kinetic energy. Kinetic and potential energy on the graph are functions depending on the change in angle α by time and angular velocity ω by

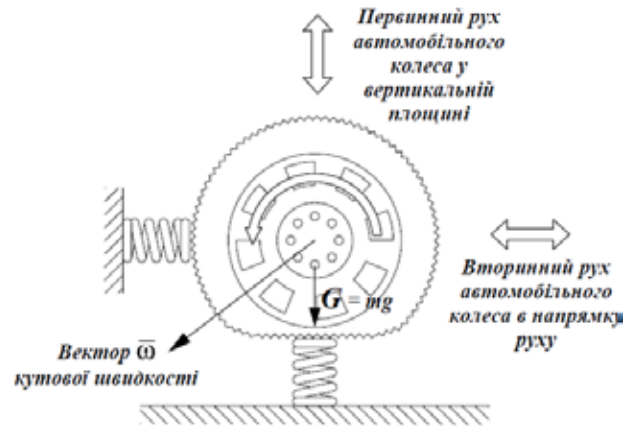


Fig. 5. Dependence of kinetic and potential energy on variables α і ω

time. The smaller this area on the graph, the faster potential energy is transformed into kinetic energy and the more dynamic the "wheel with bi – dynamic load" becomes

Bibliography:

1. Іванов Б. О., Максютя М. В., І-20 Конспект лекцій із теоретичної механіки : навчальний посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 123–133 с., 145–147 с.
2. Петров Л. «Спосіб переміщення мобільного енергетичного засобу», 2015. Бюл. № 1.
3. Петров Л. «Спосіб переміщення мобільного засобу», 2014. Бюл. № 1.
4. Лобас Л. Лобас Л. Теоретична механіка: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. К.: ДЕДУТ, 2008. 331–335 с.

Петров Л.М., Кішянус І.В., Петрик Ю.М., Нікішин В.А., Руденко А.В. ВЗАЄМОДІЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ І КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА КОЛЕСІ З ПОТЕНЦІЙНИМ ТА КІНЕТИЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Приведені матеріали, які висвітлюють взаємодію потенційної енергії, яка тисне на колеса з потенційним та кінетичним навантаженням і її перетворення на кінетичну енергію колеса з потенційним та кінетичним навантаженням шляхом розділення потенційної і кінетичної енергії на первинний і вторинний рух.

Рух машини здійснюється за допомогою колісних двигунів, які частково задовольняють виконання технологічних завдань у зоні, наближеній до бойової. Основним недоліком є виконання вимог щодо пересування військової машини в складних умовах, особливо при виконанні бойових завдань, а в окремих випадках і неможливість її пересування, що вплине на її живучість. Для підвищення надійності технології руху автомобіля в складних умовах розробки фахівців світового рівня спрямовані на вдосконалення конструкції його підвіски, а також технології руху транспортних засобів в складних умовах експлуатації.

Метою дослідження є удосконалення конструкції схеми навантаження колісного приводу при його переміщенні через перешкоду і, як наслідок, перетворення підведеної до колісного приводу енергії та переміщень за певною кількістю кінематично-розподілених в колісному приводі в керований рух транспортного засобу відносно колеса з додаванням тягового зусилля транспортного засобу з передавальним зусиллям руху, що є допоміжним чинником інноваційної технології його руху.

Проведене дослідження показало результати проведеної роботи, що дозволить зробити внесок у галузь вітчизняного машинобудування.

Пропонована модель автомобіля придатна для використання з метою підвищення ходових можливостей при виконанні ними бойових завдань.

Ключові слова: колесо з потенційним і кінетичним навантаженням, потенційна енергія, кінетична енергія, первинний рух, вторинний рух, складні умови.

УДК 656.073.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/32>**Прокудін Г.С.**

Національний транспортний університет

Назарова А.П.

Національний транспортний університет

МОДЕЛІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

Структура технологічного процесу доставки партії вантажу описується структурою логістичного ланцюга, що відображає послідовність участі в процесі доставки різних суб'єктів транспортного ринку.

У статті представлено п'ять основних варіантів логістичних ланцюгів при доставці вантажів автомобільним транспортом, а саме:

- *1FF найпростіший варіант доставки з одним експедитором;*
- *2FF доставка за участю двох експедиторів без залучення вантажних терміналів;*
- *1FT доставка партії вантажу через вантажний термінал;*
- *2FT доставка за участю двох вантажних терміналів;*
- *Nc.t. доставка з n-ною кількістю країн транзиту.*

Для окремо взятого варіанту логістичного ланцюга доставки вантажу в складі логістичної системи початковою ланкою, яка генерує матеріальний потік, являється вантажовласник однієї з підсистем (вантажовідправник), а кінцевою ланкою, поглинаючою, являється вантажовласник другої підсистеми (вантажоотримувач). Відповідно, початковою і кінцевою ланкою логістичного ланцюга являється вантажовласник. Фізичне переміщення матеріалопотоку здійснює перевізник. Функцію організації процесу переміщення матеріалопотоків реалізує експедитор (4PL-провайдер), використовуючи при необхідності ресурси вантажних терміналів (3PL-провайдерів). Як організатор процесу реалізації потреби вантажовласників в переміщенні вантажу, експедитор являється ланкою логістичного ланцюга, на якому замикаються інформаційні потоки. Оскільки вантажовласник з метою реалізації своєї потреби в переміщенні вантажу звертається до експедитора, то фінансовий потік в логістичному ланцюзі проходить першочергово від вантажовласника до експедитора, а далі – до інших учасників ланцюга.

Детально розглянуто ланки для окремого варіанту логістичного ланцюга, описано їх процес взаємодії та представлено графічно різні види логістичних ланцюгів.

Ключові слова: логістичний ланцюг, вантажний термінал, експедитор, перевізник, вантажовідправник, вантажоотримувач, партія вантажу, транспортний засіб.

Постановка проблеми. Структура технологічного процесу доставки партії вантажу описується структурою логістичного ланцюга (ЛЛ), що відображає послідовність участі в процесі доставки різних суб'єктів транспортного ринку. При цьому слід розрізняти задачу вибору оптимальної структури ЛЛ від задачі вибору оптимального перевізника (логістичного оператора, підрядника для виконання окремих видів робіт, вантажного терміналу, пункту пропуску і т.д.) або оптимального маршруту доставки. Вибір оптимальних варіантів логістичних ланцюгів (ЛЛ) доставки вантажів здійснюється на основі альтернативних варіантів, що у значній мірі визначає ефективність вантажних перевезень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженнями логістичних ланцюгів доставки

вантажів займалися такі вчені як Ширяєва С.В., Свірін Д.О., Лиса С.С., Зіміна А.І., Набока Р.М., Шукліна В.В., Токмакова І.В., Овчиннікова В.О., Корінь М.В., Тюріна Н.М., Гой І.В., Бабій І.В.

В роботі Ширяєвої С.В. та Свіріна Д.О. [1] досліджувались ЛЛ постачань при виконанні міжнародних автомобільних перевезень вантажів, зокрема: принципова схема та загальна структура ЛЛ, основні види ЛЛ, варіанти ланцюгів постачань. На жаль зміст цих досліджень носить узагальнений характер, якій не конкретизовано і не містить специфіки перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

Автори Лиса С.С. та Зіміна А.І. [2] у своїй статті висвітлюють проблеми та перспективи розвитку ринку холодної логістики України, а саме проаналізовано підходи до тлумачення понять

холодових ланцюгів постачання, холодної логістики, логістики швидкопсувних товарів, які можуть бути використані як синоніми. Також розглянуто питання щодо управління холодним ланцюгом постачання, визначено ключові логістичні рішення для ефективного управління, такі як: забезпечення і контроль температурного режиму під час транспортування, зберігання їх у спеціалізованих складських комплексах, комплектації, приймання; інформаційна підтримка холодного ЛЛ. Оцінено сучасний стан логістичного обслуговування холодних ланцюгів постачання в Україні. Стаття носить суто описово-статистичний характер.

У статті Набоки Р.М. та Шукліної В.В. [3], яка присвячена впливу інтеграції ЛЛ поставок на підвищення потенціалу підприємства, встановлено, що інтегровані ЛЛ поставок дозволяють найбільш ефективно реалізувати цілі підприємства, сприяти виходу підприємства з економічної кризи. Констатовано, що при застосуванні інтегрованої логістики поставок всі функціональні підрозділи підприємства об'єднуються в єдиний процес, а метою такого об'єднання є запобігання нераціональним втратам ресурсів і досягнення максимального економічного результату. Авторами наголошується, що інтеграція ЛЛ поставок призводить до підвищення потенціалу всього підприємства, а всі взаємно пов'язані логістичні функції повинні виконуватися узгоджено – у вигляді єдиної функції. Здійснено висновок, що інтеграція ЛЛ поставок дозволяє досягти синергетичного ефекту діяльності підприємства. Зміст статті носить декларативний характер і не містить конкретних заходів до реалізації мети інтегрованої логістики поставок.

Науково-методична праця авторів Токмакової І.В., Овчиннікової В.О. Корінь М.В. [4] присвячена питанню управління ланцюгами постачань і спрямована на гармонізацію інтересів учасників процесу руху продукції, оптимізацію ринкових зв'язків, тобто поглибленню процесу інтеграції всіх учасників ланцюга постачань, спрямованого на задоволення вимог цільового ринку, а також на формування в учасників ланцюга постачань соціальної відповідальності відповідно до вимог суспільства в цілому та кінцевих споживачів зокрема. Управління ланцюгами постачань, на думку авторів, спрямоване на досягнення двох основних ефектів: збільшенню розміру доходу від продажів продукції/послуг за рахунок підвищення рівня сервісу, точності постачань і зниження коливань попиту; скороченню витрат за рахунок зниження

рівня запасів, накладних і транзакційних витрат у закупівлях, складуванні й збуті, а також поліпшення використання виробничих і логістичних потужностей. Зміст праці носить освітній характер, надає теоретичні знання з питання управління ланцюгами постачань, але не дає практичного досвіду.

Автори Тюріна Н.М., Гой І.В., Бабій І.В. [5] дають узагальнене визначення ЛЛ, як лінійно-впорядкованої множини фізичних та юридичних осіб (постачальників, посередників, перевізників та інш.), що беруть безпосередню участь у доведенні конкретної партії продукції до споживача. Також у роботі наводяться узагальнені приклади ЛЛ та логістичної мережі. Зміст поданого матеріалу носить узагальнений характер, не містить прикладного напрямку.

Отже, виходячи з проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій, які стосуються питанню логістичних ланцюгів доставки вантажів, доцільно більш детально досліджувати логістичні ланцюги саме міжнародних автомобільних перевезень вантажів і зосередитися на визначенні нових шляхів підвищення ефективності таких перевезень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо основні варіанти ЛЛ при доставці вантажів автомобільним транспортом.

Для окремо взятого варіанту ЛЛ доставки вантажу в складі логістичної системи початковою ланкою, яка генерує матеріальний потік, являється вантажовласник однієї з підсистем (вантажовідправник), а кінцевою ланкою, поглинаючою, являється вантажовласник другої підсистеми (вантажоотримувач). Відповідно, початковою і кінцевою ланкою ЛЛ являється вантажовласник. Фізичне переміщення матеріалопотоку здійснює перевізник. Функцію організації процесу переміщення матеріалопотоків реалізує експедитор (4PL-провайдер), використовуючи при необхідності ресурси вантажних терміналів (3PL-провайдерів). Як організатор процесу реалізації потреби вантажовласників в переміщенні вантажу, експедитор являється ланкою ЛЛ, на якому замикаються інформаційні потоки. Оскільки вантажовласник з метою реалізації своєї потреби в переміщенні вантажу звертається до експедитора, то фінансовий потік в ЛЛ проходить першочергово від вантажовласника до експедитора, а далі – до інших учасників ланцюга.

Найпростіший варіант ЛЛ представлений на рисунку 1.

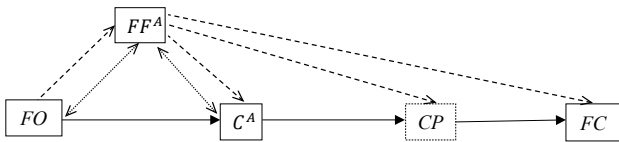


Рис. 1. Найпростіший варіант ЛЛ

Формально найпростіший ЛЛ LC є сукупністю елементів наступного виду:

$$LC^{1F} = \{FO; C^A; FF^A; CP; FC\} \quad (1)$$

- > маршрут доставки вантажу;
- - - - -> інформаційний потік;
- ← - - - - -> матеріальний потік (фінансовий,

грошові одиниці);

де FO – вантажовідправник;

C^A – перевізник в країні вантажовідправника;

FF^A – експедитор в країні вантажовідправника;

CP – пункт пропуску на митниці;

FC – вантажоотримувач.

Для представленого варіанта координацію процесу доставки вантажу здійснює один експедитор, в транспортуванні задіяний один перевізник, в процесі доставки вантажу не приймають участь вантажні термінали. Вантажовідправник заявляє про потребу в переміщенні партії вантажу. Експедитор обирає перевізника, який може доставити дану партію вантажоотримувачу, після зв'язується з вантажовідправником, укладаються двохсторонні угоди на організацію доставки між експедитором і вантажовідправником, а також між експедитором та перевізником. Вантажовідправник оплачує послуги експедитора, із отриманої від замовника суми експедитор оплачує послуги перевізника. Перевізник здійснює доставку партії вантажу від вантажовідправника до вантажоотримувача (якщо доставка здійснюється у внутрішньому сполученні) і до кордону, а далі від пропускного пункту на митниці до вантажоотримувача (якщо доставка здійснюється у міжнародному сполученні) [3]. Такий варіант ЛЛ характерний при доставці вантажів автомобільним транспортом у випадку, якщо об'єм партії що відправляється відповідає вантажопідйомності транспортного засобу.

Більш складним являється варіант ЛЛ з участю двох експедиторів і, відповідно, двох перевізників зображений на рисунку 2.

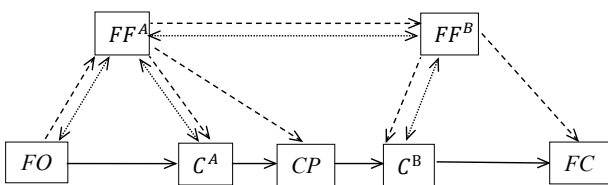


Рис. 2. Варіант ЛЛ з двома експедиторами

Даний варіант ЛЛ (ланцюга типу LC^{2F}) є сукупністю наступних елементів:

$$LC^{2F} = \{FO; FF^A; C^A; CP; FF^B; C^B; FC\} \quad (2)$$

де C^B – перевізник в країні вантажоотримувача;

FF^B – експедитор в країні вантажоотримувача.

Експедитор однієї з підсистем після отримання заявки від вантажовідправника визначає перевізника для доставки партії вантажу до кордону, а також відправляє заявку експедитору-партнеру. Експедитор-партнер організує доставку партії вантажу від кордону до вантажоотримувача, використовуючи для цього перевізника в країні призначення. В такому випадку підписуються чотири двохсторонні угоди: між експедитором і вантажовідправником, між експедитором і перевізником із підсистеми відправки, між двома експедиторами, а також між іноземним експедитором і перевізником. Вантажовідправник при цьому оплачує послуги першого експедитора, який в свою чергу із отриманої винагороди оплачує послуги перевізника в країні призначення, а також послуги іноземного експедитора. Експедитор-партнер із отриманої винагороди оплачує послуги перевізника в своїй країні.

Вантажний термінал приймає участь в процесі переміщення матеріалопотоку в варіанті ЛЛ, представленого на рисунку 3.

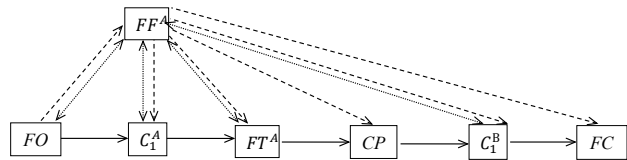


Рис. 3. Варіант ЛЛ з одним терміналом

Такий варіант ЛЛ (ланцюг типу LC^{1T}) являється сукупністю 7-ми основних елементів:

$$LC^{1T} = \{FO; FF^A; C_1^A; FT^A; CP; C_1^B; FC\} \quad (3)$$

де C_1^A – перевізник в країні вантажовідправника, який забезпечує доставку вантажу на термінал;

C_1^B – перевізник в країні вантажоотримувача, який забезпечує доставку вантажу в міжнародному сполученні;

FT^A – вантажний термінал в країні вантажовідправника.

Експедитор після отримання заявки від вантажовласника оцінює доцільність доставки партії вантажу через вантажний термінал. У випадку, якщо такий варіант ланцюга економічно доцільний, експедитор проводить пошук перевізників для доставки вантажу на вантажний термінал і для вивозу укрупненої партії для доставки без-

посередньо вантажоотримувачу. Після визначення учасників процесу доставки партії вантажу підписуються чотири двохсторонні угоди: між експедитором і вантажовідправником, між експедитором і перевізником в країні доставки, між експедитором і вантажним терміналом, між експедитором та міжнародним перевізником. З коштів, які надійшли на рахунок експедитора від вантажовласника, експедитор оплачує послуги перевізників та вантажного терміналу. Даний варіант ЛЛ використовується при підвезенні партії вантажу на термінал автомобільним транспортом, консолідації відправок по напрямках і наступній доставці магістральним транспортом (залізницею). Можливий варіант, коли відвезення укрупненої партії вантажу організовує вантажний термінал, виступаючи як 4PL-провайдер.

Більш поширеним варіантом доставки партії вантажу з участю магістрального транспорту є варіант ЛЛ з двома терміналами, який зображено на рисунку 4.

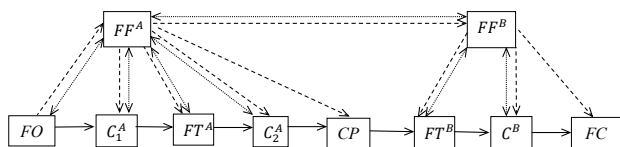


Рис. 4. Варіант ЛЛ з двома терміналами

Варіант ЛЛ з двома терміналами LC^{2T} являється сукупністю наступних елементів:

$$LC^{2T} = \{FO; FF^A; C_1^A; FT^A; C_2^A; CP; FF^B; FT^B; C^B; FC\} \quad (4)$$

де FT^B – вантажний термінал в країні вантажоотримувача.

В цьому випадку вантажовласник заявляє про потребу в переміщенні партії вантажу. Експедитор, отримавши заявку, визначає, що з множини варіантів ЛЛ найбільш ефективним буде варіант з двома вантажними терміналами. Після цього експедитор визначає перевізника в країні відправки для доставки партії вантажу від вантажовідправника на термінал, укладає угоду з терміналом і магістральним перевізником, а також надсилає заявку про необхідність доставки партії вантажу з іноземним експедитором-партнером. Експедитор-партнер організує доставку партії вантажу від терміналу в своїй країні до вантажоотримувача. Для цього він обирає перевізника в країні призначення і укладає угоду з терміналом. Для даного варіанта

ланцюга підписуються такі угоди: в підсистемі вантажовідправника – між експедитором і вантажовласником, між експедитором і перевізником в країні відправлення, між експедитором і вантажним терміналом в країні відправника, між експедитором та міжнародним перевізником; в країні вантажоотримувача – між експедитором і вантажним терміналом в країні отримувача, між експедитором і перевізником в країні призначення; також укладається угода між двома експедиторами. Експедитор в країні вантажовідправника з винагороди, отриманої від вантажовласника, оплачує послуги перевізників в країні відправлення та призначення, терміналу в країні відправлення, а також послуги експедитора-партнера. Експедитор в країні вантажоотримувача з грошових коштів, отриманих від першого експедитора, оплачує термінал і перевізника в своїй країні. Можливий також варіант, коли послуги перевізника оплачує термінал в країні вантажовідправника, а послуги перевізника по доставці партії вантажоотримувачу – вантажний термінал в країні отримувача.

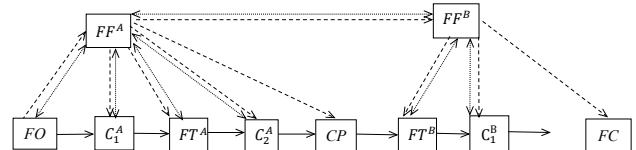


Рис. 5. Варіант ЛЛ з двома терміналами та n-ною кількістю країн транзиту

Розглянуті на рис. 1–5 ситуації можна використовувати як основні варіанти ЛЛ при розробці сукупності альтернатив. Варіанти ЛЛ розглядаються з врахуванням наявності вантажних терміналів та експедиторів-партнерів в напрямку доставки.

Висновки. Структура будь-якого ЛЛ доставки вантажів автомобільним транспортом може бути віднесена до одного з таких варіантів: 1FF найпростіший варіант доставки з одним експедитором, 2FF доставка за участю двох експедиторів без залучення вантажних терміналів, 1FT доставка партії вантажу через вантажний термінал, 2FT доставка за участю двох вантажних терміналів, N.c.t. доставка з n-ною кількістю країн транзиту. Сукупність даних варіантів структур ЛЛ базовою множиною альтернатив при обґрунтуванні оптимального варіанта доставки партії вантажу.

Список літератури:

1. Ширяєва С.В., Свірін Д.О. Дослідження логістичних ланцюгів постачань при виконанні міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2017. №1. С. 459-466. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/459.pdf>

2. Лиса С.С., Зіміна А.І. Проблеми та перспективи розвитку ринку холодної логістики України. *Електронний науково-практичний журнал «Інфраструктура ринку»*. 2020. №44. С. 87-92. <https://doi.org/10.32843/infrastruct44-15>
3. Набока Р.М., Шукліна В.В. Вплив інтеграції логістичних ланцюгів поставок на підвищення потенціалу підприємства. *Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка»*. 2020. № 4. С. 1-6. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.4.87>
4. Токмакова І. В., Овчиннікова В. О., Корінь М. В. Управління ланцюгами постачань: Конспект лекцій. 2021. №1. С. 1-55. <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/5690>
5. Тюріна Н. М. Логістика : Навчальний посібник / Н. М. Тюріна, І. В. Гой, І. В. Бабій. Київ. 2015. С. 1-392 с.

Prokudin G.S., Nazarova A.P. MODELS OF ALTERNATIVE OPTIONS OF LOGISTICS CHAINS OF CARGO DELIVERY

The structure of the technological process of delivering a batch of cargo is described by the structure of the logistics chain, which reflects the sequence of participation in the delivery process of various subjects of the transportation market.

The article presents five main variants of logistics chains for delivering cargo by road transport, namely:

- *1FF the simplest delivery option with one forwarder;*
- *2FF delivery involving two forwarders without involving cargo terminals;*
- *1FT delivery of a batch of cargo through a cargo terminal;*
- *2FT delivery involving two cargo terminals;*
- *Nc.t. delivery with a number of transit countries.*

For a particular variant of the logistics chain for delivering cargo as part of a logistics system, the initial link that generates the material flow is the cargo owner of one of the subsystems (consigner), and the absorbing final link is the cargo owner of the second subsystem (consignee). Accordingly, the cargo owner is the initial and final link of the logistics chain. The physical movement of the material flow is carried out by the carrier. The function of organizing the process of moving material flows is implemented by the forwarder (4PL provider), using the resources of cargo terminals (3PL providers) if necessary. As the organizer of the process of meeting the cargo owners' needs in moving cargo, the forwarder is a link in the logistics chain on which information flows are closed. Since the cargo owner turns to the forwarder to meet their needs for moving cargo, the financial flow in the logistics chain passes primarily from the cargo owner to the forwarder, and then to other participants in the chain.

The links for a particular variant of the logistics chain are examined in detail, their process of interaction is described, and various types of logistics chains are presented graphically.

Key words: *logistics chain, cargo terminal, forwarder, carrier, consigner, consignee, batch of cargo, transportation means.*

Решетков Д.М.

Одеський національний морський університет

Онищенко С.П.

Одеський національний морський університет

Павлова Н.Л.

Одеський національний морський університет

Кириллова В.Ю.

Одеський національний морський університет

СУТНІСТЬ, ПЕРЕВАГИ ТА ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТЕЙНЕРНИХ ТЕРМІНАЛІВ МОРСЬКИХ ПОРТІВ

Визначено, що одним шляхів вирішення комплексно наступних проблем – підвищення конкурентоспроможності, досягнення економічності, зменшення шкоди довкіллю та рівня травматизму та потенційних небезпек для людини – використання автоматизованих або частково автоматизованих технологічних рішень у роботі контейнерних терміналів морських портів. Охарактеризовано ступень впровадження автоматизації контейнерних терміналів у світовому масштабі. Встановлено, що основними факторами автоматизації є зниження експлуатаційних витрат та підвищення продуктивності. Більшість терміналів обрали напівавтоматичні рішення (автоматизація лише складського обладнання). Визначено основні складові автоматизації та відповідні технологічні рішення. Найбільш розповсюдженою є автоматизація Yard Management, а перспективним напрямом є автоматизація роботи причальних кранів. Визначено основні причини та очікування від автоматизації портів, встановлено наслідки та перешкоди процесів автоматизації. Автоматизація контейнерних терміналів дає переваги лише за певних умов. Контейнерні термінали, які стикаються з відносно стабільним ринком з гарантованою пропускнуою здатністю, більш підходять для високого рівня автоматизації через їх регулярні вантажопотоки. Навпаки, термінали з вантажопотоками, що коливається, краще обслуговуються при меншій кількості автоматизації, оскільки це забезпечує більшу гнучкість. Важним аспектом проектів автоматизації портів є соціальні конфлікти у портах. Соціальні витрати автоматизації портів зазвичай враховуються інвестиційних стратегіях портів.

Отриманий у результаті аналізу теорії та практики автоматизації існуючих контейнерних терміналів у морських портах світу перелік рушійних сил, проблем, переваг та недоліків автоматизації сприяє розумінню основних аспектів, які необхідно враховувати у майбутніх проектах розвитку контейнерних терміналів в Україні.

Ключеві слова: контейнерні термінали, автоматизація, переваги, безпека, ефективність.

Постановка проблеми. Контейнерні перевезення в усьому світі багато років демонструють тенденцію до зростання, усі спеціалісти впевнені, що дана тенденція залишиться і далі. Як наслідки даної тенденції – дефіцит територій терміналів для зберігання контейнерів у деяких портах; наявність в портах черг з авто, пов'язаних з наземною логістикою доставки вантажів у контейнерах, і, звичайно, зростання конкуренції між терміналами одного регіону. Це обумовлює перед існуючими терміналами завдання щодо підвищення ефективності їх роботи та продуктивності.

Крім того, сучасні технології мають не тільки бути ефективними, а також безпечними як для

довкілля, так й для персоналу, який працює з даними технологіями, тому сучасні порти та портові термінали розвиваються у напрямку використання не тільки економічних, а й середовищета людино-орієнтованих технологій.

Слід зазначити, що портове виробництво є високоризиковане з точки зору життя та здоров'я людини. Травматизм у портах та шкода довкіллю у більшості випадків є наслідками людських помилок. Один з шляхів вирішення комплексно зазначених проблем – підвищення конкурентоспроможності, досягнення економічності, зменшення шкоди довкіллю та рівня травматизму та потен-

ційних небезпек для людини – використання автоматизованих або частково автоматизованих технологічних рішень. І наразі існує досвід багатьох терміналів, які визначаються як автоматизовані або частково (напів) автоматизовані. Перші відносяться до терміналів, які автоматизували роботу лише свого контейнерного майданчика, тоді як повністю автоматизовані термінали також передбачають автоматизацію транспортування від причалу до штабелів контейнерів, тобто майже увесь цикл технологічного ланцюга з контейнером.

Автоматизація контейнерних терміналів України тільки набирала обертів до 2022 року, але ж зрозуміло, що у перспективі і найближчими роками це стане ще актуальніше, а необхідне у післявоєнний період оновлення перевантажної техніки портів та портових терміналів, обумовлює актуальність теоретичної свідомості у даному питанні, у тому числі, у питання впровадження автоматизації. Тому розуміння основних тенденцій цього процесу для подальшого впровадження передового досвіду реалізації подібних проєктів, які випробували у портах по всьому світу, буде корисним для розвитку та модернізації морських портів України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасним проблемам розвитку портів та портових терміналів, у тому числі, контейнерних, приділяється достатньо уваги у наукових дослідженнях, прикладами яких можуть служити роботи [1-4]. Зокрема, проблема цифровізації портів та терміналів, а також системи морських перевезень у цілому розглядалися у [5-8]. Але ж більшість публікацій спрямовано на встановлено існуючих проблем та визначенню основних шляхів їх вирішення.

Автоматизація контейнерних терміналів є предметом вивчення з 90-х років. Наукові статті у цьому напрямі здебільшого присвячені конкретним проблемам автоматизованого обладнання. Набагато менше уваги приділяється впровадженню автоматизації вже існуючих перевантажувальних комплексах та їх системному розгляду. Як правило, існуючі дослідження описують конкретні приклади впровадження окремих проєктів – [9-13]. Аналіз даних джерел та встановлені факти впровадження автоматизації можуть служити основою для узагальнення даного досвіду.

Іншими джерелами інформації щодо автоматизації існуючих підприємств є офіційні документи компаній, що надають послуги, пов'язані з проєктами автоматизації. Ці документи зазвичай мають комерційні цілі та зосереджені на конкретних послугах чи продуктах, які може надати компанія-емітент.

Разом з тим проблема автоматизації існуючих перевантажувальних комплексів, що найчастіше згадується в літературі, полягає в безперервності операцій. Однак у цих джерелах не обговорюються стратегії, які використовуються для вирішення цієї проблеми [14, 15].

У Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року [16] вказано на необхідність розв'язання проблеми невідповідності технічного рівня портів сучасним вимогам шляхом впровадження смарт-інфраструктури (новітніх технологій, що сприяють автоматизації та роботизації перевантажувальних процесів морських терміналів), екологічно безпечних технологій, спрямованих на зменшення шкідливих викидів від виробничих процесів у портах та отримання енергії з альтернативних джерел.

У результаті забезпечення збалансованого розвитку та ефективного використання портових потужностей на інноваційній основі очікується: введення в експлуатацію нових та модернізованих перевантажувальних комплексів загальною потужністю не менше 100 млн. тонн на рік, що забезпечить загальну пропускну спроможність морських портів України в обсязі близько 300 млн. тонн, а також забезпечення функціонування морських портів на інноваційній основі відповідно до концепцій «смарт-порт» (застосування новітніх технологій), «енергоефективний порт» (здійснення заходів з ресурсозбереження, відновлення та раціонального споживання ресурсів) та «зелений порт» (зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище) [17-19].

Ціль та завдання дослідження. Мета даного дослідження – визначення основних складових, переваг та наслідків автоматизації контейнерних терміналів у морських портах на базі узагальнення світового досвіду функціонуванні автоматизованих та частково автоматизованих контейнерних терміналів.

Характеристика сучасного стану автоматизації контейнерних терміналів у морських портах. У 1990 р. у Роттердамі почав функціонувати перший у світі контейнерний термінал, що використовує автоматичні крани-штабелери та автоматично керовані транспортні засоби (AGV). У наступні роки автоматизація складів та терміналів впевнено розвивалася. З 2010-х років автоматизація почала виходити за межі складу та терміналу. При цьому ступінь автоматизації варіюється від дистанційно керованих операцій у безпечних та ефективних умовах до повністю автономних операцій з обмеженим контролем [3].

Хоча перший автоматизований термінал було відкрито у 1993 р., реальне прискорення відбулося в останнє десятиліття: станом на початок 2022 р. у світі налічувалося 63 автоматизовані термінали. Вісімнадцять із них повністю автоматизовані, решта напівавтоматизована, більшість терміналів розташовані в Тихоокеанській Азії та Європі (рис. 2).

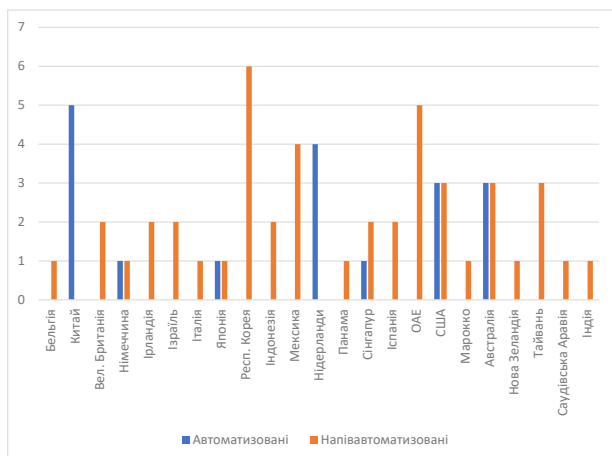


Рис. 1. Розподіл автоматизованих контейнерних терміналів (побудовано за даними [19])

Слід зазначити, що усі шість найбільших глобальних/міжнародних операторів терміналів (China COSCO Shipping Ports, PSA International, APM Terminals, Hutchison Ports, DP World та TIL), беруть участь у роботі як мінімум одного автоматизованого терміналу.

Згідно офіційної статистики, більшість автоматизованих терміналів обробляють від 2 до 3 млн. TEU. Хоча багато галузевих публікацій припускають, що для ефективної роботи автоматизації потрібно як мінімум 1 мільйон TEU, результати досліджень зарубіжних авторів показали, що дванадцять автоматизованих терміналів обробляють менше 1 млн. TEU, два з яких повністю автоматизовані. Таким чином, термінальна автоматизація відбувається у всіх масштабах терміналів, а не є прерогативою лише найбільшої групи терміналів. Тим не менш, автоматизація в основному відбувається на терміналах, малих або великих, які розраховані на судна місткістю понад 10000 TEU (до присутності надвеликих контейнеровозів (ULCS) місткістю 25000 TEU плюс).

В даний час більше половини автоматизованих терміналів працюють у портах, що приймають контейнеровози місткістю понад 20000 TEU (55,6%). Ці судна переважно використовуються на торгових шляхах Азія-Північна Європа та Азія-Середземномор'я [17]. Ще 25,4% автоматизова-

них терміналів перебувають у портах, які приймають контейнеровози місткістю понад 10 000 TEU. Одинадцять напівавтоматичних та один повністю автоматизований контейнерний термінал приймають судна місткістю менше 10 000 TEU. Наведений вище аналіз показує, що автоматизація переважно відбувається на терміналах, розрахованих на судна місткістю понад 10000 TEU (рис. 3). Тому деякі спеціалісти висловлюють думки про відкрите питання про те, чи буде автоматизація поширюватися далі у відповідь на економію масштабу, пов'язану з використанням цих великих суден. Але ж на нашу думку, розмір суден не є фактором, який визначає автоматизацію, скоріш за все, це фактор, який визначає вартість цієї автоматизації, тому що процеси автоматизації є такими, які вже не зупиняються.

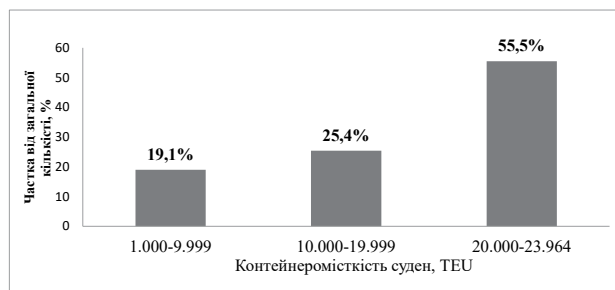


Рис. 2. Розміри суден, що обслуговуються на автоматизованих терміналах (згідно даним [9])

Площі терміналів, наявність причалів, наявність та продуктивність причальних кранів для розміщення суден – важливі параметри в автоматизованих терміналах. Сьогодні середній розмір повністю автоматизованих терміналів становить близько 100 га, середній розмір напівавтоматичних терміналів – 84 га. Діапазон розмірів терміналів значно відрізняється як повністю, так напівавтоматичних терміналів: 24 – це менше 50 га. Середня довжина причалів на базі 59 з 62 терміналів становить 1480 м без істотної різниці між повністю та напівавтоматичними терміналами. При цьому, мінливість висока: два термінали мають понад 5000 м причалів. Всі термінали, крім одного, мають осадку більше 14 м, при цьому максимальне осадку автоматизованих терміналів становить 16 м [12].

Близько 70% автоматизованих терміналів працюють у 100 найбільших контейнерних портах світу, але лише 17 знаходяться у першій десятці контейнерних портів.

Не менш важливим є питання, яке стосується ключового фінансового аспекту автоматизації терміналів – рентабельності інвестицій. Автома-

тизовані термінали потребують значних початкових інвестицій для закупівлі обладнання та необхідних модифікацій терміналу. Аналіз наявної інформації показує, що для більшості із них (60%) термін окупності інвестицій складає понад 6 років, а 9% терміналів окупили інвестиції протягом 5–6 років [13].

Основні складові автоматизації контейнерних терміналів. Слід констатувати, що на даний час відсутні якісь стандарти з автоматизації контейнерних терміналів. Тому кожен термінал впроваджує окремі елементи автоматизації на свій розсуд, а в умовах зростання конкуренції, ці розробки є комерційною таємницею. Тем не менш, усі вони засновані на основних категоріях автоматизації.

На даний час існує *чотири категорії автоматизації* [18]:

1) *Робототехніка* – охоплює використання робототехніки в устаткуванні для обробки контейнерів, такому як автоматизовані системи швартування та автоматизовані причальні крани. За допомогою автоматизованих причальних кранів понад 90% робочих обов'язків виконуються автономно, а фінальне переміщення спредеру контролюється оператором із віддаленої диспетчерської;

2) *Автоматизація процесів* – передбачає використання технологій автоматизації процесів, які пов'язані з обробкою вантажів. До них відносяться процеси воріт, у яких використовується комбінація апаратного та програмного забезпечення для мінімізації участі людини за допомогою систем запису, ідентифікації транспортних засобів та контейнерів, радіаційного сканування, ідентифікації водія та маршрутизації усередині терміналу;

3) *Автоматизація прийняття рішень* – включає використання технологій для керівництва та оптимізації рішень, пов'язаних з плануванням складування та двору, позиціонуванням контейнерів, а також плануванням транспортних засобів та обладнання;

4) *Цифровізація* – передбачає застосування цифрових технологій до комерційних операцій, планування та функцій підтримки з особливим акцентом на агрегацію та аналітику даних, а також на оптимізацію мережі.

У відсутності загальних вимог до автоматизації терміналів, тем не менш можна сформулювати перелік основних атрибутів автоматизованого терміналу.

Термінальна автоматизація – це повна або часткова заміна операцій, що обслуговуються персоналом на терміналі, автоматизованим обладнанням і процесами. Найбільш поширене визначення

класифікує термінали як повністю або напівавтоматизовані, але це визначення є частковим. Повністю автоматизований термінал – це коли складський майданчик та горизонтальні переходи між причалом та майданчиком автоматизовані. Це означає, що контейнер автоматично переміщується від пристані до місця видачі. Напівавтоматизований термінал включає лише автоматизований складський майданчик. Автоматизація вже присутня на більшості терміналів, принаймні, у її найпростішій формі, яка використовує інформаційні технології для управління термінальними активами та доповненням людської діяльності [5].

Наприклад, сучасні контейнерні термінали використовують удосконалені термінальні операційні системи (TOS) для контролю та оптимізації переміщення та зберігання контейнерів усередині та навколо терміналу. Термінальні операції включають різні технології, такі як RFID, оптичне розпізнавання символів (OCR) і системи запобігання розгойдування кранів. Однак автоматизація може також включати причальні крани, переміщення контейнерів з причалу на майданчик для зберігання та т.п.

Вибираючи автоматизацію терміналів можна повністю контролювати умови роботи автоматизованих транспортних засобів чи устаткування. На рис.3 наведено періоди розвитку складових автоматизації терміналів. Слід зазначити, що технологія автоматизації роботи *причальних кранів (Quay Cranes)* тільки почала свій розвиток.

Автоматизація роботи причальних кранів. Автоматичні функції значно підвищують ефективність і точність вантажних операцій, дозволяючи оператору приділяти більше уваги навколишнього оточення, що сприяє підвищенню безпеки і продуктивності. Автоматичне переміщення і штабелювання контейнерів – це наступний етап еволюції технології створення контейнерних кранів. На ринку вже представлений ряд моделей і типів кранів, які можна або перевезти на автоматику, або нові автоматичні крани для контейнерних терміналів. Так, компанією «Konecranes» розроблена система автоматизації роботи кранів на пневмоколісному ході Automated RTG і автоматизована Automated RMG. Automated RTG – система розроблена для 16-колісних кранів RTG включає в себе обладнання для навігації, станції дистанційного керування зі спеціально розробленим графічним інтерфейсом користувача і інформаційна система, яка в свою чергу погоджується з програмним забезпеченням. У конструкції крана також включена система запобігання розгойдування вантажу,

Ключові технології автоматизації / етапи розповсюдження / роки				
Причальні крани (Quay Cranes)			Прийняття	
Внутріпортовий транспорт (Horszontal Transport)			Прийняття	Поширення
Тилові контейнерні перевантажувачі (Yard Cranes)		Прийняття	Поширення	Зрілість
Відстеження (Tracking)		Прийняття	Поширення	Зрілість
Ворота (Gates)		Прийняття	Поширення	Зрілість
Управління «двором» (Yard Management)		Прийняття	Поширення	Зрілість
1990	2000	2010	2020	2030 →

Рис. 3. Розповсюдження ключових технологій автоматизації портових терміналів (побудовано по [17])

вміння справлятися з нерівністю покриття і коливаннями під час вільного ходу крана [4]. Але ж автоматизація роботи причальних кранів тільки починається. Існуючі крани наразі не можуть самостійно піднімати контейнери з суден через труднощі з вирівнюванням розкидача контейнерів з контейнерним слотом. Іншим обмеженням є те, що судна злегка рухаються під час операцій з обробки контейнерів, що робить визначення точного розташування контейнерів на судні складним завданням, тому через високу складність експлуатації такого крана автоматизовано лише обрані підпроцеси [20].

Внутріпортовий транспорт (Horszontal Transport) – доставка, приймання та інші операції з обробки вантажів, що складається з фізичного переміщення вантажу або обладнання між двома місцями в зоні обслуговування порту. Більшість транспортних засобів з автоматизованим керуванням (AGV) рухаються за фіксованим шляхом, але ж нове покоління «розумних» AGV не слідує за фіксованим маршрутом і контролюється GPS, що дає більше свободи пересування, але призводить до більш складного управління трафіком.

Управління «двором» (Yard Management) передбачає планування, координацію та управління активами, такими як вантажівки, що прибувають і відправляються, причепи, тощо, у межах території терміналу. Для автоматизації даних процесів використовуються системи радіочастотної ідентифікації (RFID), які потребують ідентифікації кожного об'єкта, який слід відстежувати; а також системи оптичного розпізнавання символів (OCR), які фіксують зображення зверху, з обох сторін і низу

задньої частини контейнера, а потім розпізнають номери контейнерів на цих зображеннях.

Ворота (Gates) – рух автотранспорту с контейнером в порт/з порту, для автоматизації використовуються технології, аналогічні в Yard Management, але ж вони передбачають ідентифікацію водія та авто.

Таким чином, найбільш розповсюдженою є автоматизація *Yard Management*, а перспективним напрямом є автоматизація роботи причальних кранів, але ж ці процеси потребують відповідних інноваційних розробок, які виходять за межі поняття «автоматизація» а вже пов'язані із технологіями штучного інтелекту, що обумовлюється необхідністю врахування багатьох факторів, які не завжди можливо вписати у «базові ситуації» для прийняття рішень.

Слід зазначити, що на прикладі високотехнологічних перевантажувальних пунктів, таких як контейнерний термінал Альтенвердер (СТА) в порту Гамбурга (Німеччина) або ЄВРОМАКС (ЕСТ) в порту Роттердама (Нідерланди) демонструються високі рівні продуктивності, завдяки повній автоматизації. Для автоматизації роботи контейнерних терміналів розробляються системи управління контейнерними терміналами, наприклад, СТМС (Container Terminal Management System) – система, призначена для автоматизації управління контейнерним терміналом і всіма операціями з контейнерами і вантажами на території. Вона забезпечує управління роботою вантажної техніки, транспорту і персоналу, контроль переміщення контейнерів, оперативне планування завдань персоналу з урахуванням поточної обстановки [11]. Основним завданням сис-

теми є автоматизація оперативного управління всіма операціями з контейнерами, що дозволяє знизити вартість і терміни їх обробки на території контейнерного терміналу і надає можливість отримання точної інформації про поточну обстановку з метою оперативного планування роботи контейнерного терміналу. Подібні системи управління контейнерним терміналом розроблені різними світовими компаніями. Крім того, сучасні інформаційні та телекомунікаційні технології дозволяють не тільки автоматизувати роботу техніки і терміналів в цілому, а також здійснювати стеження за станом і діагностику обладнання з метою своєчасного виявлення помилок, зносу і т.д. Такі технології отримали назву «системи віддаленого моніторингу».

Таким чином, принцип автоматизованого терміналу можна уявити у вигляді наступної схеми (рис. 4).



Рис. 4. Автоматизований термінал (джерело – [1])

Основні наслідки, переваги, та перешкоди автоматизації контейнерних терміналів. В [20] стверджується, що основним драйвером автоматизації є власники (оператори) контейнерних терміналів. Дійсно, вони мають основні цілі, характерні для ринкової економіки – «економія, ефективність, конкурентоспроможність». Крім того, сучасний бізнес має бути відповідальним бізнесом, тому крім комерційних цілей виникають ще наступні – «безпека – для людини та довкілля». Досягнення цих цілей у сучасних умовах без використання автоматизації неможливо.

Основні рушійні сили для автоматизації існуючих контейнерних терміналів, представлені у табл. 1.

Як показало проведене в галузі обстеження, майже 75% операторів терміналів вважають автоматизацію вкрай важливою для збереження конкурентоспроможності в найближчі три-п'ять років, а 65% респондентів розглядають автоматизацію як інструмент забезпечення безпеки операцій. Більше 60% опитаних операторів терміналів очікують, що автоматизація допоможе поліпшити

контроль за операціями та їх узгодженістю, а 58% респондентів розраховують, що вона дозволить скоротити загальні експлуатаційні витрати терміналів. Позитивний вплив автоматизації стосується, перш за все, *безпеки*, оскільки автоматизовані термінали менш схильні до нещасних випадків з меншою кількістю (або взагалі без) робітників. Автоматизоване обладнання також зазвичай приводиться в дію електрикою, що знижує місцеві зовнішні фактори навколишнього середовища, такі як забруднення та шум.

Таблиця 1

Основні причини та очікування від автоматизації портів (сформульовано на базі узагальнення [21])

Причини	Очікування
1. Існуючий термінальний комплекс має площу, яку важко розширити	Автоматизація стає стратегією збільшення пропускної спроможності, зниження експлуатаційних витрат та збереження конкурентоспроможності
2. Термінал виступає як великий перевалочний вузол	Автоматизація стає стратегією збільшення пропускної спроможності перевалки. Термінал-хаб може виконувати свою функцію більш ефективно, особливо з урахуванням більших за розміром контейнеровозів
3. Новий термінал розробляється з використанням новітніх технологій автоматизації	Автоматизація стає стратегією залучення клієнтів у конкурентному середовищі, при цьому знижується необхідність навчання персоналу портового терміналу

Основна проблема автоматизації існуючого терміналу у тому, як поєднати процес із існуючими операціями. Демонтаж старого обладнання та встановлення автоматизованого обладнання потребує тимчасової втрати потужності та ефективності роботи (таблиця 3).

Оператори терміналів повинні інвестувати великі суми грошей протягом тривалішого періоду часу, щоб досягти будь-якої рентабельності інвестицій. Довгий термін реалізації обумовлений тривалими термінами будівництва та тестування терміналу. Перетворення існуючого терміналу в автоматизоване обладнання може бути складним. Оператору необхідно буде тимчасово відмовитися від частини своїх термінальних потужностей та зіткнутися з необхідністю керування двома операційними системами (автоматизованою та неавтоматизованою) протягом перехідного періоду. Це може містити рішення про втрату доходів під час автоматизації,

Основні перешкоди для автоматизації терміналів (складено на базі узагальнення [14])

Перешкода		Зміст
1	Високі та незворотні інвестиційні витрати	Устаткування автоматизації неспроможна ефективно надаватися частинами, а може поставлятися як цілісної та інтегрованої системи
2	Наявність навичок та навченого персоналу	Новий набір навичок з експлуатації, нагляду та обслуговування автоматизованого обладнання потребує додаткової підготовки робочої сили та найму талантів на конкурентному ринку
3	Порушення роботи терміналу під час конвертації	У міру того як термінал наближається до експлуатаційної потужності, автоматизація стає все більш привабливим варіантом. Однак перетворення площ в автоматизацію призведе до порушення роботи, впливаючи на продуктивність терміналу, дохід та задоволеність клієнтів
4	Існуючі трудові договори	Більшість портових робітників, особливо портові вантажники, розглядають автоматизацію як порушення та загрозу можливостям працевлаштування. Термінал, який здійснює перехід на автоматизацію, може зіткнутися з незадоволеністю робітників та протестами, які можуть порушити його роботу

але з очікуваною вигодою у вигляді підвищення ефективності. Готовність стивідорних компаній інвестувати у нові технології вантажно-розвантажувальних робіт та автоматизацію частково пов'язана з передбачуваними перевагами продуктивності праці та економією коштів на рівні докерів.

Якщо технічне нововведення дозволяє скоротити трудомісткість на бригаду (або, у разі повної автоматизації, навіть виключити трудомісткість), тоді оператор терміналу виграє від економії витрат на робочу силу тільки в тому випадку, якщо бригади скоротяться в розмірах. Якщо таке скорочення праці неможливе в рамках системи докерного найму, то стивідорна компанія набагато менш охоче впроваджуватиме технологічні інновації. Компроміси, на які необхідно піти під час впровадження нової автоматизованої технології обробки вантажів, можуть призвести до суперечок між профспілками та оператором терміналу.

Висновки. В даний час у тій чи іншій мірі автоматизовано 53 контейнерні термінали по всьому світу. Це становить близько 4% пропускної спроможності контейнерних терміналів у світі. Більшість автоматизованих систем розгорнуто на контейнерному майданчику, на жодному терміналі немає повністю автоматизованих причальних кранів.

Автоматизовані порти, зазвичай, більш продуктивні. Але ж організація та спеціалізація порту, географічне розташування та розмір порту є важливішими факторами, що визначають продуктивність порту, ніж автоматизація. Це пояснює обмежену автоматизацію контейнерних портів на сьогоднішній день. Порівняно високі витрати на обробку роблять аргументи на користь автоматизації не зовсім переконливими. Хоча автоматизація контейнерних терміналів знижує витрати на робочу силу, капітальні витрати вищі, оскільки

автоматизоване обладнання дорожче, ніж обладнання з ручним керуванням.

Автоматизація контейнерних терміналів дає переваги лише за певних умов і, отже, обмеженої групи терміналів. Контейнерні термінали, які стикаються з відносно стабільним ринком з гарантованою пропускною здатністю, більш підходять для високого рівня автоматизації через їх регулярні вантажопотоки. Навпаки, термінали з вантажопотоками, що коливаються, краще обслуговуються при меншій кількості автоматизації, оскільки це забезпечує більшу гнучкість.

Важним аспектом проектів автоматизації портів є соціальні конфлікти у портах. Коли переваги автоматизації є неоднозначними, деякі зацікавлені сторони інтерпретуватимуть будь-який поштовх до неї як спробу скоротити профспілки докерів. Водночас є приклади конструктивної співпраці профспілок, портової влади та операторів терміналів для впровадження автоматизації на умовах, які всі учасники вважають за прийнятні [10]. Соціальні витрати автоматизації портів зазвичай враховуються інвестиційних стратегіях портів. Такі витрати, як витрати на соціальне забезпечення (у разі звільнення) та втрачені податкові надходження (коли машини замінюють портових робітників, які не можуть бути реінтегровані на ринок праці), які переносяться на інші частини державного сектора, звісно, ігноруються більшістю портів. зацікавлені сторони, але вони мають бути взяті до уваги урядом.

Отриманий у результаті аналізу теорії та практики автоматизації існуючих контейнерних терміналів у морських портах світу перелік рушійних сил, проблем, переваг та недоліків автоматизації сприяє розумінню основних аспектів, які необхідно враховувати у майбутніх проектах розвитку контейнерних терміналів в Україні.

Список літератури:

1. Port Economics, Management and Policy. By Notteboom T., Pallis A., Rodrigue J.-P. Pub (2022) Location London, 690. <https://doi.org/10.4324/9780429318184>
2. Rusanova, S., Onyshchenko, S. (2020). Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*, 1(2 (51)), 24-29. <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>
3. Gharehgozli, A., Zaerpour, N., Koster, R. (2019), Container terminal layout design: transition and future, *Maritime Economics & Logistics*, <https://doi.org/10.1057/s41278-019-00131-9>
4. Onyshchenko S., Leontieva A. Modeling of the Optimal Composition of the Enterprise Technical Development Program. *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 5, no. 2, 2018, pp. 36-41, <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146463>.
5. Світовий досвід використання цифрових технологій у морських портах. Решетков Д.М., Ромах В.Л., Іванова І.М. Транспортні системи і технології: проблеми функціонування та розвитку портів. Том 6: Монографія. /за ред. О.В. Кириллової В.І./ – Одеса: Купрієнко СВ, 2021 – С. 24-38.
6. Reshetkov D., Bondaryuk M., Onyshchenko S. (2023). Essence, advantages and existing experience of the smart ports development. *Transport Development*, (4(15)), 108-122. <https://doi.org/10.33082/td.2022.4-15.09>
7. Davidson, N. Retrofit Terminal Automation Measuring the Market. *Port Technology International*, 2018, Vol. 77, pp. 1–3.
8. Onishchenko, O., Golikov, V., Melnyk, O., Onyshchenko, S., Obertiur, K. Technical and operational measures to reduce greenhouse gas emissions and improve the environmental and energy efficiency of ships. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2022, 116, 223-235. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.116.14>
9. Kon, W.K.; Rahman, N.S.F.A.; Hanafiah, R.M.; Hamid, S.A. The global trends of automated container terminal: A systematic literature review. *Marit. Bus. Rev.* 2020, 6, 206–233
10. Container Port Automation: Impacts and Implications (2019) Internatioanl Transport Forum <https://www.itf-oecd.org/container-port-automation-impacts-and-implications>
11. Martín-Soberón, A. M., A. Monfort, R. Sapiña, N. Monterde, and D. Calduch. Automation in Port Container Terminals. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2014, Vol. 160, pp. 195–204.
12. Yang, Y. C., and K. Y. Shen. Comparison of the Operating Performance of Automated and Traditional Container Terminals. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2013, Vol. 16, No. 2, pp. 158–173
13. Knatz G., Notteboom T., Athanasios A. (2022) Container terminal automation: revealing distinctive terminal characteristics and operating parameters. *Maritime Economics & Logistics* 24:537–565 <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00240-y>.
14. Burgos Gajardo, Luis, Poonam Taneja, and Mark van Koningsveld (2022) Desktop Research into Historic Automation Projects of Brownfield Container Terminals. *Journal of Marine Science and Engineering* 10, no. 5: 704. <https://doi.org/10.3390/jmse10050704>
15. Planning for automation of container terminals, PIANC Report MarCom WG208, (2021). <https://www.pianc.org/publications/marcom/wg208>
16. Стратегія розвитку морських портів України на період до 2038 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2013-%D1%80#Text>
17. ITF. 2021. Container Port Automation: Impact and Consequences. International Transport Forum Policy Papers, No. 96, OECD Publishing, Paris. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/container-port-automation.pdf>
18. Chao, S. and Y. Lin (2017) Gate automation system evaluation; A case of a container number recognition system in port terminals. *Maritime Business Review*, Vol. 2 No. 1, 2017 pp. 21-35, <https://doi.org/10.1108/MABR-09-2016-0022>
19. Ghiara, H., Tei, A. (2021), Port activity and technical efficiency: determinants and external factors, *Maritime Policy & Management*, <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1872807>.
20. Orive, Santiago, Corral, González-Cancelas (2020) Strategic Analysis of the Automation of Container Port Terminals through BOT (Business Observation Tool). *Logistics*. 4. 3. <https://doi.org/10.3390/logistics4010003>
21. Rodrigue, Jean-Paul, Notteboom Theo (2021). Automation in Container Port Systems and Management. <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/182504.aspx>

Reshetkov D.M., Onyshchenko S.P., Pavlova N.L., Kirillova V.Yu. ESSENCE, ADVANTAGES AND PROBLEMS OF THE SEA PORTS CONTAINER TERMINALS AUTOMATION

It was determined that one of the ways to comprehensively solve the following problems – increasing competitiveness, achieving efficiency, reducing damage to the environment and the level of injuries and

potential dangers for humans – is the use of automated or partially automated technological solutions in the sea ports container terminals operation. The degree of introduction of automation of container terminals on a global scale is characterized. The main factors of automation are the reduction of operational costs and the increase of productivity. Most of the terminals chose semi-automatic solutions (automation of warehouse equipment only). The main components of automation and corresponding technological solutions are defined. The automation of Yard Management is the most widespread, and the automation of the quay cranes operation is a promising direction. The main reasons and expectations from the port automation are determined, the consequences and obstacles of automation processes are determined as well. Automation of container terminals provides advantages only under certain conditions. Container terminals, which face a relatively stable market with guaranteed capacity, are more suitable for high levels of automation due to their regular cargo flows. Conversely, terminals with fluctuating cargo flows are better serving with less automation since it is more flexibility. An important aspect of port container terminal automation projects is the social conflicts, and the social costs of port automation should be considered in port investment strategies.

The list of driving forces, problems, advantages and disadvantages of automation obtained as a result of the theory and practice analysis of the seaports container terminals automation in order to the understanding of the main aspects that must be taken into account in the future projects related to the Ukrainian container terminals development.

Key words: container terminals, automation, advantages, safety, efficiency.

Тихонін В.І.

Одеський національний морський університет

Тихоніна І.І.

Одеський національний морський університет

Ромах В.Л.

Одеський національний морський університет

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ПАКЕТІВ МЕТАЛОВАНТАЖІВ ПРИ ЇХ ФОРМУВАННІ

У статті розглядається питання розробки методики формування пакетів з металовантажів (металопродукції). Визначені основні види металопродукції, які виробляються та перевантажуються в портах України. Проаналізовані вимоги до транспортного стану металопродукції, що пропонується до перевезення та пакетів які формується з неї. Окремо розглядається методика формування зв'язування з куточків, двутаवру та швелеру. При формуванні зв'язування з куточка докладно розглядаються всі етапи цього процесу. Спочатку визначаються необхідні вихідні параметри одного куточку, що необхідні для подальших розрахунків. Далі наводиться послідовність визначення кількості куточків по ширині та висоті зв'язування, з урахуванням усіх вимог та обмежень до розмірів та маси сформованого пакету. Після визначення оптимальної кількості куточків по ширині та висоті пакета, наводяться вирази для розрахунку габаритних розмірів та маси такого пакету. Далі пропонується покрокова методика формування пакетів з двутавру та швелеру. Для цього встановлені та пропонується залежності між габаритними розмірами профілів (двутавру та швелеру) та припустимою масою зв'язування, яке формується. Надані вирази для визначення кількості профілів по ширині пакету. З'ясовано, що ці значення для швелера напряму залежить від кількості профілів у зв'язуванні, яке в свою чергу визначається припустимою масою пакету. А для двутавру – залежить через чергу коефіцієнтів, значення котрих також наводяться у методиці. Після визначення ширини зв'язування, розраховується кількість профілів по висоті, та уточнюється кількість профілів в пакеті та його маса. З'ясовано, що загальних виразів визначення габаритні розміри пакетів двутавру та швелеру нема й вони визначаються для кожного випадку окремо. Надані пояснення на конкретних прикладах. Наведено особливості визначення коефіцієнту форми та питомого навантажувального об'єму зв'язування.

Ключові слова: куточки, двутавр, швелер, формування зв'язування, розміри.

Постановка проблеми. Одним з основних експортних вантажів України є метал, а металопродукція становить більшу його частину.

Значний обсяг світової торгівлі, як правило, проходить із використанням морського транспорту, тому, з огляду на великий транзитний потенціал України, підвищення пропускної здатності портів при перевантаженні металовантажів (металопродукції) та морського транспорту при її перевезенні, є одним з основних напрямків їхнього розвитку.

На раціональне використання транспортних засобів, портових складів та перевантажного обладнання значній вплив здійснюють об'ємно-масові характеристики металовантажів (металопродукції). Тому оптимізація розмірів пакетів (зв'язування) металопродукції на всіх етапах

транспортування (перевезення, зберігання та перевантаження) є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Металопродукцію можна розділити за способом перевезення й зберігання на дві групи [1, 2]. У першу входять вантажі, які перевозять і зберігають на складах порту без поштучного укладання. У другу групу входять металовироби, які перевозять і зберігають у поштучному укладанні у вигляді окремих вантажних місць (ВМ) або укрупнених вантажних місць (УВМ), утворених шляхом обв'язки, стяжки, скріплення різними засобами.

Номенклатура металопродукції в УВМ досить велика [3, 4]. До неї відносяться: квадратні в перерізі заготовки, куток, швелер, двотавр, тавр, фасонні профілі, арматурна сталь, труби діаметром до 200 мм й ін.

Сортовий, фасонний, калібрований, холодно-тягнутий прокат, дрiт i круглий прокат зi спецiальною обробкою поверхнi розмiрами поперечного перерiзу (товщина, дiаметр, сторона квадрата, найбiльший розмiр для фасонних профiлiв) до 50 мм включно зв'язують у пачки, мотки або зв'язування моткiв, а понад 50 мм i заготiвку всiх видiв зв'язують у пачки на вимогу споживача. Гнутi профiлi зв'язують у пачки [5].

Сортовий i фасонний прокат розмiром поперечного перерiзу 100 мм i менш, гнутi профiлi, холоднотянутi профiлi з гарячекатаної не травленої заготiвки, листовий прокат i стрiчка товщиною до 12 мм включно впаковують у пакети (зв'язування) масою вiд 0,1 т до 10 т.

Сортовий i фасонний прокат розмiром поперечного перерiзу вiд 100 до 200 мм i фасонний бiльше 200 мм поставляють поштучно або з обв'язкою.

Поперечний перерiз пачки сортового й фасонного прокату залежно вiд форми й розмiрiв поперечного перерiзу профiлю повинний наближатися до кола, прямокутника або шестикутника [5].

В [6] вiдзначається, що сформованi пакети металопродукцiї повиннi бути прямокутного або квадратного перерiзу з обов'язковим дотриманням умови, щоб вiдношення висоти пакета до його ширини було в межах вiд 0,4 до 1,0, при цьому граничнi вiдхилення вiд номiнальних розмiрiв не повиннi перевищувати вiд +50 мм до +100 мм по ширинi й +100 мм по висотi.

Вимоги запропонованi в [5, 6] цiлком логiчнi, тому що зв'язування, що має бiльшу висоту, буде

нестiйке при укладеннi, а бiльшу ширину – буде «зруйноване» (зiм'яте) при перевантаженнi. Вiдхилення перерiзу зв'язування вiд квадратного, обумовлено конкретними розмiрами профiлiв i обмеженнями по масi зв'язування (G).

Необхiдна маса зв'язування (G), як правило, установлюється не жорстко, а з урахуванням припустимих вiдхилень (Δ), якi, у свою чергу, можуть визначається як частка (вiдсоток) вiд G .

Постановка завдання. Метою статтi є розробка методик формування оптимальних розмiрiв УВМ з фасонних профiлiв загального призначення – кутової сталi з рiвними та нерiвними полками, балки двотаврової та швелера.

Виклад основного матерiалу дослiдження. В процесi формування пакетiв, змiнюється тiльки їх ширина та висота, а довжина, яка визначається довжиною профiлю, залишається незмiнною – постiйною. При подальшiй розробцi методики було визначено, що алгоритм формування УВМ з кутка iстотно вiдрiзняються вiд двотавру й швелера. Тому спочатку розглянемо методику формування УВМ з кутка.

На рисунках в [4] кутку (кутова сталь) розташовується на однiй зi своїх полиць, її ширину позначимо b й будемо вважати шириною кутка. При цьому другу полицю кутка, розташовану пiд кутом в 90° позначимо h i її ширину будемо вважати висотою кутка.

Формування зв'язування здiйснюється з урахуванням послiдовностi укладання, тому кутку повертається й укладається в iншому положеннi (рис. 1,а), нiж було зазначено в [4]. Таке розташування кутка правочинне, тому що його габаритний об'єм (V) не змiниться, а ширина зв'язування b_3 при цьому буде дорiвною значенню c (рис. 1,б).

Так як сторони кутка (b i h) розташованi пiд кутом в 90° , скористаємося теоремою Пiфагора для визначення значення c

$$c = \sqrt{b^2 + h^2}.$$

Сформоване зв'язування повинна мати форму квадрата в перерiзi (наближатися до неї) [5, 6], тому приймаємо, що висота зв'язування (h_3) дорiвною її ширинi (b_3).

Визначаємо яка кiлькiсть куткiв (n) помiститься у зв'язування такого розмiру i яка буде маса (g_3) такого зв'язування.

Спочатку розглядаємо ситуацiю коли кiлькiсть куткiв по ширинi зв'язуванню n_b дорiвною одиницi ($n_b = 1$), тодi

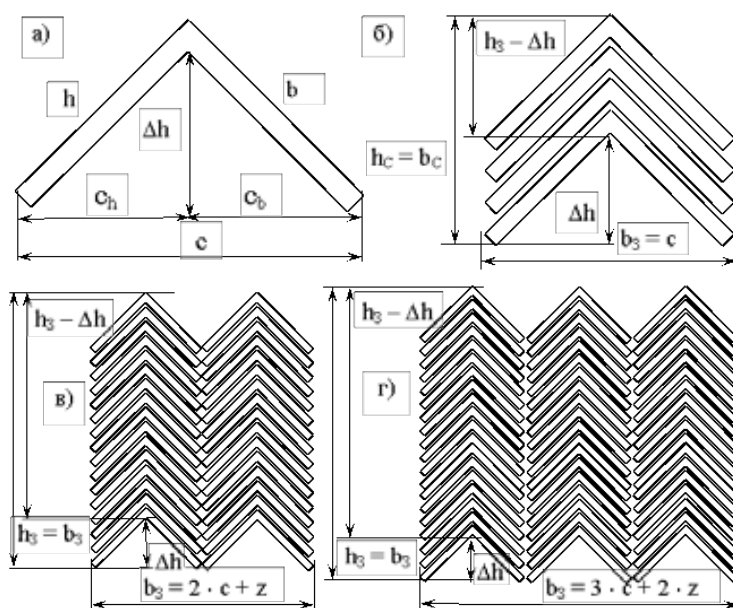


Рис. 1. Послiдовнiсть формування зв'язування кутка

$$h_3 = b_3 = c.$$

З рис. 1,б видно, що самі кутки розташовуються не відразу на поверхні опори (підлоги), а є певний зазор (Δh). Тому спочатку визначимо цю величину. Висота прямокутного трикутника (Δh) ділить гіпотенузу c пропорційно величинам катетів (b і h) (рис. 1, а).

Якщо трикутник рівнобедрений ($b=h$), то гіпотенуза c ділиться навпіл

$$c_b = c_h = c / 2,$$

тоді виходять два рівнобедрених трикутники (рис. 1, а) для яких $\Delta h = c_b = c_h$, у такий спосіб Δh (мм) визначається з вираження

$$\Delta h = c / 2.$$

Якщо трикутник нерівнобедрений ($b \neq h$), то гіпотенуза c ділиться пропорційно величині відповідних катетів (рис. 1,а). Значення величин c_b і c_h визначаємо з наведених нижче виразів

$$c_b = b^2 / \sqrt{b^2 + h^2} = b^2 / c$$

або

$$c_h = h^2 / \sqrt{b^2 + h^2} = h^2 / c.$$

Знаючи величини катета c_b (c_h) і гіпотенузу b (h), визначаємо значення величини другого катета Δh

$$\Delta h = \sqrt{b^2 - c_b^2}$$

або

$$\Delta h = \sqrt{h^2 - c_h^2}.$$

Значення Δh визначені по c_b і c_h повинні збігтися, якщо ж вони не рівні, то необхідно перевірити розрахунок. Допускається незначна розбіжність Δh , яка пов'язана з точністю розрахунків.

Після розрахунку Δh , продовжуємо визначення кількості профілів у зв'язуванні.

Тоді висота зв'язування, що залишається для розміщення кутків складе $h_3 - \Delta h$ (рис. 1,б). Кожний куток по висоті займає місце рівне сумі середньої товщини полки кутка (t) і величини зазору між ними (z). Виходячи із цього, визначаємо кількість кутків у зв'язуванні по висоті (n_h)

$$n_h = (c - \Delta h) / (t + z),$$

дробове значення n_h округляється до цілого числа.

Зазор z утворюється між окремими профілями через шорсткість і нерівність їхньої поверхні, а також через радіус внутрішнього закруглення. У практичних розрахунках приймаємо $z = 1$ мм.

Визначаємо загальна кількість кутків у зв'язуванні

$$n = n_b \cdot n_h.$$

Далі визначаємо масу зв'язування (g_3)

$$g_3 = n \cdot g_M,$$

де g_M – маса одного ВМ (профілю).

Отримане значення g_3 порівнюється з необхідною масою зв'язування (G) з урахуванням припустимих відхилень (Δ), при цьому можливо наступні ситуації:

1. Якщо $g_3 > (G + \Delta)$ – кількість кутків по висоті (n_h) зменшується доти, поки не буде виконаються умова $g_3 \leq (G + \Delta)$. Тоді остаточна (коректована) кількість кутків по висоті (n_h) визначається з вираження

$$n_h = (G + \Delta) / (n_b \cdot g_M),$$

при цьому отримане значення n_h округляється до найближчого меншого цілого числа.

2. Якщо $(G - \Delta) \leq g_3 \leq (G + \Delta)$ – кількість кутків по висоті не міняється;

3. Якщо g_3 незначно менше $(G - \Delta)$ – кількість кутків по висоті n_h збільшується доти, поки не буде виконаються умова $g_3 \geq (G - \Delta)$.

Тоді остаточне (скоректоване) кількість кутків по висоті n_h визначається з вираження

$$n_h = (G - \Delta) / (n_b \cdot g_M),$$

при цьому отримане значення n_h округляється до найближчого більшого цілого числа.

Поняття «незначно» є суб'єктивним і різниця може бути будь-якою, у нашому випадку пропонується вважати «незначним» до 1/3 (30 %) від $(G - \Delta)$;

4. Якщо g_3 зв'язування значно менше $(G - \Delta)$ – кількість кутків у зв'язуванні по висоті й ширині перераховується. У нашому випадку пропонується вважати «значним» більше 1/3 (30 %) від $(G - \Delta)$.

У перших трьох випадках значення n_b й n_h знайдене.

Якщо кількість кутків мінялися (перша й третя ситуації), то значення n й g_3 уточнюються.

Перерахування кількості кутків (четвертий випадок) здійснюється в наступній послідовності.

По ширині зв'язування розташовуємо два кутки ($n_b = 2$) (рис. 1,в), тоді з урахуванням зазору між двома стопками кутків z , одержимо

$$h_3 = b_3 = 2 \cdot c + z.$$

Тоді кількість кутків (куточків) по висоті складе

$$n_h = (2 \cdot c + z - \Delta h) / (t + z).$$

Після чого повторюється розрахунок n і g_3 .

При ширині зв'язування в три кутки ($n_b = 3$) (рис. 1, г)

$$h_3 = b_3 = 3 \cdot c + 2 \cdot z;$$

$$n_h = (3 \cdot c + 2 \cdot z - \Delta h) / (t + z) \text{ і т. д.}$$

Перерахунок, зі збільшенням ширини зв'язування, триває доти, поки маса зв'язування (g_3) стане припустимою.

Визначивши кількість кутків по ширині й висоті зв'язування, можна визначити її розміри в перерізі. Ширина (b_3) і висота (h_3) зв'язування з кутка визначається так

$$b_3 = c \cdot n_b + (n_b - 1) \cdot z;$$

$$h_3 = \Delta h + (t + z) \cdot n_h.$$

Тепер розглянемо методику формування УВМ із двотавру й швелера.

При формуванні зв'язування із профілів такої конфігурації взаємне розташування окремих ВМ може бути довільним. При цьому необхідно тільки, щоб об'єм сформованого зв'язування був найменшим, а форма перерізу наближався до квадрата [5, 6].

При формуванні зв'язування необхідно, крім дотримання квадратного перерізу, щоб кількість профілів по ширині (n_b) було однакове у всіх рядах по висоті. Тобто кожний ряд виглядав (мав зовнішній вигляд) і складався з однакової кількості профілів.

При формування пакета, після скріплення (ув'язування), його можна перевертати (мінати висоту й ширину) за умови стійкості зв'язування й у такому положенні. Формування можна робити відразу в переверненому виді, маючи на увазі кантування зв'язування після скріплення.

Для формування зв'язування розрахуємо попередню необхідну кількість профілів (n'), виходячи з його необхідної маси G

$$n' = G / g_M.$$

Значення n' – ціле число, тому округляється до найближчого цілого в більшу або меншу сторону.

Виходячи з n' , співвідношення ширини (b) і висоти (h) профілю, формується пакет, тобто визначається взаємне просторове розташування профілів у зв'язуванні і їхня кількість по ширині (n_b) і висоті (n_h).

Попередня кількість профілів по ширині (n_b) зв'язування для двотавру (двотаврової балки)

можна визначити по співвідношенню (k) висоти (h) і ширини (b) профілю

$$k = h / b$$

з вираження

$$n_b = \lambda \cdot n' / k,$$

де λ – коригувальний коефіцієнт

$$\lambda = 7,4145 \cdot n^{-0,733};$$

для швелера

$$n_b = \sqrt{n'}$$

при цьому значення n_b – ціле число. Округлення може здійснюватися до найближчого цілого як у більшу, так і в меншу сторону.

Кількість рядів профілів по висоті (n_h) дорівнює

$$n_h = n' / n_b,$$

при цьому значення n_h – ціле число. Округлення може здійснюватися до найближчого цілого як у більшу, так і в меншу сторону.

Визначаємо загальну кількість профілів у зв'язуванні

$$n = n_b \cdot n_h.$$

Якщо отримане значення n відрізняється від n' ($n \neq n'$), необхідно перевірити масу такого зв'язування ($g_3 = n \cdot g_M$), для якої повинне виконуватися умова

$$(G - \Delta) \leq g_3 \leq (G + \Delta).$$

Якщо умова задовольняється, то формування зв'язування із двотаврової балки (швелера) закінчено.

Якщо умова не задовольняється, то формування зв'язування із двотаврової балки (швелера) необхідно повторити знову змінивши значення n_b й n_h так, що б одержати більше або менше значення n , яке б задовольняло вище наведеній умові.

Варто звернути увагу на те, що при формуванні зв'язувань (обв'язок) із двотаврової балки вони розташовуються своєю висотою по висоті зв'язування, а швелера навпаки – шириною швелера по ширині зв'язування.

Для пояснення цієї особливості приведемо приклад схеми розміщення профілів і розрахунку розмірів перерізу зв'язувань двотаврової балки (рис. 2, а) і швелера (рис. 2, б).

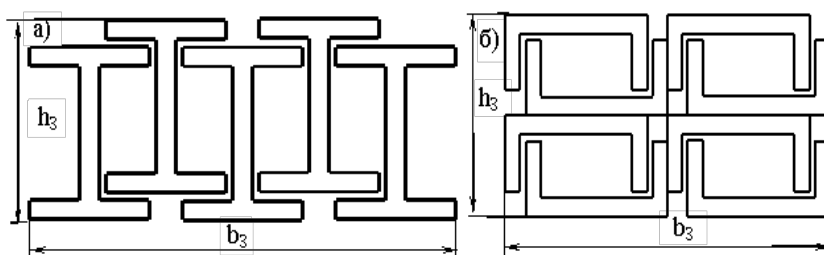


Рис. 2. Приклади схеми зв'язувань із 5 двотаврів (а) і 8 швелерів (б)

На рис. 2, а наведена схема формування зв'язування з 5 двотаврових балок (двотавру). Виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування, одержимо ширину зв'язування (b_3)

$$b_3 = b + z + s + z + b + z + s + z + b = 3 \cdot b + 2 \cdot s + 4 \cdot z,$$

де b – ширина полиці двотавру;

s – середня товщина стінки двотавру.

Висоту зв'язування (h_3) визначаємо по її схемі (рис. 2, а) виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування

$$h_3 = h + z + t,$$

де h – висота двотавру;

t – середня товщина полиці двотавру.

На рис. 2, б наведена схема формування зв'язування з 8 швелерів. Виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування, одержимо ширину зв'язування (b_3)

$$b_3 = (h + z + t) \cdot 2 + z,$$

де h – висота швелера;

t – середня товщина полиці швелера.

Висоту зв'язування (h_3) визначаємо по її схемі (рис. 2, б) виходячи з їхньої кількості й взаємного розташування

$$h_3 = (b + z + s) \cdot 2 + z,$$

де b – ширина полиці швелера;

s – середня товщина стінки швелера.

При формуванні УВМ із окремих ВМ сортового прокату перетинання (перекриття) габаритних об'ємів (V) поруч розташованих ВМ не відбувається – для профілів прямокутної форми або незначно – для профілів кругової (коло) і шестигранної (шестигранник) форми.

А при формуванні УВМ із окремих ВМ фасонних профілів загального призначення перетинання (перекриття) габаритних об'ємів (V) поруч розташованих ВМ досить значно.

Ступінь перетинання габаритних об'ємів (V) при формуванні УВМ враховується за допомогою коефіцієнта форми (K_Φ).

Для сортового прокату у вигляді кола й шестигранника значення K_Φ може прийматися таким же як для вантажів циліндричної форми – $K_\Phi = 0,785$ [1, 2].

При пакетуванні фасонних профілів загального призначення габаритні об'єми окремих ВМ значно перекривають один одного. Тому питомий об'єм пакета (зв'язування) фасонного прокату набагато менше, ніж сума об'ємів окремих ВМ які його складають.

Значення K_Φ фасонного прокату змінюється залежно від кількості ВМ, що складають зв'язування (n), та їхнього взаємного розташування. Тому для конкретного профілю воно різне при різному значенні g_3 . Таким чином, при постійному питомому об'ємі ВМ фасонного прокату, можуть бути отримані різні значення питомого навантажувального об'єму (ПНО).

Розрахунок коефіцієнта форми (K_Φ) для кожного виду фасонного профілю пропонується робити по наступній формулі [1]

$$K_\Phi = (b_3 \cdot h_3) / (b \cdot h \cdot n).$$

Висновки. В результаті дослідження була запропонована методика визначення мінімального об'єму пакету металопродукції, з урахуванням всіх вимог, які висуваються при їх формуванні. Надана методика дозволяє заздалегідь розрахувати: кількість профілів в зв'язуванні; їх просторове положення взагалі і по відношенні один до іншого; загальну масу пакета.

Запропонована методика дозволяє розробляти оптимальну схему формування зв'язування металопродукції. При перевезенні пакетів такої форми буде потрібна мінімальна площа при їх складуванні та мінімальний об'єм вантажних приміщень транспортних засобів.

У подальших дослідженнях можливо розглянути можливість застосування запропонованої методики для інших видів металопродукції.

Список літератури:

1. Тихонін В. І. Вантажознавство. Навчальний посібник. Одеса: ОНМУ, 2016. 236 с.
2. Снопков В. І. Технологія перевезення вантажів морем: Учебник для вузів. 3-е изд., перераб. и доп. С. Петербург: АНО НПО «Мир и Семья», 2001. 560 с.
3. Зрезарцев М. П., Зрезарцев В. М., Параніч В. П. Товарознавство сировини та матеріалів. Навч. пос. К.: Центр учбової літератури, 2008. 404 с.
4. Справочник по металлопрокату // Хорольский Д. Ю. Х.: «Металлика», 2005. 834 с.
5. ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94) Металопродукція. Приймання, маркування, пакування, транспортування та зберігання. URL: https://ugmk.ua/dbs.8.files/gosts/d3058-951_864.pdf
6. Гаврилов М. Н. Транспортные характеристики грузов: Справочное руководство. Мортехинформреклама. Морской транспорт, 1994. 193 с.

Tykhonin V.I., Tykhonina I.I., Romakh V.L. THE METHOD OF OPTIMIZING THE SIZES OF PACKAGES OF METAL CARGO DURING THEIR FORMATION

The article deals with the issue of developing a methodology for forming packages from metal cargo (metal products). The main types of metal products that are produced and transshipped in the ports of Ukraine are defined. The requirements for the transport condition of the metal products offered for transportation and the packages formed from them are analyzed. The method of forming binding from corners, I-beams and channels is considered separately. When forming binding from a corner, all stages of this process are considered in detail. First, I determine the necessary initial parameters of one corner, which are necessary for further calculations. Next, the sequence of determining the number of corners by the width and height of the binding, taking into account all the requirements and restrictions on the size and weight of the formed package. After determining the optimal number of corners for the width and height of the package, expressions are given for calculating the overall dimensions and weight of such a package. Next, a step-by-step method of forming I-beam and channel packages is offered. For this, the dependencies between the overall dimensions of the profiles (I-beam and channel) and the permissible weight of the binding that is formed are established and proposed. Expressions are provided to determine the number of profiles per packet width. It was found that these values for the channel directly depend on the number of profiles in the binding, which in turn is determined by the permissible mass of the package. And for the I-beam, it depends on a series of coefficients, the values of which are also given in the methodology. After determining the binding width, the number of profiles is calculated by height, and the number of profiles in the package and its weight are specified. It was found that there are no general expressions for determining the overall dimensions of I-beam and channel packages and they are determined for each case separately. Explanations are given using specific examples. Features of determining the shape factor and specific loading volume of binding are given.

Key words: corners, I-beam, channel, binding formation, dimensions.

Трофименко І.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Іваненко В.М.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Федунов В.М.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Дорофєєва З.Я.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗГЛАДЖУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПРИ ОБРОБЦІ НАВІГАЦІЙНИХ ДАНИХ РУХУ СУДНА

Метою роботи є дослідження методів згладжування часових рядів при обробці навігаційних даних руху судна для підвищення рівня ефективності застосування сучасних систем навігації й управління судном. Мета роботи досягається тим, що у сучасних системах навігації й управління судном використовується розповсюджений тип інформаційних даних про протікання процесів плавання, який представляється у вигляді часових рядів різних вимірюваних параметрів. Доведено, що для аналізу часового ряду, що характеризує переміщення судна, одним з найскладніших та найважливіших етапів вважається згладжування випадкової складової часового ряду. Проведений аналіз найпоширеніших методів згладжування часових рядів: простої ковзної середньої, зваженої ковзної середньої, експонентного згладжування та суперпозиції (комбінації) оцінок. Здійснено порівняння результатів згладжування на прикладі вимірів швидкості судна з використанням відповідних методів за реальними даними руху судна. Найбільш значущим результатом роботи є доведення, що у результаті проведеного аналізу змісту методів згладжування та порівняння результатів їх практичного використання всі розглянуті методи згладжування можна застосовувати для обробки (згладжування) інформації про процеси (часові ряди), що характеризуються рівномірними інтервалами вимірів, що встановилися, або дуже повільною мінливістю. Практичне використання отриманих результатів полягає у тому, що проаналізовані методи згладжування можуть застосовуватись при постійному і рівномірному одержанні навігаційної інформації з об'єктів контролю з використанням внутрішньої групи джерел. Якщо при прийманні інформації відбувається пропуск даних, то ряд стає нерівномірним, і розглянуті вище методи не зможуть забезпечити необхідну якість згладжування, що підтверджується результатами порівняльного аналізу. Отже, для рядів з нерівномірними інтервалами вимірів і процесів з мінливими параметрами необхідно застосовувати додаткові процедури їх рівномірної дискретизації або додаткового зважування залежно від значень змінних інтервалів вимірів.

Ключові слова: судно, рух, навігація, метод, часовий ряд, згладжування, порівняльний аналіз, рівномірний інтервал, нерівномірний інтервал.

Постановка проблеми. У сучасних системах навігації й управління судном, зокрема ECDIS, AIS, VDR, використовується новий, але широко розповсюджений у техніці, тип інформаційних даних про протікання процесів плавання, який представляється у вигляді часових рядів різних вимірюваних параметрів [1, 2]. Слід зазначити, що при первинній обробці даних, як окремих навігаційних приладів, так і при комплексуванні за допомогою навігаційного фільтра на їх виходи надходять навігаційні дані, прив'язані до конкретних моментів часу. При накопиченні цієї інформації виходить певна сукуп-

ність числових величин, що характеризують зміну навігаційного параметра за якийсь часовий проміжок. Цю сукупність даних можна представити у вигляді часового ряду [3, 4].

Часовий ряд являє собою набір послідовно впорядкованих у часі числових показників про особливості, що характеризують рівень стану й закономірності протікання досліджуваних процесів або явищ, які прив'язані до послідовних моментів часу. Часовий ряд, що характеризує переміщення судна можна класифікувати як ізольований миттєвий нестационарний часовий ряд абсолютних величин.

Весь процес аналізу часового ряду, що характеризує переміщення судна, можна розбити на такі етапи (рис. 1):



Рис. 1. Структура процесу аналізу часового ряду, що характеризує переміщення судна

- 1) виділення закономірних складових часового ряду (тренду);
- 2) виділення й видалення складових процесу, що різко відрізняються від виявленої закономірності (фільтрація викидів);
- 3) дослідження випадкової складової часового ряду (її згладжування);
- 4) вибір математичної моделі для опису часового ряду й перевірка її адекватності;
- 5) прогнозування майбутнього розвитку процесу, представленого часовим рядом (екстраполяція елементів часового ряду).

При цьому одним з найбільш складних та важливих є третій етап - згладжування випадкової складової часового ряду, який виділений на рисунку. Суть різних прийомів згладжування зводять до заміни фактичних експериментальних даних часового ряду розрахунковими даними, які меншою мірою піддаються коливанням та аномальним значенням. Це сприяє більш чіткому прояву тенденції розвитку процесу.

На теперішній час існують декілька методів згладжування часових рядів. Кожен з них має свої позитивні та негативні властивості. Але питання пріоритетності застосування того або іншого методу при вирішенні конкретного практичного завдання, як правило, залишаються прерогативою особи, яка розробляє конкретний доданок. Тому дослідження та проведення порівняльного аналізу методів згладжування часових рядів за експериментальними траєкторними даними руху судна з метою визначення найбільш ефективного є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженням проблем застосування часових рядів у різноманітних предметних галузях присвячена велика кількість досліджень, які стосуються як загальнотеоретичних досліджень [1–6], так і прикладних питань [7–9].

Так, у статті [7] запропоновані процедури, які дозволяють визначити коригувальні коефіцієнти для апроксимації кривої зміни виявлених дефектів програмних засобів. Визначено, що при оцінюванні надійності програмних засобів не враховуються вторинні дефекти, які додатково вносяться у процесі тестування та відлагодження. Показаний вплив вторинних дефектів на характеристику надійності програмного забезпечення та якість програмних засобів в цілому. Наголошено на необхідності врахування вторинних дефектів при дослідженні часових рядів, в яких прояв таких дефектів виділяється з усього потоку подій.

В роботі [8] розглянуті підходи до обробки та аналізу даних, отриманих з різноманітних джерел інформації, спрямовані на виявлення відхилень на основі прогностичних моделей. Досліджено алгоритми кореляції. В результаті доведено, що існуючі методи встановлення взаємозв'язків між подіями та даними практично не вирішують проблеми нечіткості та пропуску даних. Для обміну інформацією між джерелами запропоновано модель інформаційного поля, яка враховує, що кожен із об'єктів на морі має певний притаманний йому набір фіксованих атрибутів. Алгоритм перетворення даних реалізований шляхом об'єднання записів у загальні характеристики активності об'єкта. Отримана форма придатна для аналізу відомими методами аналізу інтелектуальних даних. Запропонований метод комплексування інформації на основі класифікації нечітких часових тенденцій дозволяє інтегрувати різні записи однієї активності в єдиний запис.

В статті [9] розглянуто питання суб'єктивності оцінки безпеки та оптимальності спланованого

маршруту при традиційних методах його планування, що не дозволяє повною мірою виконати якісну обробку всієї необхідної інформації. До такої інформації відноситься повноцінне урахування правил плавання, маневрені особливості судна, оцінка швидкісного режиму та його зміна, оцінка впливу гідрометеорологічних умов плавання, планування складних маневрів та забезпечення безпеки плавання суден, особливо крупнотоннажних, у стиснутих водах. Рішення проблеми знаходиться в залежності від функціональних можливостей системи управління та умінь судноводіїв обирати ефективну стратегію організації процесів планування, оптимального маршруту, безпечного маневрування та управління судном, що вимагає побудови автоматизованих систем управління судноводінням та формалізації навігаційної обстановки для побудови відповідних алгоритмів.

Мета статті (постановка завдання). Дослідження методів згладжування часових рядів при обробці навігаційних даних руху судна для підвищення рівня ефективності застосування сучасних систем навігації й управління судном.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для згладжування часових рядів часто використовують такі найпоширеніші методи [1–4] (рис. 2):

- метод простої ковзної середньої (КС);
- метод зваженої ковзної середньої (ЗКС);
- метод експонентного згладжування (ЕЗ);
- методи суперпозиції або комбінації оцінок.

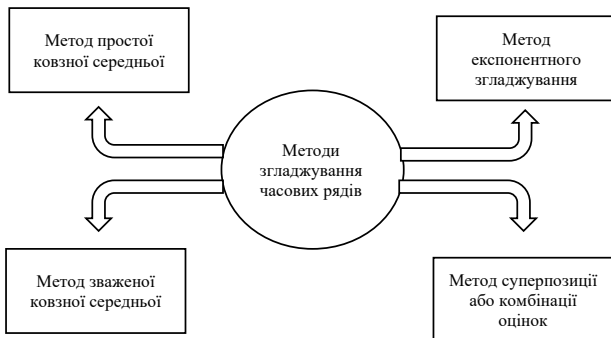


Рис. 2. Найпоширеніші методи згладжування часових рядів

Метод згладжування КС базується на тривіальному припущенні про взаємну компенсацію випадкових відхилень у середніх значеннях вимірів. Він дозволяє виявити наявну тенденцію у розвитку процесу, і тому служить важливим інструментом при фільтрації компонентів часового ряду. При згладжуванні цим методом фактичні значення ряду замінюються середніми значеннями, які характеризують серединну крапку ковзного інтервалу згладжування:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{j=i-n}^{j=i+n} y_j}{2n+1}, \quad (1)$$

де i – порядковий номер ковзного середнього в часовому ряді;

y_i – значення ковзного середнього даних часового ряду в момент для порядкового номера i ;

y_j – фактичне j -те значення виміру в часовому ряді в інтервалі згладжування;

$2n+1$ – довжина інтервалу згладжування.

Метод є суб'єктивним, і результати згладжування дуже піддані впливу довжини періоду згладжування. Процедура згладжування приводить також до усунення періодичних коливань у часовому ряді при виборі довжини інтервалу згладжування рівною або кратною періоду коливань. Якщо необхідно згладити дрібні коливання, то інтервал згладжування беруть за можливості більшої довжини. При цьому відбуваються значні втрати даних на кінцях інтервалу, який аналізується. Якщо потрібно зберегти більш дрібні коливання значень, то інтервал згладжування зменшують.

Для часових рядів з нелінійною тенденцією розвитку застосовуються інші методи згладжування, зокрема, метод ЗКС. Цей метод відрізняється від методу КС тим, що значення ряду в інтервалі згладжування, входять у суму з різними ваговими коефіцієнтами [1–6]:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{j=i-n}^{j=i+n} w_j y_j}{\sum_{j=i-n}^{j=i+n} w_j}, \quad (2)$$

де w_j – вагові коефіцієнти значень у ковзному інтервалі згладжування.

В основі методу зваженої ковзної середньої згладжування часового ряду лежить ідея локального наближення тренду поліномом не дуже високого ступеня, параметри якого оцінюються методом найменших квадратів.

Метод ЕЗ застосовується для прогнозування нестационарних часових рядів, що мають випадкові зміни рівня й кута нахилу, і відомий за назвою методу Брауна [6].

Суть методу полягає в тому, що у процедурі знаходження значення згладженого рівня використовуються значення тільки попередніх рівнів ряду, взяті з певною вагою, причому ваговий коефіцієнт сумарного рівня зменшується в міру видалення його від рівня, для якого визначається згладжене значення. Згладжене значення спостереження ряду на теперішній момент часу визначається з рекурентного співвідношення:

$$\hat{y}_i = \alpha y_i + (1-\alpha) \hat{y}_{i-1}, \quad (3)$$

де α – параметр згладжування ($0 < \alpha < 1$);
 $(1 - \alpha)$ – коефіцієнт дисконтування.

Початкове значення, як правило, приймається рівним першому виміру або середньому з перших трьох значень ряду. Параметр згладжування підбирається, як правило, інтуїтивно, емпіричним шляхом.

Поряд з методами середніх арифметичних і середніх вагових широке використання мають інші оцінки вимірів, як лінійні, так і нелінійні. Вони будуються на методології оцінок даних за трьома вимірами, які також можна використовувати при згладжуванні (методи згладжування на суперпозиції або комбінації оцінок часових рядів навігаційних даних). Методологія оцінок даних за трьома вимірами може мати важливе значення при обмеженому числі вимірів і швидкій зміні параметра.

Так, квазілінійна квадратична оцінка зміщена від середнього арифметичного (1) у бік максимального виміру має такий формальний вигляд:

$$\hat{y}_i = \frac{(y_{i-1}^2 + y_i^2 + y_{i+1}^2)}{(y_{i-1} + y_i + y_{i+1})}. \quad (4)$$

Відповідна оцінка ефективна при грубих похибках, що зменшують одне зі значень виміру (наприклад, коли зникає сигнал).

Інша квазілінійна оцінка при необмеженому зростанні y_{i+1} , на відміну від попередньої, залишається кінцевою, ніколи не перевищуючи рівня $y_{i-1} + y_i$:

$$\hat{y}_i = \frac{(y_{i-1}y_i + y_iy_{i+1} + y_{i-1}y_{i+1})}{(y_{i-1} + y_i + y_{i+1})}. \quad (5)$$

Відповідна оцінка ефективна при зростанні одного зі значень вимірів (похибки високого рівня).

Різницеві квазілінійні оцінки класифікуються за такими принципами:

1) недовіри двом найближчим значенням вимірів:

$$\hat{y}_i = \frac{\frac{y_{i-1}}{|y_{i+1} - y_i|} + \frac{y_i}{|y_{i+1} - y_{i-1}|} + \frac{y_{i+1}}{|y_i - y_{i-1}|}}{\frac{1}{|y_{i+1} - y_i|} + \frac{1}{|y_{i+1} - y_{i-1}|} + \frac{1}{|y_i - y_{i-1}|}}; \quad (6)$$

2) збіг з вибірковою медіаною:

$$\hat{y}_i = \frac{y_{i-1}|y_i - y_{i+1}| + y_i|y_{i-1} - y_{i+1}| + y_{i+1}|y_{i-1} - y_i|}{|y_i - y_{i+1}| + |y_{i-1} - y_{i+1}| + |y_{i-1} - y_i|}, \quad (7)$$

3) довіри двом найближчим значенням вимірів:

$$\hat{y}_i = \frac{y_{i-1}(y_i - y_{i+1})^2 + y_i(y_{i-1} - y_{i+1})^2 + y_{i+1}(y_{i-1} - y_i)^2}{(y_i - y_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_i)^2}. \quad (8)$$

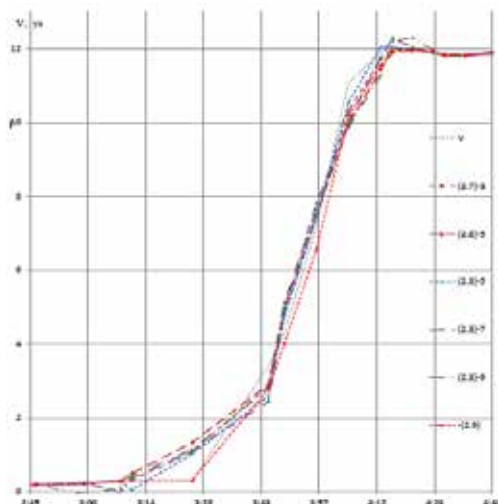
Згладжування за виразом (6) пов'язане з обчислювальними труднощами, тому що при рівних сусідніх значеннях вимірів має місце ділення на нуль:

$$\hat{x}_i = \frac{1}{4} \left[\frac{1}{3}(x_{i-1} + x_i + x_{i+1}) + \sqrt[3]{(x_{i-1}x_ix_{i+1})} + 3 \left(\frac{1}{x_{i-1}} + \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_{i+1}} \right)^{-1} + \sqrt[3]{(x_{i-1}^2 + x_i^2 + x_{i+1}^2)} \right]$$

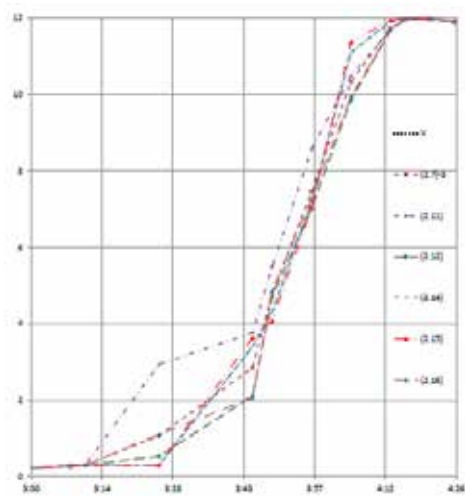
Порівняння результатів згладжування на прикладі вимірів швидкості судна з використанням методів КС, ЗКС та ЕЗ за реальними даними руху судна [10], відповідно до виразів (1-5), наведено на рис. 3, а (у дужках зазначені номери формул, а через тире інтервал згладжування в кількості вимірів).

Порівняльні результати згладжування вимірів швидкості судна квазілінійними методами відповідно до виразів (6-9), що представляють комбінації лінійних оцінок, наведено на рис. 3, б. Для порівняння на рис. 3, б наведені дані згладжування найкращим ваговим ковзним середнім (див. рисунок 3, а).

На лінійних ділянках змін швидкості дані її згладжування всіма методами дають гарні результати й практично збігаються.



а) з використанням методів КС, ЗКС та ЕЗ



б) з використанням методів суперпозиції або комбінації оцінок

Рис. 3. Результати згладжування вимірів швидкості судна з використанням різних методів

На нелінійних ділянках змін швидкості дані згладжування виходять кращими при малих інтервалах згладжування.

Наведені результати згладжування вимірів швидкості судна квазілінійними методами в цілому підтверджують зазначене призначення квазілінійних методів щодо компенсації похибок наведених формул. Серед них найкращі результати згладжування дають різниці квазілінійні методи із середніми квадратичними відхиленнями 0,1.

Висновки. Усі розглянуті в статті методи згладжування призначені для рядів з рівномірними інтервалами вимірів, їх можна застосовувати для згладжування, що встановилися, або для повільно

мінливих процесів. Проаналізовані методи згладжування можуть застосовуватись при постійному і рівномірному одержанні навігаційної інформації з об'єктів контролю з використанням внутрішньої групи джерел. Якщо при прийманні інформації відбувається пропуск даних, то ряд стає нерівномірним, і розглянуті вище методи не забезпечують необхідної якості згладжування, що підтверджується результатами порівняльного аналізу.

Отже, для рядів з нерівномірними інтервалами вимірів і процесів з мінливими параметрами необхідно застосовувати додаткові процедури їх рівномірної дискретизації або додаткового зважування залежно від значень змінних інтервалів вимірів.

Список літератури:

1. Hamilton, J. D. (1994). Time series analysis (Vol. 2, pp. 690-696). Princeton, NJ: Princeton university press.
2. Wei, W. W. (2006). Time series analysis. In The Oxford Handbook of Quantitative Methods in Psychology: Vol. 2.
3. Cryer, J. D., & Chan, K. S. (2008). Time series analysis. With applications in R. Springer.
4. Fuller, W. A. (2009). Introduction to statistical time series (Vol. 428). John Wiley & Sons.
5. Chatfield, C. (2000). Time-series forecasting. Chapman and Hall/CRC. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420036206>
6. Taylor, S.J. (2008). Modelling Financial Time Series, 2nd edn. World Scientific Publishing Company. Vilder, de R.G. and Visser, M.P.
7. Rudenko O., Shefer O., Ponochovniy Y. Алгоритм визначення кількості вторинних дефектів програмних засобів шляхом коригування коефіцієнтів апроксимуючого полінома другого ступеня. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2021. Т. 1 (63). С. 107-110. URL: [doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.107](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.107).
8. Левченко О. В. Метод формалізації комплексування інформації при моніторингу навігаційної обстановки у системі е-Навігації. URL: https://www.researchgate.net/publication/362528551_Metod_formalizacii_kompleksuvanna_informacii_pri_monitoringu_navigacijnoi_obstanovki_u_sistemi_e-Navigacii. (дата звернення: 11.01.2023)
9. Горалік Є.Т., Шапіро Г.В. Моделі та метод формалізації навігаційної обстановки для автоматизації процесів судноводіння. URL: https://www.researchgate.net/publication/361361752_MODELI_TA_METOD_FORMALIZACII_NAVIGACIJOI_OBSTANOVKI_DLA_AVTOMATIZACII_PROCESIV_SUDNOVODINNA (дата звернення: 17.01.2023)
10. Система відстеження переміщення суден онлайн. URL: <https://www.marinetraffic.com/> (дата звернення: 10.01.2023)

Trofymenko I.V., Ivanenko V.M., Fedunov V.M., Dorofieieva Z.Ia. STUDY OF TIME SERIES SMOOTHING METHODS FOR PROCESSING SHIP NAVIGATION DATA

The aim of the work is to study the methods of smoothing time series when processing navigation data of ship motion to increase the efficiency of modern navigation and ship control systems. The aim of the work is achieved by the fact that modern navigation and ship control systems use a common type of information data on the course of navigation processes, which is represented in the form of time series of various measured parameters. It is proved that for the analysis of a time series characterizing the movement of a ship, one of the most difficult and important stages is the smoothing of the random component of the time series. The most common methods for smoothing time series are analysed: simple moving average, weighted moving average, exponential smoothing, and superposition (combination) of estimates. The results of smoothing are compared on the example of ship speed measurements using the corresponding methods based on real ship motion data. The most significant result of the work is the proof that, as a result of the analysis of the content of smoothing methods and comparison of the results of their practical use, all the considered smoothing methods can be used to process (smooth) information about processes (time series) characterized by uniform measurement intervals that have been established or very slow variability. The practical application of the results obtained

is that the analysed smoothing methods can be used in the case of constant and uniform receipt of navigation information from the objects of control using an internal group of sources. If there is a data gap when receiving information, the series becomes uneven, and the methods discussed above will not be able to provide the required quality of smoothing, which is confirmed by the results of the comparative analysis. Therefore, for series with uneven measurement intervals and processes with changing parameters, it is necessary to apply additional procedures for their uniform sampling or additional weighting depending on the values of the variable measurement intervals.

Key words: *ship, movement, navigation, method, time series, smoothing, comparative analysis, uniform interval, uneven interval.*

УДК 656.7.052

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/36>**Трюхан О.М.**

Національний авіаційний університет

Осьмак В.Є.

Національний авіаційний університет

Докієнко Л.М.

Національний авіаційний університет

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ КОМЕРЦІЙНІ ПОЛЬОТИ З ВИСОКИМ СТУПЕНЕМ РИЗИКУ – ПРОБЛЕМИ ТА МОЖЛИВІ НАПРЯМИ ВИРІШЕННЯ

У статті досліджуються процедури підготовки та виконання спеціалізованих комерційних польотів з високим ступенем ризику, особливості врахування гранично-малих висот, вплив метеорологічних факторів, рельєфу місцевості, когнітивних властивостей екіпажу, техніки пілотування, забезпечення безпеки при виконанні польотів такого ґатунку. Загальна особливість виконання спеціалізованих польотів з високим ступенем ризику полягає у швидкості зміни інформації стосовно просторового положення повітряного судна, що значно перевищує швидкість її усвідомлення пілотом, прийняття рішення на виправлення помилки та його реалізацію, внаслідок чого імовірність зіткнення ПС з землею зростає. Внаслідок великої кутової швидкості переміщення наземних орієнтирів істотно скорочується час для їх розпізнавання (миготіння орієнтирів), звужується сектор огляду, зменшується кількість об'єктів, що переглядаються, орієнтири спостерігаються не в плані, а в перспективі, що ускладнює їх розпізнавання через спотворення звичних окреслень. Орієнтири, розташовані в лощинах, у лісі, на протилежних схилах пагорбів, можуть проглядатися тільки при безпосередньому прольоті над ними, характерні орієнтири, що не мають вертикальних розмірів можуть ховатися у складках місцевості. Освоєння пілотування повітряних суден на гранично малих висотах є показником високого професійного вишколу льотчика, що становить основу ефективності виконання польотних завдань такої складності. Надаються рекомендації щодо створення спеціалізованого авіаційного підприємстві зі штатом досвідчених викладачів та інструкторів, яке буде виконувати польоти такого ґатунку.

Ключові слова: спеціалізована експлуатація, високий ступінь ризику, зовнішнє середовище, прозорість атмосфери, контроль висоти, зорова фіксація, емоційне навантаження, психофізіологічні фактори, окомірна оцінка, розподіл уваги, безпека польоту.

Постановка проблеми. Державіаслужбою України впроваджуються нові види польотів – спеціалізована комерційна експлуатація з високим ступенем ризику [1, с. 14]. До них відносяться: польоти вертольотів з вантажем на зовнішній підвісці; оглядові (спостережні) польоти вертольотів; польоти з людиною, що знаходиться зовні ПС; польоти на десантування парашутистів; польоти з метою виконання авіаційно-хімічних робіт (сільськогосподарські польоти, тощо); аерофото- та кінозйомка; буксирування планерів; польоти для авіаційної реклами; польоти з метою маркування, калібрування; польоти з метою льотних перевірок наземних засобів зв'язку, навігації та спостереження, світлосигнального обладнання; польоти для виконання будівельних робіт, включаючи прокладення трубопроводів, ліній електропере-

дачі, очищення просік та місць лісозаготівлі; геодезичні польоти, включаючи авіаційне картографування та польоти по забезпеченню контролю за забрудненням; польоти по забезпеченню потреб медіа, телебачення та шоу-бізнесу; змагальні польоти; акробатичні польоти та польоти з фігурами вищого пілотажу; польоти з метою розкидання ветеринарних вакцин; польоти з водозливними пристроями для гасіння лісових пожеж; польоти для гасіння лісових пожеж з десантуванням парашутистів та вантажів; польоти з метою пошуково-рятувальних та аварійно-рятувальних робіт [6, с. 2].

Спільною рисою всіх перелічених польотів є виконання їх на висотах до 200 м, які згідно [4, с. 10] відповідають гранично малим висотам. Вони виконуються у повітряному просторі

класу G і не вимагають надання флайт – планів до організації повітряного руху, крім окремих випадків [3, с. 17].

Загальна особливість виконання спеціалізованих польотів з високим ступенем ризику полягає у швидкості зміни інформації стосовно просторового положення повітряного судна, що значно перевищує швидкість її усвідомлення пілотом, прийняття рішення на виправлення помилки та його реалізацію, внаслідок чого імовірність зіткнення ПС з землею зростає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність виконання польотів на гранично малих та малих висотах гостро повстала під час війни у В'єтнамі, коли з'явилися зенітні ракетні комплекси (ЗРК) здатні знищувати повітряні цілі на середніх та великих висотах: «...Одним з тактичних прийомів боротьби із ЗРК був перехід американської авіації з липня 1965 р. до нанесення ударів по позиціям ЗРК і по об'єктах, прикритим ЗРК, з малих висот. До польотів на малих висотах відносили всі польоти на висотах нижче 450 м у тактичній, авіаносній і стратегічній авіації та нижче 60 м удень (450 м вночі) – в армійській авіації. Швидкість польоту на малій висоті для літаків F-105 та F-4C складала 720-800 км/г, а середня тривалість польоту без перевтомлення льотчика – 20 хвилин» [10, с. 60...61].

Аналіз аварійності в авіації за період із 1991 по 1999 рр. показує, що авіаційні події (АП) через зіткнення справних повітряних суден (ПС) з рельєфом місцевості (РМ) становлять 20% від загальної кількості. Особливе занепокоєння викликає той факт, що зіткнення з рельєфом здебільшого закінчується катастрофою. Так коефіцієнт тяжкості авіаційних пригод за вказаний період становив приблизно 85%.

Не менш гостро ця проблема стоїть у комерційній авіації країн – членів ІКАО. Так, незважаючи на обов'язкове встановлення на ПС систем попередження про небезпечне зближення з рельєфом місцевості, частка АП у зв'язку з CFIT (Controlled Flight Into Terrain) від загальної кількості АП практично не зменшується і знаходиться на рівні 32.9-35.7% і також дуже висока [9, с. 7...8].

Для виявлення причин, що зумовлюють аварійність через зіткнення ПС з рельєфом місцевості, необхідно розглянути особливості їх пілотування на малих та гранично малих висотах з урахуванням впливу зовнішнього середовища та людського фактору.

Фактично напрацьовані навички пілотування вертольоту та літака на гранично малих висотах передаються у виробничих польотах від пілота

до пілота, що не дозволяє створити достатню теоретичну основу для проведення попередньої підготовки льотного складу до виконання одних з самих складних видів польотів і негативно позначається на стані безпеки польотів, оскільки кожен окремо взятий пілот, стикаючись з цією проблемою, самостійно шукає вихід із ускладненої ситуації, і напрацьовує в процесі своєї льотної діяльності найоптимальніші способи пілотування на гранично малих висотах [14, с. 5].

Системна підготовка пілотів вертольотів в Україні сьогодні здійснюється лише двома державними навчальними закладами, які належать до силових відомств. Решта готується у приватних льотних школах за європейським програмами [7, с. 238...1273]. Два факультети, які готують пілотів літаків для ЦА, випускають їх взагалі без нальоту, у кращому випадку з сертифікатом приватного пілота [14, с. 2]. Тому мова щодо опанування методик польотів на гранично малих висотах взагалі не йдеться.

Окремі види та елементи польотів на малих висотах розглянуто у роботах [1, 6, 8, 11, 12, 13], проте питання виконання спеціалізованих польотів з високим ступенем ризику є досить актуальними, тому потребують подальших досліджень для підвищення ефективності їх реалізації.

Постановка завдання. Метою дослідження є окреслення проблем, які мають місце в підготовці льотного складу для виконання спеціалізованих комерційних польотів з високим ступенем ризику та можливі напрями їх вирішення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виконання комерційних завдань з високим ступенем ризику повинні займати важливе місце в загальній системі підготовки льотного складу цивільної авіації України. Освоєння пілотування повітряних суден на гранично малих висотах є показником високого професійного вишколу льотчика, що становить основу ефективності виконання польотних завдань такого ґатунку.

Виконання польотів на гранично малій висоті має низку особливостей. Пілотування вертольота в цьому випадку повинно обов'язково поєднуватися з безперервним спостереженням за місцевістю за курсом польоту з метою виявлення всіх змін рельєфу та перешкод на лінії шляху на можливо більшій відстані від них повітряного судна. Це необхідно для своєчасного виконання відповідного маневру для проходження над перешкодою з безпечним перевищенням (маневр по висоті) або на безпечній відстані від нього осторонь (маневр курсом).

На гранично малих висотах звужена можливість використання радіотехнічних засобів. Все це значно збільшує емоційне та психофізіологічне навантаження на льотчика та інших членів екіпажу.

При підготовці до виконання спеціалізованих польотів (особливо це стосується транспортування вертольотом вантажів на зовнішній підвісці) необхідно прокласти лінію шляху на карті великого масштабу та уважно вивчити маршрут польоту.

Ускладнення горизонтального польоту вертольота на гранично малих висотах вимагає також і особливостей техніки пілотування, що обумовлено наступними факторами:

- пілотування поєднується з безперервним візуальним наглядом за місцевістю за курсом польоту з метою своєчасного виявлення та обходу перешкод. Для збільшення дальності та надійності виявлення перешкод у спостереженні повинні брати участь усі члени екіпажу;

- радіотехнічні засоби пілотування вертольоту не можуть бути використані повною мірою через зменшення дальності їх дії. При польоті над лісовими масивами та пересіченою місцевістю радіовисотоміри дають нестійкі показання. Істотний вплив підстилаючої поверхні на швидкість і напрям вітру викликає нестійкість повітряних мас в приземному шарі атмосфери, постійну небезпека зіткнення з земною поверхнею, частого маневрування по висоті та курсу польоту, труднощі ведення візуального орієнтування, відволікання уваги різними зовнішніми сигналами значно збільшують емоційне та психофізіологічне навантаження на льотчика та всіх членів екіпажу;

- тривалі польоти над одноманітною безорієнтирною місцевістю, а також польоти в умовах обмеженої видимості та в опадах можуть викликати погіршення глибинного зору льотчика, невпевненість у точності витримування висоти;

- політ виконується в небезпечній зоні «висота – швидкість» з метою запобігання можливої відмови двигуна.

Ускладнення візуального орієнтування пояснюється наступними особливостями:

- внаслідок великої кутової швидкості переміщення наземних орієнтирів істотно скорочується час для їх розпізнавання (миготіння орієнтирів), звужується сектор огляду, зменшується кількість об'єктів, що переглядаються, орієнтири спостерігаються не в плані, а в перспективі, що ускладнює їх розпізнавання через спотворення звичних окреслень. (конфігурації площадних або вигинів

лінійних орієнтирів), орієнтири, розташовані в лощинах, ярах, у лісі, на протилежних схилах пагорбів, можуть проглядатися тільки при безпосередньому прольоті над ними, характерні орієнтири, що не мають вертикальних розмірів (дороги, річки) можуть ховатися у складках місцевості;

- дальність видимості орієнтирів залежить від їх характеру та розмірів, метеоумов, часу доби та умов освітлення, напряду спостереження відносно сонця (місяця).

При польоті вдень у простих метеоумовах на гранично малій висоті дальність виявлення характерних орієнтирів становить: великих населених пунктів і орієнтирів, що мають вертикальні розміри, на рівнинній місцевості – 7-8 км, середніх і дрібних населених пунктів, площадних і ліній місцевості – 3-4 км, перерахованих типів орієнтирів на горбистій і сильно пересіченій місцевості – 2-3 км.

Польоти на гранично малих висотах над рівною місцевістю слід виконувати на висоті не менше 15-20 м. Польоти над сильно пересіченою місцевістю виконувати на висоті не менше 20-30 м над рельєфом місцевості та швидкості не менше 50 км/год., щоб забезпечити нормальну керованість вертольота при дії низхідних та висхідних потоків повітря, обумовлених зміною рельєфу місцевості та ступенем її нагріву.

Пілотування вертольота здійснювати вручну з включеними каналами «курс», «крен», «тангаж». Курс витримувати за пілотажно – навігаційним приладом, а висоту польоту – візуально з контролем по радіовисотоміру.

Польоти за маршрутами виконувати на найвигідніших швидкостях польоту. Перед виконанням польотів на повітряному судні повинні бути ретельно перевірені всі висотоміри.

Траєкторії польотів вибирати таким чином, щоб за можливості уникати небезпечні зони «висота-швидкість». При польотах над гладкою поверхнею спостерігається нестійка робота доплеровського вимірювача швидкості та зносу, що вносить значні помилки в перерахування координат місця розташування ПС.

Перед введенням вертольота у віраж (розворот) ретельно оглянути земну поверхню та повітряний простір у напрямку введення та переконатися у відсутності перешкод. Намітити орієнтир виведення. Увага льотчика в процесі виконання віражу (розвороту) має бути зосереджена на збереженні просторового положення вертольота та безпечної висоти, веденні обачності, витримування постійного крену та збереженні координації.

Виконуючи політ поблизу поверхні землі, льотчик основну увагу приділяє забезпеченню безпеки пілотування. Дослідження показують, що до 82% з них витрачається на спостереження за обстановкою поза кабіною, причому 62% витрачається на спостереження прямо за курсом. У цьому вирішується два основних завдання: окомірне оцінювання висоти і точність її витримання, друге – контролюється обстановка за курсом, щоб своєчасно виявити перешкоду та обійти її.

Двоєдине призначення зорових фіксацій, спрямованих прямо поза кабіною, зумовлює і різні точки їх застосування. Для оцінки висоти польоту льотчик спрямовує погляд у зону, розташовану неподалік вертольоту, у якій чітко видно навіть незначні відхилення по висоті, але не під вертольотом, оскільки мають місце великі кутові швидкості переміщення предметів. На користь аналізу обстановки за курсом льотчик фіксує погляд значно далі. При цьому він переглядає значно довше земну поверхню та повітряний простір, щоб мати час для прогнозування умов на маршруті.

Таким чином, оптимальне поєднання двох цілей зорових фіксацій, спрямованих прямо поза кабіною виключно важливе для забезпечення безпеки польоту. Захопившись контролем висоти, льотчик може своєчасно не помітити перешкод за курсом: і навпаки, приділивши багато уваги спостереженню за обстановкою на маршруті, допустити небезпечне зближення із земною (водною) поверхнею.

При польотах такого стибу у льотчика виникає гострий дефіцит часу на виправлення помилок у техніці пілотування. Він обумовлений безпосередньою близькістю землі, нестійкою поведінкою вертольота в обуреній приземній атмосфері та різною ефективністю управління. Так, якщо швидкість польоту мала (менше 150 км/год.), то задля попередження зіткнення з перешкодами ефективнішим буде шляхом збільшення загального кроку несучого гвинта (НГ) для збільшення висоти польоту, ніж відхилення ручки управління на себе. На швидкостях польоту понад 150 км/год., коли ефективність НГ задля створення керуючих моментів зростає, доцільно для обльоту перешкод відхиляти лише ручку циклічного кроку управління вертольотом. Окрім того, в таких польотах необхідно уважно стежити за величиною кута крену і до висоти 30 м витримувати значення кута крену, що дорівнює справжній висоті польоту над рельєфом місцевості.

Таким чином, виконання спеціалізованих польотів істотно відрізняється від польотів на середніх та великих висотах і вимагає високої

натренованості та психофізіологічної підготовки льотчика.

Остання умова важлива тим, що високий рівень напруги льотчика при виконанні польотів на гранично малих висотах часто призводить до помилкових дій, які можуть спричинити авіаційну подію.

Викладені особливості польотів суттєво збільшують емоційне та психофізіологічне навантаження екіпажу вертольоту, впливають на когнітивні якості. При цьому нервово-емоційна напруга на деякий час стримує прояв ознак стомлюваності, але потім ці ознаки можуть проявитися повною мірою і створити серйозну загрозу безпеці польоту. Тому при появі явних ознак втоми льотчик повинен з дозволу керівника польотів збільшити висоту польоту не менше ніж зазначена в керівництві з льотної експлуатації (висота майданчика відпочинку) і після певного часу польоту на цій висоті оцінити можливість продовження польоту на гранично малій висоті.

Для забезпечення безпеки запланованого спеціалізованого польоту доцільно вивчити рельєф місцевості, розташування та висоту всіх штучних перешкод у смузі маршруту, намітити контрольні орієнтири на віддаленні 15-25 км один від одного, як поворотні пункти вибрати характерні орієнтири, розташовані під кутом 60°-120° до лінії шляху, передбачити обхід населених пунктів, великих площадних об'єктів на віддаленні не менше 500 м або на висоті не менше 100 м, уточнити перед вильотом метеорологічну та орнітологічну обстановку на маршруті польоту.

Висоту польоту визначати візуально (глибинним окоміром) і періодично контролювати за радіовисотоміром. Для більш точного визначення висоти польоту дивитися на землю, водну поверхню рекомендується вліво від поздовжньої осі і вперед – на 150-200 м.

Місцевість попереду по курсу польоту оглядати на відстані 800-1500 м від вертольота залежно від швидкості польоту. Чим більша швидкість польоту, тим далі має бути спрямований погляд для перегляду місцевості попереду. При цьому необхідно ковзати поглядом по земній поверхні, не затримуючи його на окремих об'єктах та деталях ландшафту. Періодично перемикаючи увагу на огляд передньої півсфери повітряного простору.

Підвищена увага щодо висоти польоту потрібна від льотчика при зміні підстилаючої поверхні. Наприклад, коли політ спочатку виконується над лісом, а потім над низьким чагарником. Встановлено, що льотчики, які звикли до польоту над деревами або скелями, можуть

несподівано надто низько пролетіти над невисокими деревами, чагарниками або галькою. Особливо небезпечно при виконанні маневрів, коли відстань до землі різко зменшується через те, що найнижчою розташованою частиною вертольота стає не фюзеляж, а лопаті НГ. На точність окомірної оцінки висоти польоту впливає освітленість і положення сонця над горизонтом. При малому куті сонця дерева дають довгі тіні, що створює ілюзію польоту над невисокими деревами, а отже – на великій висоті.

Прозорість атмосфери породжує почуття близькості об'єктів. Туман, серпанок, сніг, дощ справляють хибне враження про збільшення відстані. При висоті польоту 50 м можливе зниження прозорості скління фонаря кабіни. Досить сказати, що коли на скління фонаря налипає багато комах, його прозорість знижується на 10-15%. При цьому гострота зору льотчика поза кабіною знижується до 0,6-0,5 одиниці.

Встановлено певну закономірність у поведінці льотчика, який опановує польоти на гранично малих висотах. Спочатку він літає вище заданої висоти, потім у міру формування навичок, знижується до заданої. Однак пізніше, коли периферичне почуття звикне до кутових переміщень наземних об'єктів, у нього з'являється почуття, ніби він летить або вище, або повільніше. Це призводить до того, що льотчик несвідомо знижує висоту. Отже, оцінюючи її окомірно, необхідно регулярно контролювати висоту за радіовисотоміром.

Основа формування навичок у окомірній оцінці висоти може закладатися у наземних умовах. Для цього достатньо піднятися на висоту (краще від 1 до 10 м), запам'ятати вузлові розміри різних предметів та рослинності.

У польоті льотчик оцінює положення вершини перешкоди щодо лінії природного горизонту. Якщо вершина знаходиться вище за цю лінію, вертоліт летить нижче вершини перешкоди, і навпаки. Під час підльоту до перешкоди льотчик спостерігає динаміку становища його вершини. Тут можливі три варіанти: вершина йде під вертоліт – перешкода нижче висоти польоту; вершина «набігає» на вертоліт – перешкода вище висоти і вершина «рухається» на рівні вертольоту – висота перешкоди відповідає висоті польоту. Залежно від

положення вертольота льотчик застосовує відповідний маневр.

Складність пілотування на висотах нижче 50 м обумовлена і тим, що можливості льотчика з контролю показань приладів в цих умовах різко обмежені. Тільки $\approx 15-20\%$ часу може приділити сприйняттю інструментальної інформації. Тривалість окремих фіксацій в кабіну не перевищує 2 секунд. Ці цифри свідчать, що важливим компонентом підготовки льотчиків до польотів поблизу землі є формування навичок у зчитуванні приладової інформації короткими фіксаціями та в пілотуванні вертольота за неінструментальними сигналами. До них відносяться положення лінії природного горизонту, кутові розміри та швидкість переміщення наземних об'єктів, шум двигуна та лопатей, вібрація. Широке використання неінструментальної інформації при пілотуванні вертольота поблизу поверхні землі дозволяє льотчику, з одного боку вивільнити зоровий канал для контролю положення вертольота, а з іншого боку – забезпечити більш раннє виявлення змін у режимі польоту роботи агрегатів та систем.

Польоти на гранично малій висоті надають підвищені вимоги до функціонального стану організму льотчика. Так, якщо на висоті 50 м частота пульсу у льотчика становить 80-90 уд./хв., то на висоті нижче 15 м досягає 110-120 уд./хв. Доцільно на початку навчання обмежувати час пілотування біля поверхні землі трьома – п'ятьма хвилинами з наступним відпочинком на безпечній висоті (майданчику відпочинку) протягом 4-6 хв. У міру опанування програми підготовки час польоту біля землі збільшувати.

Висновки. В статті запропоновано процедури, яких слід дотримуватись льотними екіпажами при підготовці та виконанні спеціалізованих комерційних завдань з високим ступенем ризику.

У зв'язку із збільшенням попиту на виконання завдань такого ґатунку при відновленні інфраструктури України [2], вказані рекомендації доцільно запроваджувати у спеціалізованому авіаційному підприємстві зі штатом досвідчених викладачів та інструкторів. Таке підприємство може бути створено на базі Державної служби з надзвичайних ситуацій або авіаційного університету, але під безпосереднім наглядом Державіслужби України, що буде запорукою його дієвої ефективності.

Список літератури:

1. Повітряний кодекс України: Закон України від 19 травня 2011 року № 3393-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17>. 10.
2. Проект Плану відновлення України. Національна рада з відновлення України від наслідків війни. Матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури». Київ. 2022 р. 178 с.

3. Правила використання повітряного простору України: Наказ Державної авіаційної служби України від 11 травня 2018 року № 430/210. Вилучено з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056>.
4. Загальні правила польотів у повітряному просторі України: Наказ Державної авіаційної служби України від 06.02.2017 № 66/73.
5. Технічні вимоги та адміністративні процедури для льотних екіпажів цивільної авіації: Наказ Державної авіаційної служби України від 20.07.2017 № 565.
6. Про внесення зміни до наказу Державіаслужби від 13.02.2020 № 256. Київ. Наказ Державіаслужби України № 1559 від 04.10.2021р.
7. Прийнятні методи відповідності (АМС) та інструктивний матеріал (GM), що роз'яснюють положення Авіаційних правил України «Технічні вимоги та адміністративні процедури для льотних екіпажів цивільної авіації»: Наказ Державіаслужби від 12 березня 2018 року № 220.
8. Вертолётовождение. Учебник. М.: Воениздат, 1986. 384 с.
9. Воробйов В.В. Проблеми безпеки польотів при маневруванні на малій висоті. Проблеми безпеки польотів.-М.: ВІНІТІ. 2000. С. 5-11.
10. Трюхан О.М. Тактика авіації у локальних війнах та збройних конфліктах: досвід, аналіз, тенденції.-К.: НАОУ, 2005. 340 с.
11. Алексеев В.В. Катастрофа лётной подготовки в России. М.: ВІНІТІ. 2012. 288 с.
12. Алексеев В.В. Бездетнов Н.П. Философия лётной безопасности. М.: ВІНІТІ. 2014. 336 с.
13. Баранов А.М. Хмари та безпека польотів. Гідрометвидав. М. : 1983. 98 с.
14. Трюхан О. М., Селіщев С. В., Паращенко Т. В. Деякі проблеми забезпечення якості надання послуг із застосуванням цивільних безпілотних літальних апаратів в Україні та можливі шляхи їх вирішення. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 1(46). С. 51-57. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.46.07>.

Trukhan O.M., Osmak V.Ye., Dokiyenko L.M. SPECIALIZED COMMERCIAL FLIGHTS WITH A HIGH DEGREE OF RISK – PROBLEMS AND POSSIBLE DIRECTIONS OF SOLUTIONS

The article examines the procedures for the preparation and execution of specialized commercial flights with a high degree of risk, the peculiarities of taking into account extremely low altitudes, the influence of meteorological factors, the topography of the area, the cognitive properties of the crew, piloting techniques, and ensuring safety when performing flights of this type. The general feature of performing specialized flights with a high degree of risk is the speed of information changes regarding the spatial position of the aircraft, which significantly exceeds the speed of its realization by the pilot, making a decision to correct the error and its implementation, as a result of which the probability of an aircraft collision with the ground increases. As a result of the high angular speed of movement of land landmarks, the time for their recognition is significantly reduced (landmarks flicker), the field of view is narrowed, the number of viewed objects is reduced, the landmarks are observed not in plan, but in perspective, which makes it difficult to recognize them due to the distortion of the usual outlines. Landmarks located in hollows, in the forest, on the opposite slopes of hills can be seen only when directly flying over them, characteristic landmarks that do not have vertical dimensions can be hidden in the folds of the terrain. Mastering the piloting of aircraft at extremely low altitudes is an indicator of the high professional training of the pilot, which forms the basis of the effectiveness of performing flight tasks of such complexity. Recommendations are given for the creation of a specialized aviation enterprise with a staff of experienced teachers and instructors, which will perform flights of this type.

Key words: *specialized operation, high degree of risk, extremely low altitudes, external environment, transparency of the atmosphere, altitude control, visual fixation, emotional load, psychophysiological factors, spatial assessment, distribution of attention, flight safety.*

УДК 627.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/37>**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Майданевич С.Б.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Іваненко В.М.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Трофименко І.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

МОРСЬКИЙ СЕКСТАНТ: ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ, ЕТАПИ І ШЛЯХИ РОЗВИТКУ, КРАЩІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ

Метою роботи є огляд історії розвитку морського секстанту, його ролі у виконанні завдань суднової дії, необхідність розуміння застосування небесних світил у розв'язанні навігаційних задач. Поставлена мета досягається шляхом визначення необхідних засобів та методів, що дозволяють штурману виявити місцеположення судна за допомогою спостережень за астрономічними об'єктами: альманах або таблиця для прогнозування положення визначених небесних світил відносно визначеної обсерваторії; засіб для визначення часу; точні карти для визначення свого місцерозташування; ефективний математичний метод для проведення необхідних розрахунків; кутомірний інструмент для вимірювання кута нахилу небесного тіла над горизонтом. Для вирішення завдання показана динаміка розвитку технічних засобів – камали, астролябії, квадранта, які використовували для морської навігації у стародавньому світі. Доведена конструкція та принцип роботи морської астролябії, її основні переваги та недоліки. Наведений хрестовий посох як приклад еволюції засобів небесної навігації з його принципом застосування у порівнянні з іншими інструментами той епохи. Вивчений подальший розвиток хрестового штативу – штатив Девіса, показана складність його використання при спостереженні за Місяцем, планетами або зірками. Доведена революційна роль Джона Хедлі та Томаса Годфрі у розробці секстанта, в якому реалізували принцип використання двох дзеркал для подвійного відбиття оптичних хвиль. Наведені приклади деяких приборів, виконаних протягом XVIII-XIX століть, еволюція матеріалів та точності шкал вимірювання. Проаналізовані роботи Х. Лімбаху, Джона Берді, Джессі Рамсдена, особливості приладів, що вони створили, напрямки, на яких вони мали сконцентруватися для усунення виявлених недоліків. Сконцентровано увагу на винахід високоточного "розподільчого механізму" Джессі Рамсденом для підвищення точності шкали секстанта. Розглянуто проблему необхідності штучного горизонту для визначення свого місця розташування судна та її практичні розв'язання. Показані шляхи розвитку секстантів у XX столітті, проблеми точної навігації в авіації та підводному флоті, знайдені технічні рішення. Обґрунтовано перехід до застосування супутникових навігаційних систем для підвищення якості навігації суден.

Ключові слова: секстант, судно, місцеположення, вимірювання кута, горизонт, ртутний штучний горизонт, астрономічний об'єкт, астронавігація.

Постановка проблеми. Головним завданням морехідної астрономії є розробка способів визначення місця судна в морі за небесними світилами, а також допомога в коригуванні курсу. Тому при вивченні цієї науки багато часу приділяється ознайомленню з різними приборами та інструментами, які допомагають навігаторам у розв'язанні цих складних завдань.

Астрономічний секстант представляє собою прилад, на шкалі якого зображена шоста частина кола (60°). Здебільшого він використовувався в астроме-

трії для вимірювання положення зірок. У більшості випадків секстант був регульованим інструментом, який дозволяв вимірювати кутові відстані між двома зірками в будь-якій площині. Але технічний прогрес витіснив секстант з лінійки основних засобів визначення місцеположення судна. Він був замінений іншими, більш точними і потужними інструментами, такими як транзитні телескопи, супутники та ін. Історія науки і техніки знає, крім морських, ще два інших типи астрономічних секстантів, які включають в себе настінні і рамкові інструменти.

Навігаційний секстант – це навігаційний інструмент із дворазовим відбиттям світової хвилі, який використовують для вимірювання кута між двома видимими об'єктами. Насамперед цей інструмент використовували для визначення кута між астрономічними об'єктами (Сонцем, Місяцем, планетами і зірками) у небі та горизонтом для небесної навігації або астронавігації. Це давало змогу штурману переміщатися в просторі без необхідності покладатися на приблизні розрахунки, щоб дізнатися своє положення. Найчастіше використовували Сонце, проте навігатори могли також використовувати Місяць, планету або одну з 57 навігаційних зірок.

У стародавні часи при виході мореплавця з порту він просто вимірював висоту Полярної зірки. При поверненні додому після плавання його завданням було лише приведення Полярної зірки на висоту первісного порту, а потім «плисти вниз по широті», зберігаючи постійний кут нахилу Полярної зірки. Виконувати це завдання допомагали різні прилади, основним з яких був секстант. Історію його розвитку, причини саме таких підходів щодо побудови конструкції приладу у повному обсязі не розглянуто. Тому актуальним завданням є доповнення та комплексне узагальнення причин і наслідків вибору певних технічних рішень при побудові конструкції секстана, визначення його ролі у розвитку навігаційної безпеки судноплавства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у рішення розвитку астронавігації внесли результати наукових досліджень Шульгіна Г.І., Файна Г.І., Красавцева Б.І., Хлюстіна Б.П., Тітова Р.Ю., Н. Schlereth, Р. Moore та ін.

У роботі [1] наведена історія розвитку секстанта, його принципів відмінності від квадранта, причини трансформації останнього у секстант.

У роботах [2-5, 9, 11, 16] надається інформація щодо розвитку приладу. Наведені дані щодо вкладу окремих вчених і винахідників стародавнього світу у розробку секстанта, в оформлення окремих принципів доробок, у причини внесення змін у конструкцію прибору.

У роботах [6-8] відзначається різниця між астрономічним та морським секстантом. Детально розглядаються особливості виконання настінних секстантів, доводяться причини, за якими їх неможливо використовувати в явному вигляді у морській справі.

Роботи [10, 15] присвячені застосуванням секстантів. Особлива увага приділяється корегуванню спостережень при інструментальних помилках, визначенні широти, довготи та часу

з використанням різних методів та прийомів на морі та суходолі. У роботі наведені численні приклади розв'язання практичних навігаційних задач та наведені допоміжні таблиці.

У роботі [12] розповідається про принципи функціонування секстанта, про правила їх користування у складних метеорологічних умовах, про деякі способи усунення грубих помилок.

Робота [13] має на меті надати основи математичних знань для виконання розрахунків, пов'язаних з визначенням місцеположення об'єкта за допомогою небесних світил. Основна увага приділяється розумінню тригонометричних залежностей.

У роботі [14] розглядаються основні способи і методи корекції широти, визначеної за допомогою секстанта, наведені прийоми щодо зменшення похибок при зніманні інформації.

Мета статті (постановка завдання). Метою роботи є огляд історії розвитку морського секстанту, його ролі у виконанні завдань судноводіння, необхідність розуміння застосування небесних світил у розв'язанні навігаційних задач.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якщо потрібно знати про своє місцеположення, знаходячись на морському сучасному судні, відповідь приходить відразу: загляніть на дані електронних систем судна. І помилка, як правило не складе більше декількох метрів. А якщо припустимо майже неможливе, всі електронні системи раптом вийшли з ладу через проблеми з електрикою або хакерську атаку на гаджети, більшість з нас загляне у свої телефони, де також з припустимою точністю знайде координати об'єкта. Припустимо ще більш цікавий і важкий сценарій: немає зв'язку з супутниками. На допомогу прийде штурман судна, який має необхідні знання, навички, технічні засоби і буде шукати небесні світила, за допомогою яких він завжди зможе знайти координати на водній поверхні та зберегти судно, життя пасажирів та його команди і цінні вантажі.

Для визначення місцеположення на земній поверхні, спостерігаючи за обраними небесним навігаційними об'єктами, штурману потрібні:

1) альманах для прогнозування положення визначених небесних світил на роки наперед відносно обсерваторії, яка визначена за первинну точку відліку при відліку даних альманаху (зазвичай Гринвіцька обсерваторія);

2) хронометр чи інший засіб для визначення часу в обраній обсерваторії;

3) точні карти для визначення свого місцерозташування за широтою і довготою або щодо суші чи небезпек, пов'язаних зі скелями і мілинами;

4) швидкий і простий математичний метод для проведення розрахунків за наявними даними небесних спостережень до положення на карті;

5) кутомірний інструмент, наприклад секстант, для вимірювання кута нахилу небесного тіла над горизонтальною лінією відліку.

Розглянемо, як навігатори вже протягом більше двох тисячоліть використовують зірки, Сонцем Місяць і планети для побудови свого шляху по безмежному морю. Для зручності мову будемо вести про північну півкулю. Розглянемо саму відому зірку – Полярну. На Північному полюсі (широта 90°) Полярна зірка знаходиться прямо над головою на висоті 90° . Навпаки, на екваторі (широта 0°) вона знаходиться на горизонті, тобто на висоті 0° . Отже, наші попередники знали, що нахил Полярної зірки над горизонтом є прямим показником земної широти. Наприклад, Полярна зірка над Ізмаїлом знаходиться на висоті близько 40.35° , тобто це – широта міста.

Так і у стародавні часи мореплавець, який відпливав за межі видимості суходолу, просто вимірював висоту Полярної зірки у порту приписки. Для повернення після довгого плавання у початкову точку мореплавець мав йти на північ або південь для досягнення Полярною зіркою висоти порту приписки. А потім він мав повернути ліворуч або праворуч і рухатися за широтою, щоб Полярна зірка знаходилася під постійним кутом.

Про таку техніку навігації знали моряки всього стародавнього світу. Араби, наприклад, у ранні часи використовували великий палець і мізинець завширшки на витягнутій руці або стрілу на відстані витягнутої руки, щоб бачити горизонт на нижньому кінці і Полярну зірку на верхньому. Трохи пізніше для спостережень вони використовували камал. Це простий пристрій, що являв собою вузли на шнурі, прикріпленому до різьбленого транця з червоного дерева. Перед тим як покинути порт, штурман зав'язував вузол на шнурі, щоб, тримаючи його в зубах, бачити Полярну зірку вздовж верхньої частини транця і горизонт уздовж нижньої. При поверненні в порт, штурман плів на північ або на південь, приводячи Полярну зірку на висоту, яку він спостерігав, коли залишав порт, а далі плів униз за широтою.

Для досягнення високої точності на той час арабські мореплавці стали зав'язувати вузли на мотузці з інтервалом у ширину пальця – один ісабах («ісабах» від араб. «палець»), що дорівнювало один градус 36 хвилин. Араби вели журнал різних портів, які вони часто відвідували, де записували, який вузол на камалі відповідає висоті Полярної зірки для кожного порту.

Астролябія (від давньогрецького «astro» означає «зірка», а «labe» – «брати» або «знаходити») вперше з'явилася у Стародавній Греції. В астролябії реалізований принцип стереографічної проекції, що переводить кола на сфері в кола на площині. Для цього до складу прибору входить барабан з намальованим небом із зодіакальним колом. Основним призначенням астролябії спочатку було визначення часу і тривалості дня і ночі. Остаточний вигляд астролябії набула у IV ст. н. е.

Згодом на ісламському Сході вдосконалили астролябію і знайшли для неї нове застосування – виконання деяких математичних обчислень і астрологічні прогнозування. Відомо чимало творів середньовічних ісламських авторів про різні конструкції та застосування астролябії.

З XII століття астролябії потрапляють у Західну Європу. На досвіді арабських інструментів почалося власне виробництво, яке досягло свого піку в епоху Відродження (XV–XVI ст.).

Відома астрономічна астролябія арабського астронома Хаджі Алі з Кервали виготовлена близько 1790 року і призначалася для визначення часу сходу і заходу сонця, а також висоти сонця й окремих зірок. Її діаметр становить близько 3,5 дюймів (рис. 1). Важливо, що пристрій використовували для визначення напрямку на Мекку під час ранкових і вечірніх молитов побожних мусульман. Астролябії астронома через їх чудове художнє оформлення стали предметом моди і колекціонування при королівських дворах і, разом з тим, прабатьком квадранта й астролябії моряка.

Квадрант мореплавця виконувався з чверті кола з дерева або латуні та став використовуватися для навігації близько з 1200-х років, набувши широку популярність з 1450 року. Латунний квадрант моряка мав шкалу у 90° , розділену на цілі градуси (рис. 2). За допомогою відвісу встановлювалася вертикальна лінія відліку.



Рис. 1. Вигляд арабської астролябії



Рис. 2. Латунний квадрант мореплавця

Отже, моряки у Середні віки могли відзначати на своєму квадранті спостережувану висоту Полярної зірки в обраних портах заходу так само, як арабський моряк зав'яже вузол на шнурку свого камала. Як альтернативу мореплавці записували висоту Полярної зірки кількісно в градусах у різних портах. Незабаром було опубліковано списки висот багатьох портів, щоб мореплавець міг орієнтуватися на них уздовж і впоперек узбережжя.

Полярна зірка зникає за горизонтом, коли мореплавець перетинає екватор, прямуючи на південь. Спочатку у стародавніх мореплавців виникали труднощі при навігації за екватором у південних морях. Але у 1480 році португальські астрономи розробили спосіб визначення широти за положенням Сонця, коли воно рухається на північ і південь від екватора залежно від пори року. Згідно цього способу, мореплавець міг розрахувати свою широту, використовуючи свій квадрант для визначення найбільшої висоти Сонця в місцевий видимий полудень і роблячи просту поправку на положення світила на північ або південь від екватора залежно від дати.

Квадрант забезпечував вимірювання висоти Полярної зірки або Сонця в градусах і пов'язував це число з географічною широтою. Але у морській небесній навігації квадрант мав два основних обмеження у застосуванні: труднощі вертикального витримання квадранта точно в площині небесного тіла на вітряній палубі; сильний вплив вітру на інструмент.

Основу морської астролябії склала астрономічна, з якої видалили усі складні шкали, залишивши тільки просту кругову шкалу з градусною розміткою. На обертовій алідаді розташовувалися візирні піннули (рис. 3).

Тримаючи прилад на рівні очей, користувач міг спостерігати за зіркою через піннули і визначати висоту зірки за точкою перетину алідади зі шкалою. Для спостереження за сонцем астролябію вільно підвішували, а алідаду регулювали так,

щоб промінь сонячного світла проходив через отвір у верхній лопатці і падав точно на отвір у нижній лопатці (рис. 4).



Рис. 3. Астролябія-квадрант

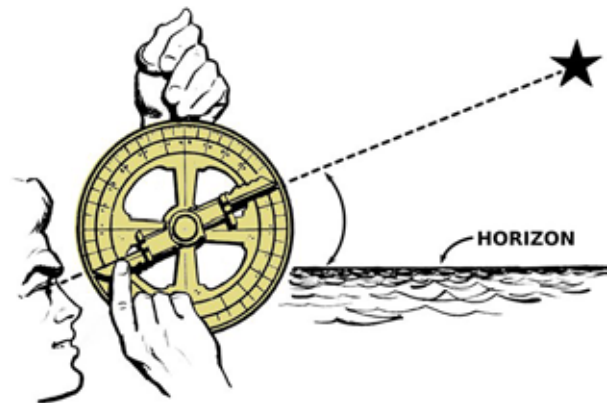


Рис. 4. Визначення висоти світила за допомогою астролябії

Прилади небесної навігації постійно розвивалися і подальшим кроком їхньої еволюції став хрестовий посох (поперечний штатив). Вертикальна частина, ригель або лімба, ковзає по палиці так, що зірку видно над верхнім краєм ригеля, а горизонт суміщений із нижнім краєм. Користувач однією рукою підносить хрестоподібну палицю до своїх очей, а за допомогою ригеля, затиснутого в іншій руці, прицілювався у зірку.

Спочатку хрестові штативи складалися тільки з двох частин – стафа (штатива) і ригеля. Згодом стали використовувати чотири ригелі різної довжини, що відповідали різним шкалам – 90, 60, 30 і 10 градусів. Навігатор одночасно користувався тільки одним ригелем. Але головна складність при використанні приладу полягала в тому, що спостерігач мав одразу дивитися й уздовж нижньої частини транця на горизонт, і вздовж верхньої частини – на Сонце або зірку, витримуючи рівновагу на палубі, що хитається.

У XII столітті одним із найпопулярніших інструментів став квадрант Девіса або бакштаг (рисунок 5), який міг вимірювати до 90° , тобто чверть кола. Спостерігач визначав висоту сонця, спостерігаючи за його тінню і одночасно бачив горизонт. Квадранти Девіса були відносно недорогими та міцним і пропрацювали понад 150 років, склавши добру конкуренцію набагато складнішим приладам з оптикою подвійного відбиття.



Рис. 5. Зовнішній вигляд квадранта Девіса

У штативі Девіса, на відміну від хрестового, при візуванні штурман через проріз у горизонтальній лопатці дивився тільки на горизонт, одночасно поєднуючи тінь тіньової лопатки з прорізом у горизонтальній лопатці. Але така конструкція штативу, в якому використовувалося зворотнє візування, дуже заважала спостерігати за Місяцем, планетами або зірками. Тому на переломі 1600-их і 1700-их рр. для спостереження за нічними небесними тілами стали використовувати оптичні системи на основі дзеркал і призм.

Джон Хедлі в Англії та Томас Годфрі, скляр із Філадельфії, незалежно близько 1731 року розробили попередника сучасного секстанта, в якому був реалізований принцип використання двох дзеркал для створення приладу з подвійним відбиттям. Прилад тримають вертикально і направляють на небесне тіло. Спостерігач дивиться на горизонт через незазвичайну частину дзеркала горизонту. Важіль регулюється доти, доки зображення світила, відбите спочатку вказівним дзеркалом, а потім посрібленою частиною дзеркала горизонту, не опиниться на горизонті. Висоту небесного тіла можна визначити за шкалою на дузі оправи приладу.

Перші октанти Хедлі з подвійним відображенням, виготовлені з цільного листа латуні, були важкими і чинили великий опір вітру. Їх швидко замінили легші більшого розміру дерев'яні інструменти, які мали більш точні шкали і значно менший опір вітру.

Октант Хедлі 1731 року став за конструкцією основним прототипом сучасного секстанта, який реально функціонував за принципом «навів

і зняв». Приціл було легко вирівняти, бо горизонт і зірка, здавалося, рухалися разом, коли корабель нахилився і хитався.

Отже, навігатори вже протягом багатьох століть вмели визначати широту, але не знали як точно розраховувати довготу якогось місця. Насправді, знали, але головним боєм залишалася відсутність способу точного вимірювання часу. Годинникарі винаходили хитромудрі механічні пристрої, а на початку XVIII століття астрономи розробили метод передбачення кутової відстані між Місяцем і Сонцем, планетами або обраними зірками. Тепер мореплавець міг розрахувати час, коли Місяць і небесне тіло перебуватимуть точно на цій кутовій відстані, а потім порівняти показання корабельного хронометра з часом у національній обсерваторії. Знаючи правильний час, штурман міг визначити довготу.

Уявимо, що Місяць як стрілка годинника рухається циферблатом, представленим іншими небесними тілами. Використовуючи цей метод, Коли сонце проходить меридіан в Ізмаїлі, місцевий сонячний час дорівнює 12:00, а в цей момент – 10:05 за Гринвічем. Пам'ятаючи, що 15 градусів довготи еквівалентні одній годині часу, ми отримуємо довготу 28 градусів 83 хвилини на схід від Гринвіча.

Октант, який вимірює кути до 90° , дуже підходить для спостережень небесних тіл над горизонтом. Але для спостережень місячних відстаней необхідний більший діапазон кутів. Збільшити октант Хедлі до секстанта, який міг вимірювати кути до 120 градусів, було дуже просто. Наведемо деякі прилади, виконані протягом XVIII–XIX ст.

У першій половині XVIII століття сформувався тенденція повернення до октантів і секстантів з дерев'яною рамою для отримання більш легких, порівняно з латунними, інструментів.

Джон Берд свій перший секстант виготовив у 1759 році. Рама, виконана з червоного дерева зі шкалою зі слонов'ячої кістки, була настільки великою і важкою, що для її утримання була необхідна підставка.

Гарний зразок секстанта роботи Х. Лімбах з оправою з чорного дерева, щільна деревина якого стійка до вологості. Шкала і верньєр нанесені на слонов'ячу кістку. Конструкція не була вдалою, оскільки ебенове дерево часто розщеплювалося на довгій дузі секстанта.

Але конструкції секстантів вимагали зменшення ваги рами й опору вітру та мінімальної зміни габаритів при зміні температури (рис. 6).

Найкращим виробником інструментів XVIII століття вважають англійця Джессі Рамсдена. Він при-

думав високоточний «розподільчий механізм» для ділення шкали на градуси і частки градусів. Завдяки йому, винахіднику вдалося досягти безпрецедентної точності для розвитку техніки свого часу.

На рис. 7 наведений невеликий латунний секстант, який Рамсен виготовив незадовго до своєї смерті у 1800 році. Цей пентант, а не секстант, мав дуже цікаву конструкцію і займав п'яту частину кола, радіус якого становить усього $4\frac{1}{2}$ дюйма. Шкала на сріблі розділена від мінус 5 градусів до 155 градусів, кожен градус розділений ще на три частини по 20 кутових хвилин. Причому шкала скошена під кутом 45 градусів до оправи.

Розробка більш точної поділки шкали стала важливою віхою в розвитку навігаційних приладів для проведення точніших спостережень і, відповідно, створення компактніших, легших та зручніших приладів.



Рис. 6. Рами секстантів

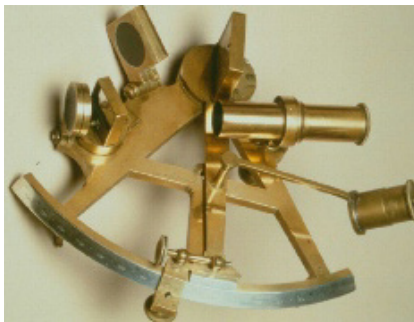


Рис. 7. Рамсенський пентант

Протягом сотень років фахівці билися над розв'язанням проблеми визначення свого місцезнаходження в умовах відсутності видимості горизонту, сонця чи зірок. У першій чверті XVIII століття виробники почали розробляти штучні горизонти для використання з квадрантами.

Один з прикладів таких напрацювань це – ртутний штучний горизонт, який являє собою пентант, здатну вимірювати кути до 170 градусів; встановлену на розбірній алюмінієвій підставці. Для формування блискучої горизонтальної поверхні для уловлювання відображення небес-

ного тіла ртуть виливали із залізної пляшки у ванночку. А трикутний скляний тент над ванночкою захищав її поверхню від вітру (рис. 8).

Джон Чарльз Фрімонт використовував секстант і ртутний штучний горизонт для визначення місця розташування під час експедиції 1842 року (рис. 9). Секстант спрямували вниз, щоб побачити відображення небесного тіла на поверхні ртутного басейну через прозору частину скла горизонту, водночас регулюючи систему покажчиків, щоб зблизити зображення, відбите двома дзеркалами. Ртутний штучний горизонт було важко використати на кораблі з похилою палубою. Залізну пляшку занурювали в корито для формування блискучої горизонтальної поверхні, що дозволяла вловлювати відображення небесного тіла. Трикутний скляний тент був поміщений над коритом, щоб вітер не заважав поверхні.



Рис. 8. Ртутний штучний горизонт



Рис. 9. Використання секстанта і ртутного штучного горизонту під час експедиції Джона Чарльза Фрімонта

Дослідники і картографи потребують штучний горизонт, коли вони не можуть бачити природ-

ного. Але є два класи сучасних навігаторів – це авіатори і підводники, яким абсолютно необхідний штучний горизонт. Авіатори часто літають над хмарами і не можуть знайти природний горизонт, а коли його знаходять, то він є так далеко під собою, що виявляється марним. І навпаки, підводники під водою зовсім не видять горизонту, і навіть на поверхні води він є таким низьким, що вид на горизонт є ненадійним. На початку ери повітроплавства пілоти намагалися використовувати звичайні морські секстанти, але майже відразу виявилася їхня потреба в приладах штучного горизонту. Тому, саме унікальні потреби авіаторів стимулювали вдосконалення секстантів протягом ХХ століття. Оптична концепція секстантів, використовуваних на повітряних кулях, полягає у відбитті зображення бульбашки від маленького спиртового рівня в лінію візування, тож бульбашку і небесне тіло можна побачити одночасно.

Стрімкий розвиток літальних апаратів під час Першої світової війни призвів потреби в точних навігаційних приладах і в нових методах, які залежали від штучних горизонтів. Одним з таких пристроїв є гіроскопічний авіаційний секстант початку 1920-их років, виготовлений французькою компанією La Precision Moderne. Обертове дзеркало, встановлене на верхній частині гіроскопа з повітряним приводом, відображає зображення небесного тіла на лінії візування, як і у випадку зі старомодним ртутним штучним горизонтом.

Трансатлантичний переліт португальців пілота Сакадурі Кабрала і штурмана адмірала Гаго Коутінью у 1919 році з Островів Зеленого Мису до Ріо-де-Жанейро стали новим кроком у розвитку секстантів зі штучним горизонтом. В основі конструкції, розробленої адміралом Гаго Коутінью, лежали дві трубки спиртового рівня – одна для підтримки секстанта в горизонтальному положенні, а інша – у вертикальному.

Португальський флот, якому належали права на розробку, уклав контракт із престижною німецькою фірмою С. Plath на виробництво. У 1929 році було здійснено навколосвітнє плавання на дирижаблі Graf Zeppelin з використанням секстанта Коутінью, конструкція якого стала хітом Берлінського авіасалону 1930 року.

Крім штучного горизонту, авіаційні секстанти потребували пристрою для усереднення значень шести або восьми прицілів, зроблених поспіль, для згладжування невеликих помилок під час наведення прицілу і компенсації швидкого руху літака.

Друга світова війна потужно вплинула на дизайн і серйозні вдосконалення приладів. Крім

С. Plath, з'явилися американські Fairchild, Link, Pioneer та Agfa-Ansco, японська Tamaya та інші виробники.

До закінчення Другої світової війни ніяких революційних технічних рішень щодо якості секстантів не було. А ось після Другої світової війни стандарт якості для секстантів встановила німецька фірма С. Plath. Розглянемо прибор 1988 року. Серед його пристосувань – несріблене скло горизонту, яке дозволяє спостерігачеві бачити повний горизонт у вигляді прямої лінії через кругле скло горизонту; лінза астигматизатора, яка спотворює зображення зірки в пряму лінію для точного вирівнювання з лінією горизонту; швидкознімний барабанний мікромметр, який зчитує з точністю до однієї десятої дугової хвилини; система освітлення барабанного мікромметра, що живиться від батарейок, бульбашкова насадка для штучного горизонту і монокулярна підзорна труба. Але не дивлячись на всі ці вигадливі сучасні вдосконалення, оптична система майже не змінилася з 1731 року, коли свій перший секстант розробив Джон Хедлі.

У 1957 році настала космічна ера. У далекому космосі не існує таких понять, як "горизонталь" чи "вертикаль". У перших космічних польотах використовували спеціально сконструйований секстант, який був призначений для вимірювання кута між краями землі або кута між небесними тілами для визначення положення космічного корабля в просторі. Але знову ж таки, стандартом стали електронні методи позиціонування в просторі, перш за все система глобального позиціонування. Замість того, щоб вимірювати кути нахилу небесних тіл над горизонтом, GPS-приймач обчислює наше місцезнаходження, вимірюючи час, необхідний для отримання радіосигналів від трьох або чотирьох із багатьох штучних супутників, які перебувають у відомих позиціях на орбіті навколо Землі.

Висновки. Романтика ручних приладів для зйомки зірок зникає так само швидко, як і невеликий туман над морем у сяючий літній ранок. Всі прилади, що ми розглянули, вже безповоротно застаріли, поступившись місцем GPS. Але ж є ще чимало штурманів старого гарту, які не хочуть відмовлятися від свого морського альманаху, хронометра і секстанта заради цих новомодних електронних штучок. Але час і реалії беруть своє, прогрес не зупинити. І нехай для всіх небайдужих залишиться просте задоволення від спостереження за зіркою, засікання часу, читання альманаху і розрахунків, щоб дізнатися, де перебуває ваше судно.

Список літератури:

1. Soysa, K. (2000). The Quadrant and Sextant. [University of Cambridge]. URL: <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/quadrant.html> (дата звернення: 14.01.2023)
2. Ifland, P. (2000, October 03). The history of the Sextant. URL: <http://www.mat.uc.pt/~helios/Mestre/Novemb00/H61iflan.html> (дата звернення: 14.01.2023)
3. Hrs, & Selin, H. (2008). Encyclopaedia of the history of science, technology, and medicine in non-western cultures (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag New York. Pg. 298. URL: <https://books.google.ca/books?id=kt9DIY1g9HYC&pg=PA2080&lpg=PA2080&dq=Taial+din+sextant&source=bl&ots=NMB7xJNDcM&sig=Rn> (дата звернення: 13.01.2023)
4. Hutchison, C. (2015, September 24). Types of Sextants. URL: http://www.ehow.com/info_8516864_types-sextants.html (дата звернення: 18.01.2023)
5. Ifland, P. (2000, October 03). The history of the Sextant. URL: http://www.mat.uc.pt/~helios/Mestre/Novemb00/H61if_2.htm (дата звернення: 19.01.2023)
6. N. Conroy, "What is the difference between the sextant used for astronomy and the one used for navigation?,". URL: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-the-sextant-used-for-astronomy-and-the-one-used-for-navigation>. (дата звернення: 15.01.2023)
7. "Sextant (astronomical) - framed Sextants,". URL: http://www.liquisearch.com/sextant_astronomical/framed_sextants.
8. Tycho Brahe's observations and instruments. (2017, May 30). URL: <https://www2.hao.ucar.edu/Education/FamousSolarPhysicists/tycho-brahes-observations-instruments> (дата звернення: 12.01.2023)
9. Hrs, & Selin, H. (2008). Encyclopaedia of the history of science, technology, and medicine in non-western cultures (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag New York. Pg. 2081. URL: https://books.google.ca/books?id=kt9DIY1g9HYC&pg=PA2080&lpg=PA2080&dq=Taial+din+sextant&source=bl&ots=NMB7xJNDcM&sig=Rn7U6gNLHrPdJ1SkTDGAQEIEhg&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiliN_ahKnQAhUI0YMKHeFNAF8Q6AEIXTAR#v=snippet&q=Taial&f=false (дата звернення: 14.01.2023)
10. W. Simms, "The Sextant and Its Applications: Including the Correction of Observations for Instrumental Errors, and the Determination of Latitude, Time, and Longitude by Various Methods on Land and at Sea, with Examples and Tables," in Google play, 1958. Pg. 62. URL: https://play.google.com/books/reader?id=oDIDAAAQAQAAJ&printsec=frontcover&output=reader&hl=en_GB&pg=GBS.PA62. (дата звернення: 14.01.2023)
11. "The Encyclopaedia Britannica: A dictionary of arts, sciences, literature and general information,". Pg. 750: URL: <https://archive.org/stream/encyclopaediabri24chisrich#page/750/mode/1up>. (дата звернення: 17.01.2023)
12. dan ezzo - izzo, "How a Sextant works," in YouTube, YouTube, 2008. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=HbgPN8jvIG4>. (дата звернення: 16.01.2023)
13. TabletClass Math, "Celestial navigation math," in YouTube, YouTube, 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XWLZKmpU17M>. (дата звернення: 15.01.2023)
14. Corrections to a Sextant altitude. URL: http://navsoft.com/html/corrections_to_a_sextant_altit.html. (дата звернення: 14.01.2023)
15. W. Simms, "The Sextant and Its Applications: Including the Correction of Observations for Instrumental Errors, and the Determination of Latitude, Time, and Longitude by Various Methods on Land and at Sea, with Examples and Tables," in Google play, 1958. Pg. 99: URL: https://play.google.com/books/reader?id=oDIDAAAQAQAAJ&printsec=frontcover&output=reader&hl=en_GB&pg=GBS.PA99. (дата звернення: 20.01.2023)
16. "The Encyclopaedia Britannica: A dictionary of arts, sciences, literature and general information,". Pg. 296. URL: <https://archive.org/stream/encyclopaediabri19chisrich#page/296/mode/1up>. (дата звернення: 19.01.2023)

Urum N.S., Maidanevych S.B., Ivanenko V.M., Trofymenko I.V. SEA SEXTANT: HISTORY, STAGES AND WAYS OF DEVELOPMENT, BEST TECHNICAL SOLUTIONS

The purpose of this paper is to review the history of the development of the marine sextant, its role in the performance of navigation tasks, and the need to understand the use of celestial bodies in solving navigation problems. This goal is achieved by identifying the necessary means and methods that allow the navigator to determine the position of the vessel by observing astronomical objects: an almanac or table for predicting the position of certain celestial bodies relative to a certain observatory; a means for determining time; accurate maps for determining one's location; an effective mathematical method for performing the necessary calculations; an angular instrument for measuring the angle of inclination of a celestial body above the horizon. To solve the problem, the dynamics of the development of technical means - kamala, astrolabe, quadrant – used for maritime navigation in the ancient world is shown. The design and principle of operation of the marine astrolabe, its main advantages and disadvantages are proved. The cross staff is presented as an example of the evolution of celestial navigation aids with its principle of use in comparison with other instruments of that

era. The further development of the cross staff - the Davis tripod - is studied, the complexity of its use when observing the Moon, planets or stars is shown. The revolutionary role of John Hadley and Thomas Godfrey in the development of the sextant, which realized the principle of using two mirrors for double reflection of optical waves, is proved. Examples of some devices made during the eighteenth and nineteenth centuries, the evolution of materials and the accuracy of measurement scales are given. The works of H. Limbach, John Birdie, Jesse Ramsden, the features of the devices they created, and the directions they had to focus on to eliminate the identified shortcomings are analysed. Attention is focused on the invention of a high-precision "distribution mechanism" by Jesse Ramsden to improve the accuracy of the sextant scale. The problem of the need for an artificial horizon to determine the position of a ship and its practical solutions are considered. The ways of development of sextants in the twentieth century, problems of precise navigation in aviation and submarine fleet are shown, and technical solutions are found. The transition to the use of satellite navigation systems to improve the quality of ship navigation is substantiated.

Key words: sextant, vessel, location, angle measurement, horizon, mercury artificial horizon, astronomical object, astronavigation.

Фомін О.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Баранов І.О.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Мірошникова М.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

АНАЛІЗ ВІДМОВ ВУЗЛІВ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ В ІСНУЮЧИХ СИСТЕМАХ ОЦІНКИ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РЕМОНТУ

У роботі виконано аналіз відмов вузлів рухомого складу залізниць в існуючих системах оцінки їх технічного стану та ремонту. Встановлено, що система управління технічним станом локомотивного парку включає комплекс структур локомотивного комплексу, що здійснюють взаємодію на етапах організації перевізного процесу, результатом якого є підтримання рівня технічного стану, що відповідає безпеці і раціональності експлуатації тягових одиниць. Розроблено схему структури життєвого циклу локомотиву. Зроблено висновки щодо відмов елементів та вузлів локомотивів, які характеризуються умовами їх експлуатації та періодом часу між проведенням технічного обслуговування і поточного ремонту. Встановлено, що причиною виникнення позапланових ремонтів є високий період пробігу (часу) між проведенням діагностичних робіт по окремим вузлам локомотивів. Встановлено, що в момент експлуатації на локомотив впливають зовнішні та внутрішні умови, що прагнуть знизити рівень його технічного стану. Основними компонентами моніторингу є бортові та стаціонарні системи контролю стану критичних вузлів локомотивів й вантажних вагонів, що впливають на безпеку руху й працездатність транспортних одиниць. Наведені методи діагностики технічного стану моторно-осьових підшипників колісно-моторного блоку. Висвітлено порядок виконання обслуговуючих операцій з моторно-осьовими підшипниками колісно-моторного блоку в обсязі робіт ТО-2. Виконано аналіз і визначені недоліки технології діагностики моторно-осьових підшипників за обсягом ТО-3. На підставі проведеного дослідження належності відмов до критеріїв раціональності розробки систем технічної діагностики виділені основні вузли та елементи, що вимагають контролю технічного стану зі зниженням періоду дискретизації по відношенню до систем діагностики. Виконано статистичний аналіз походження непланових ремонтів рухомого складу. Встановлені основні закономірності появи відмов та причини надходження вантажних вагонів у поточний ремонт.

Ключові слова: статистичний аналіз, рухомий склад, технічний стан, дискретизація, умови експлуатації, діагностування.

Актуальність дослідження. Система управління технічним станом локомотивного парку включає комплекс структур локомотивного комплексу, що здійснюють взаємодію на етапах організації перевізного процесу, результатом якого є підтримання рівня технічного стану, що відповідає безпеці і раціональності експлуатації тягових одиниць. Процес управління технічним станом починається з моменту проектування локомотива, коли на перших етапах розробки за рахунок технічних і технологічних рішень задається відповідний ресурс, що характеризує показники надійності. Після процесу проектування локомотив виконує основний етап свого життєвого циклу – експлу-

атацію (рис. 1). У момент експлуатації на локомотив впливають фактори, що прагнуть знизити рівень його технічного стану:

- зовнішні умови експлуатації – температура, вологість, профіль колії та його стан тощо;
- внутрішні умови експлуатації – людський чинник, фізична природа робочого процесу.

Дані фактори змінюють процес рівномірного витрачання ресурсу, передбачений нормами пробігу до обслуговування та ремонту, що призводить до виникнення ризику відмови (непланового ремонту) під час реалізації перевізного процесу.

Щоб уникнути відмови у межах такого показника надійності, як ремонтпридатність, за рахунок

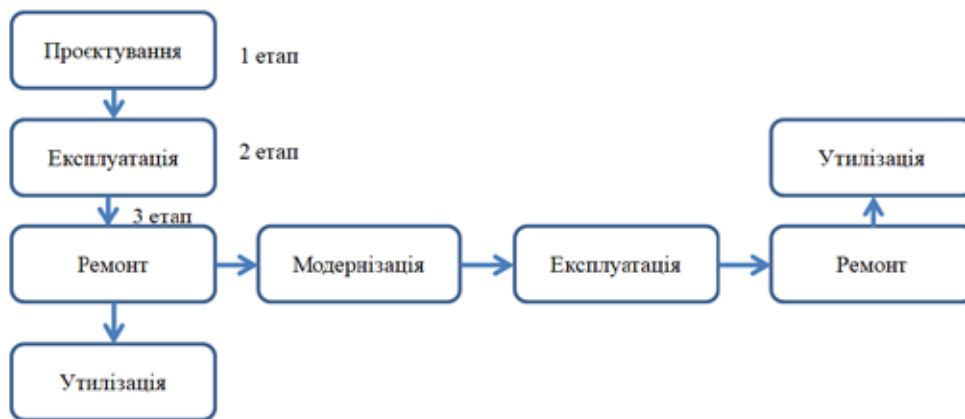


Рис. 1. Структура життєвого циклу локомотива

коштів діагностики здійснюється завчасне виявлення несправностей локомотивів як в експлуатації, так і під час проведення ТО і ПР [1, 2]. Заключним етапом управління технічним станом є ремонт, під час реалізації якого здійснюється підвищення рівня технічного стану локомотива. Структура життєвого циклу локомотива представлена рис. 1.

Моторно-осьові підшипники (МОП) є відповідальною і сполучною ланкою найважливіших, з погляду безпеки, вузлів локомотивів. Тому достовірне та своєчасне визначення технічного стану МОП є важливим завданням для підприємств, що займаються експлуатацією та ремонтом даного вузла. Незважаючи на необхідність своєчасної діагностики МОП, періоди між проведенням діагностичних робіт приймають значні пробіги (понад 400 тис. км. пробігу), що негативно відображається на кількості відмов. Щорічно відмови по даному вузлу становлять понад 250 випадків, що згодом відображається на підвищенні економічних втрат та зниженні продуктивності локомотивного парку. У сукупності діагностичну ситуацію ускладнює відсутність будь-яких безперервних систем діагностики МОП. Тому назріла необхідність розробки еталонної моделі даного вузла, що дозволяє з високим рівнем достовірності визначати технічний стан з урахуванням впливу зовнішніх чинників.

Тим часом, основними компонентами моніторингу є бортові та стаціонарні системи контролю стану критичних вузлів не тільки локомотивів, а й вантажних вагонів, що впливають на безпеку руху й працездатність транспорту, які оснащені пристроями для дистанційної передачі даних моніторингу, системами передачі даних та інформаційно-керуючими системами.

Даний підхід передбачає використання не тільки даних, що стосуються технічного стану контролю-

ваних об'єктів, а й даних, що характеризують його умови роботи та рівень навантаження, а також відомості про попередні стани, види дефектів та методи усунення несправностей. Необхідно створення єдиної інтегрованої системи моніторингу та ремонту, що включає автоматизацію процесу технічного утримання вантажних вагонів, зниження кількості помилок, оптимізацію процесу ремонту, насамперед – для відповідальних вузлів [3].

Постановка проблеми. Заключний етап управління технічним станом є найважливішим – від його організації залежать показники надійності, відповідно, і якість експлуатації. Існуюча на даний момент часу планово-попереджувальна система ремонту має протиріччя щодо ефективності проведення діагностичних робіт, оскільки при виявленні несправності тягова одиниця вирушає на незапланований ремонт, який обумовлюється відповідним простоем, як і у разі непланового ремонту, з урахуванням різниці виконання показників безпеки та відсутності витрат на транспортування (за потреби) [4]. У сукупності діагностичну ситуацію ускладнює відсутність будь-яких безперервних систем діагностики вузлів, наприклад моторно-осьових підшипників. Тому назріла необхідність розробки еталонної моделі вузла, що дозволяє з високим рівнем достовірності визначати технічний стан виходячи з зміни діагностичного параметра з урахуванням впливу зовнішніх чинників [5, 6].

Загалом, всі проблеми стану підшипників ковзання, що виникають у процесі експлуатації, можна розділити на три групи:

- проблеми стану робочих поверхонь підшипника;
- проблеми величини зазору між шийкою осі колісної пари та антифрикційним вкладишем;
- проблеми несучої здатності масляної плівки.

Для забезпечення високої надійності роботи колісно-моторного блоку, стан МОП потребує діагностики відмов з метою їхнього завчасного та оперативного усунення [7].

Діагностика технічного стану МОП проводиться при реалізації технічних обслуговувань та поточних ремонтів обсягів ТО-2, ТО-3, ПР-1, ПР-2, ПР-3.

При реалізації обслуговуючих операцій з МОП обсягом робіт ТО-2 здійснюється вимірювання температури вкладишів по корпусу за допомогою термопари або пірометра. При цьому температура вкладишів не повинна перевищувати 80°C і не приймати значення вище більш ніж на 25°C температури умов експлуатації (повітря). Процес вимірювання температури МОП за допомогою пірометра (приладу безконтактного вимірювання температури) представлений на рис. 2.



Рис. 2. Процес вимірювання температури МОП за допомогою пірометра

На підставі аналізу технології проведення діагностики МОП в обсязі робіт ТО-2 можна зробити висновок про низьку ефективність процесу діагностування, зважаючи на те, що вимірювання температури здійснюється зі значною затримкою за часом, за який температура МОП знижується в результаті природної тепловіддачі і тим самим вносить значні похибки до результату діагностування [8].

Обсяг робіт ТО-3, включає вимірювання діаметрального (радіального) зазору між шийкою осі колісної пари і вкладишем підшипника («зазору на мастило») за допомогою набору еталонних щупів. Процес вимірювання показано на рис. 3.

В результаті аналізу технології діагностики МОП в обсязі ТО-3 встановлені такі недоліки:

- вплив людського чинника на достовірність результатів, пов'язаного зі складністю процесу вимірювання;

- можливість діагностування тільки загального рівномірного зношування, без урахування наявності нерівномірного зношування;

- неможливість визначення повної діагностичної ситуації щодо зносу та наявності дефектів.



Рис. 3. Процес вимірювання «зазору на мастило» МОП

Представлені факти свідчать про низьку ефективність діагностики відмов МОП за умов представленої технології.

Слід зазначити, що запропоновані на сьогоднішній день розробки рухомого складу практично не можуть бути в комплексі використані як базові моделі для уніфікації та цілеспрямованого покращення конструкції рухомого складу. При складанні технічних умов не враховуються вимоги до надійності та нові підходи щодо обслуговування за фактичним станом. Немає єдиних вимог при проектуванні рухомого складу, не закладено єдиного підходу для експлуатації, обслуговування та ремонту.

Теоретичний аналіз дослідження. Дослідження виконано на основі результатів робіт вчених, які займалися питаннями підвищення ефективності ТО й ПР рухомого складу, серед них вітчизняні вчені: Бабанін О. Б., Бутько Т. В., Жалкін Д. С., Калабухін Ю. Є., Крашенінін О. С., Мороз В. І., Пузир В. Г., Тартаковський Е. Д., Устенко О. В. та закордонні вчені: Аміні А., Барков О. В., Ванг Д., Гіоев З. Г., Головаш А. Н.

Значний внесок у розвиток питань діагностики рухомого складу залізниць внесли: О. В. Гателюк, А. І. Мішин, В. В. Молчанов, С. М. Овчаренко, П. А. Сіряк, О. Усманов, В. В. Харламов, С. Г. Шантаренко та інші.

Мета статті: Метою роботи є підвищення ефективності діагностики рухомого складу залізниць і аналіз відмов його вузлів в існуючих системах оцінки їх технічного стану та ремонту.

Задачі дослідження:

- проаналізувати фактори, що знижують рівень технічного стану рухомого складу залізниць;

– визначити найбільш відповідальні вузли рухомого складу, виконати класифікацію та систематизацію дефектів, що виникають, аналіз причин їх появи з урахуванням особливостей конструкції, технології виробництва та умов експлуатації;

– провести статистичний аналіз походження непланових ремонтів рухомого складу залізниць;

– встановити основні закономірності появи відмов та причини надходження вантажних вагонів у поточний ремонт.

Викладення основного матеріалу дослідження. Практична реалізація планово-попереджувальної системи ТО і ПР ґрунтується на парадигмі теорії надійності локомотивів, де основним цільовим показником оцінки надійності є напрацювання технічної системи, тобто міжремонтний пробіг локомотива по відповідним вузлам у певному обсязі обслуговування та ремонту. Однак напрацювання на відмову, яка розраховується на підставі статистичних даних і є випадковою подією, має певну ймовірність, яка змінюється залежно від різних умов [9]. Відмови елементів та вузлів локомотивів характеризуються умовами їх експлуатації та періодом часу між проведенням ТО й ПР. Незважаючи на високий період дискретизації між проведенням ТО й ПР, відмови по колінчастих валах та підшипниках дизелів становлять відносно невелику кількість [10, 11]. Колінчастий вал належить до найбільш відповідальних, напружених і коштовних деталей двигуна. Під час роботи дизеля колінчастий вал навантажується силами тиску газів, а також силами деталей, що обертаються. Ці сили викликають значне напруження і коливання, тому шийки колінчастого валу зазнають змінного тиску, який викликає значну роботу тертя і знос шийок. Циліндропоршнева група (ЦПГ) дизеля є динамічно та термічно навантаженим елементом. Паливна апаратура працює в режимах високого тиску (за винятком палива, що підкачує магістралі) – тиск подачі палива форсункою дизеля серії Д49 становить 32 МПа. В таких умовах роботи зносу підлягають елементи форсунки – голка, запірний конус, розпилювач та трубопровід високого тиску, які набирають основну кількість відмов по паливній апаратурі дизеля.

До загального числа відмов паливної апаратури відноситься система управління паливподачаю, яка реалізована в електромагнітній гідромеханічній системі регулятора частоти обертання колінчастого валу дизеля. Складність даного механізму, реалізація принципу роботи та кількість елементів визначають даний вузол як ліміту-

ючий відповідно до пред'явлених вимог до періоду між проведенням обслуговування та ремонту. Турбокомпресор (ТК) також є вузлом, що лімітує пробіги локомотивів по ТО й ПР, з високою кількістю відмов у роботі.

До відмов тягових електродвигунів відносяться: – порушення ізоляції ланцюгів; – перекидання струму по колектору; – руйнування моторно-якорних підшипників. Відмови тягових електродвигунів обумовлені умовами експлуатації, профілем ділянки експлуатації, масою поїзда, режимами ведення поїзда.

Умови експлуатації тягових електродвигунів характеризуються підвищеною запиленістю, динамічними температурними впливами, підвищеною вологістю, забрудненістю. При крутих і зтяжних ухилах момент опору на якор тягового електродвигуна максимальний, при цьому для підтримки потужності внаслідок падіння напруги в ланцюзі електродвигуна підвищується струм, а відповідно, і збільшується температура обмоток електродвигуна, при критичному значенні якої (вищого класу ізоляції, що застосовується), руйнується ізоляція, що зрештою призводить до пробою та виходу з ладу тягового електродвигуна.

Виходячи з наведеного опису, необхідно встановити взаємозв'язок впливу організації планово-попереджувальної системи технічного обслуговування та ремонту локомотивів на кількість відмов їх вузлів. Побудуємо залежність кількості відмов D від періоду дискретизації проведення технічної діагностики T за розглянутими вузлами тепловозів (1. Колінчастий вал та його підшипники, 2. Циліндропоршнева група (ЦПГ), 3. Циліндрові кришки, 4. Паливна апаратура, 5. ТК, 6. Бандаж, 7. Буксовий вузол, 8. Вісь, 9. Колісний центр, 10. МОП). Статистичний аналіз походження непланових ремонтів у планово-попереджувальній системі технічного обслуговування та ремонту тепловозів та електро-возів представлені на рисунках 4 та 5.

Серед вузлів електровозів розглянуті (рис. 5): 1. Токоприймачі, 2. Апарати захисту, 3. Контактори силового ланцюга, 4. Контактори силового ланцюга електромагнітні, 5. Контактори низьковольтні, 6. Перемикачі групові, 7. Реле, 8. Тягові трансформатори 9. Акумуляторні батареї, 10. Силові ланцюги.

Відповідно до представленої статистики відмов та періодів дискретизації між проведенням технічного обслуговування та ремонту тепловозів побудовано лінії тренду, які характеризують зміну аналізованих характеристик. Так, при зменшенні



Рис. 4. Статистичний аналіз походження непланових ремонтів у планово-попереджувальній системі технічного обслуговування та ремонту тепловозів

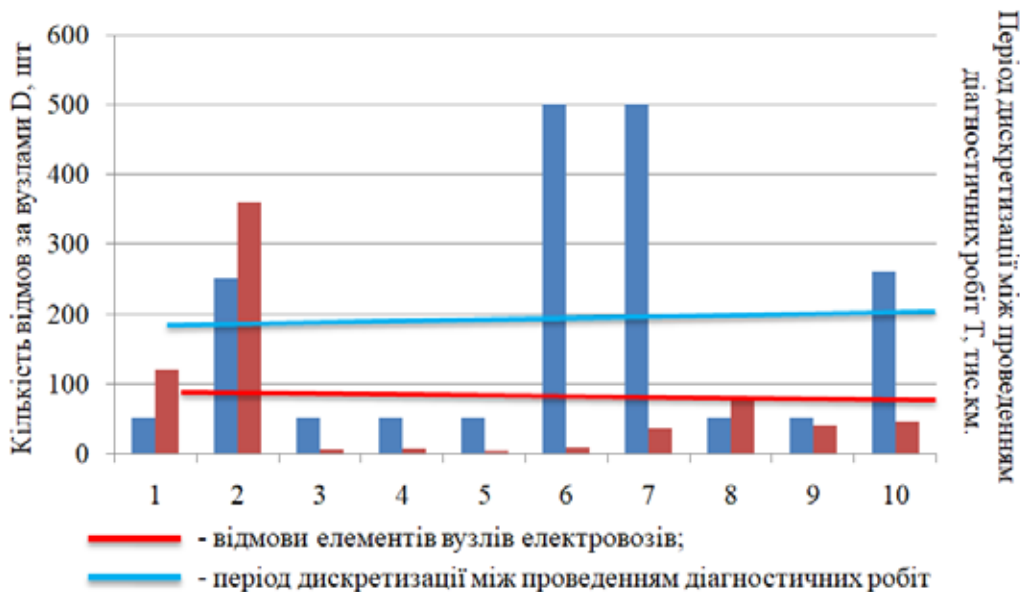


Рис. 5. Статистичний аналіз походження непланових ремонтів у планово-попереджувальній системі технічного обслуговування та ремонту електровозів

періоду дискретизації між проведенням діагностичних робіт під час ТО й ПР знижується кількість відмов вузлів локомотивів, що підтверджує вплив принципів планово-попереджувальної системи та ремонту локомотивів на динаміку непланових ремонтів.

Розглянемо статистику відмов електровозів для визначення аналогічного взаємозв'язку (рис. 5). Відповідно до гістограми відмов та періодів дискретизації між ТО й ПР електровозів згідно з лініями тренду встановлено, що період дискретизації не впливає на відмови вузлів електровозів

через наявність зворотної залежності даних характеристик – при збільшенні періоду дискретизації кількість відмов знижується. Розподіл ліній тренду характеристик визначається високими показниками надійності електрорухомого складу, порівняно з автономними локомотивами. Цей факт пов'язаний: – насамперед із кількістю електровозів парку на мережі залізниці; – з більш досконалою технологічністю електрорухомого складу порівняно з автономними локомотивами, яка переважно відрізняється меншою кількістю технічних елементів, вузлів та систем.

Представлені умови формалізуються моделями класичної теорії надійності, зокрема ймовірністю відмов для послідовних систем, де надійність системи більш низька, чим більше в ній елементів [12]:

$$P_c = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

де P_c – ймовірність відмови системи, %;

P_i – ймовірність відмови елемента системи, %:

$$P_i(l) = \frac{r(l)}{N_0} \quad (2)$$

де $r(l)$ – кількість елементів, що відмовили за період дискретизації l , шт.;

N_0 – кількість елементів на початку спостереження, шт.

Більша кількість відмов парку тепловозів у порівнянні з парком електрорухомого складу пов'язана також із віковою структурою оновлення рухомого складу [9]. Більшість тепловозів було випущено минулого століття (тепловози ТЕ10 різних модифікацій). Важливим завданням у розробці систем технічної діагностики є обґрунтування раціональності їх застосування для вузла, що розглядається. Для вирішення цього завдання необхідна диференціація деталей, елементів та вузлів локомотивного парку щодо факторів, що впливають на їх технічний стан:

- людський чинник;
- закінчення терміну експлуатації;
- умови експлуатації;
- умови протікання робочих процесів;
- зв'язок з іншими вузлами (елементами, деталями) технічної системи;
- особливості технологічного виконання, які зумовлюються ймовірністю виникнення раптових відмов, – складність конструкції, кількість елементів та інше.

Призначенням систем технічної діагностики є контроль вихідних (діагностичних) параметрів вузлів, обчислення зміни діагностичних параметрів при впливі умов експлуатації, а також умов перебігу робочих процесів шляхом урахування вхідних параметрів (впливів), виявлення конкретних несправностей, дефектів, факторів [13]. На підставі визначення призначення систем технічної діагностики визначимо вузли локомотивного парку, відмови яких відповідають представленим факторам, що впливають на показники надійності, з метою подальшого розрахунку надійності встановленого вузла та розробки моделі оцінки технічного стану. Для визначення вузлів, які задовольняють діагностичним умовам, доцільно застосування автоматизованих систем технічного діагностування (АСТД). Необхідно провести

диференціацію характеристик (рис. 2, рис. 3) за елементами. Оскільки характеристика, представлена на рис. 2, враховує відмови, пов'язані з фізичним старінням локомотивного парку (термін служби тепловозів становить понад 40 років), її диференціація з характеристикою, представленою на рис. 3, відобразить вузли, які задовольняють умовам відмов, для реалізації їх діагностичної системи.

На підставі проведеного дослідження належності відмов до критеріїв раціональності розробки систем технічної діагностики можна виділити такі вузли та елементи, що вимагають контролю технічного стану зі зниженням періоду дискретизації по відношенню до систем діагностики, що використовуються:

- силові електричні ланцюги;
- гальмівні компресори;
- гальмівний трубопровід;
- колекторно-щітковий апарат тягових електродвигунів;
- допоміжні електричні машини;
- автозчіпні пристрої;
- бандаж колісних пар;
- буксовий вузол;
- кожух зубчастої передачі;
- моторно-осьові підшипники (МОП).

Важливим моментом пропонованого підходу є виявлення найбільш відповідальних вузлів, класифікація та систематизація дефектів, що виникають, аналіз причин їх появи з урахуванням особливостей конструкції, технології виробництва та умов експлуатації. Проведений аналіз потоків відмов дозволив встановити основні закономірності появи відмов та причини надходження вантажних вагонів у поточний відчіпний ремонт. Статистичній обробці піддавалися дані про відмови основних вузлів вагонів різного терміну служби. Проаналізовано дані про відмови вантажних вагонів основних виробників (рис. 6).

Встановлено, що найбільш критичними з точки зору безпеки руху є вузли буксових, ходових та гальмівних систем. Розподіл відчеплень у поточний ремонт через відмову даних пристроїв складає 15,41%, 20,52%, та 17,43% відповідно. 44,2% вантажних вагонів надходять у відчіпний ремонт до закінчення 6 місяців після деповського та 1 року після капітального ремонту. Також визначені характерні причини відмов екіпажної частини вантажних вагонів, це в свою чергу має бути базою для проведення цілеспрямованої політики взаємовідносин із постачальниками деталей та вузлів. Аналіз статистичних даних щодо повторних та позапланових ремонтів на підприємствах мережі залізниць дозволив виявити рівень якості організації ремонту та технічного обслуговування вантажних вагонів.

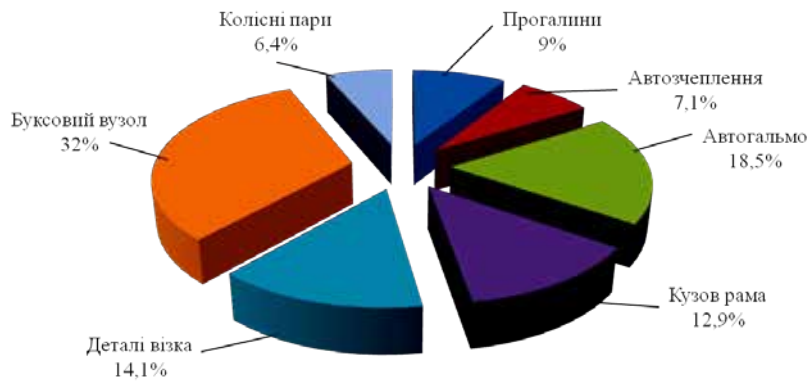


Рис. 6. Розподіл причин відчеплення вантажних вагонів до закінчення одного місяця після деповського та капітального ремонту



Рис. 7. Ознаки несправності буксового вузла

Висновки. В результаті дослідження особливостей роботи комплексу оцінки технічного стану локомотивного парку, планово-попереджувальної

системи технічного обслуговування та ремонту встановлено, що причиною виникнення позапланових ремонтів є високий період пробігу (часу) T між проведенням діагностичних робіт по окремим вузлам локомотивів. На підставі аналізу відмов вузлів локомотивів визначено вузли, що лімітують норми міжремонтного пробігу за видами ремонту, передбаченими планово-попереджувальною системою обслуговування та ремонту. Виходячи з наявного досвіду в галузі технічної діагностики, для подальшого дослідження

було обрано один із лімітуючих вузлів локомотива – моторно-осьові підшипники колісно-моторного блоку. Враховуючи встановлені факти, для зниження відмов МОП колісно-моторного блоку локомотивів, а відповідно, для зниження простой локомотивів у ремонті та витрат на усунення наслідків непланових ремонтів необхідне ведення безперервної діагностики технічного стану МОП із застосуванням систем у складі бортового програмного обладнання локомотивів, які засновані на роботі безперервних моделей обчислення.

На підставі аналізу аварійності рухомого складу залізниць встановлено, що найбільш відповідальними з точки зору безпеки руху є вузли буксових, ходових та гальмівних систем вантажних вагонів, розподіл відчеплень у поточний ремонт через відмову даних пристроїв становить 15,41%, 20,52%, та 17,43% відповідно, 44,2% вантажних вагонів надходять у відчпний ремонт до закінчення 6 місяців після деповського та 1 року після капітального ремонту.

Список літератури:

1. Тартаковский Э. Д., Пузырь В. Г., Дацун Ю. Н. Формализация экспертных оценок при аттестации локомотиворемонтных производств. Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: *материалы первой международной научно-практической конференции* (Москва, 10 окт. 2014). Москва, 2014. С. 282–287.
2. Тэттер В. Ю., Тэттер А. Ю. Диагностирование подвижного состава и его связь с направлением цифровизации железных дорог. *Омский научный вестник*. 2018. № 3(30). С. 87–93.
3. Okorokov, A. M. Research into a possibility to prolong the time of operation of universal semi-wagon bodies that have exhausted their standard resource [Text] / A. M. Okorokov, O. V. Fomin, A. O. Lovska, R. V. Vernigora, I. L. Zhuravel, V. V. Fomin// *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. 3/7(93). P. 20–26. 2018. 3/7(93). P. 20–26. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131309
4. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Vaclav Pistek, Pavel Kucera Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry // *MM Science Journal* March 2020. P. 3728–3733. DOI : 10.17973/MMSJ.2020_03_2019043 <https://www.mm-science.eu/journal/issues/March%202020/articles/research-of-stability-of-containers-in-the-combined-trains-during-transportation-by-railroad-ferry>
5. Aggoune L., Chetouani Y. Neyman-Pearson Test for Fault Detection in the Process Dynamics. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. 2016. <https://doi.org/10.1007/s11668-016-0186-y> Vol. P. 16. 999–1005.

6. Amarnath M., Praveen Krishna I. R. *Tribology International*. 2013. Vol. 61. PDetection and diagnosis of surface wear failure in a spur geared system using EEMD based vibration signal analysis. P. 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2013.01.001>.
7. Babanin O., Bulba V. Designing the technology of express diagnostics of electric train's traction drive by means of fractal analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4, 9(82). P. 45–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76520>.
8. Caso E., Fernandez-del-Rincon A., Garcia P., Iglesias M., Viadero F. *Applied Acoustics*. 2020. Vol. 159. 107092. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107092> Monitoring of misalignment in low speed geared shafts with acoustic emission sensors.
9. Oleksij Fomin, Alyona Lovska, Václav Píštěk, Pavel Kučera Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation // *Vibroengineering Procedia*. November 2019, Volume 29. P. 118–123. DOI: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132> <https://www.jvejournal.com/article/21060>
10. Михалків С. В., Бульба В. І. Прогнозування технічного стану тягових редукторів електропоїздів дискретними стохастичними моделями. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. № 188. С. 23–35. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.188.2019.206182>
11. Тартаковський Е. Д., Михалків С. В., Ходаківський А. М., Сапон Р. Діагностування підшипників кочення допоміжних машин електровоза з використанням параметричної моделі та спектра обвідної вібрації. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. 2016. № 3(78). С. 12–18. <http://dx.doi.org/10.20535/2305-9001.2016.78.79374>
12. Chen B., Shen B., Chen F., Tian H., Xiao W., Zhang F., Zhao C. Fault diagnosis method based on integration of RSSD and wavelet transform to rolling bearing. *Measurement*. 2019. Vol. 131. P. 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.043>
13. Lovska A, Fomin O, Píštěk V, Kučera P. Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry. *Applied Sciences*. 2020; 10(16):5710. <https://doi.org/10.3390/app10165710> <https://www.mdpi.com/20763417/10/16/570>

Fomin O.V., Baranov I.O., Miroshnykova M.V. ANALYSIS OF FAILURES OF RAILWAY ROLLING STOCK UNITS IN THE EXISTING SYSTEMS OF ASSESSMENT OF THEIR TECHNICAL CONDITION AND REPAIR

The paper analyzes failures of railway rolling stock units in existing systems for assessing their technical condition and repair. It has been established system for managing technical condition locomotive fleet includes complex structures locomotive complex interact at stages organizing transportation process, result which is maintain level technical condition that meets safety and rationality operation traction units. A diagram locomotive life cycle structure has been developed. Conclusions are drawn about failures elements and components locomotives, which are characterized by conditions their operation and period between maintenance and repair. It has been established that reason for unscheduled repairs is high period of run (time) between diagnostic work on individual units locomotives. It has been established that at time operation, locomotive is influenced by external and internal factors that tend to reduce level its technical condition. The main monitoring components are on-board and stationary systems for monitoring condition locomotive and freight car units, which affect traffic safety and performance transport units. Methods for diagnosing technical condition of motor-axial bearings wheel-motor unit are given. The procedure for performing maintenance operations with motor-axial bearings wheel-motor unit in scope work TO-2 is highlighted. The analysis is carried out and shortcomings technology for diagnosing motor-axial bearings by volume TO-3 are identified. Based on study failures belonging to rationality criteria for development technical diagnostic systems, main components and elements that require monitoring technical condition with decrease in sampling period in relation diagnostic systems are identified. A statistical analysis origin unscheduled repairs rolling stock was carried out. The main regularities appearance failures and reasons for receipt of freight cars for current repairs are established.

Key words: statistical analysis, composition, technical condition, discretization, operating conditions, diagnostics.

Шпак Н.Г.

Одеський національний морський університет

Павловська Л.А.

Одеський національний морський університет

Коробкова О.М.

Одеський національний морський університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МИТНО-ТРАНСПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ ПРИ ЕКСПОРТІ ЗЕРНА З УКРАЇНИ

У статті досліджено особливості та основні проблеми, що виникають у суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності при здійсненні експорту зерна з України в умовах воєнного стану. Розглянуто проблеми та динаміку розвитку ринку зерна. Коли в Україні почалися воєнні дії, ця динаміка суттєво змінилася. Через порти Одеси, Чорноморську та Південного, що раніше були лідерами з експорту зерна, переміщення спочатку зовсім зупинились, а згодом, після підписання зернової угоди, відновились, але в набагато менших розмірах. З працюючих портів, залишилися тільки Дунайські, але вони не були готові для такого навантаження по перевалці зернових. Виявлено та узагальнено проблеми пов'язані з роботою цих портів. Запропоновано впровадження системи автоматизації, яка дасть Дунайським стивідорам певні переваги.

Здійснено комплексну діагностику етапів автоматизованого процесу прийому та розвантаження зерна у портах та визначено вплив факторів на обсяги перевалки. Ще на етапі планування поїздки зерновозу до порту треба починати автоматизацію. Після прибуття в накопичувач співробітник стивідора підтверджує факт прибуття зерновозу, перевіряє правильність попередньо введеної інформації.

При кодуванні під час обліку транспорту виникає можливість скористатись швидкою, дешевою, простою та зрозумілою системою ідентифікації транспортних засобів на місцях де буде відбуватись візування, зважування зерна з тарою, вивантаження та зважування самої тари. Візування зернової проби та подальше її переміщення до лабораторії відбувається знеособлено. Лабораторія проводить аналіз та вносить його результати у систему. Після одержання результатів аналізів зерна визначається місце вивантажування з оброблюваної машини, а саме на який склад, баржу, трюм, чи на підробіток.

Адаптація системи обліку з лабораторним та ваговим обладнанням, фото чи відео фіксація процесів візування та зважування дозволить виключити практично всі протизаконні схеми, помилки персоналу та вплив «людського чинника».

Невіддільною частиною процесу вивезення будь-якої продукції за кордон є процедура митного оформлення. Із введенням воєнного стану, одною з найперших зазнала відчутних змін митниця. Досліджено особливості та напрямки удосконалення митного контролю та посилення митної безпеки України у теперішніх реаліях.

Ключові слова: транспортні операції, порт, експорт зерна, митне оформлення, автоматизація процесу.

Постановка проблеми. Україна – це країна з давніми традиціями землеробства. Вона має високий потенціал розвитку сільського господарства. Третина світових чорноземів знаходиться саме в Україні. До початку війни наша країна була лідером на світових аграрних ринках по виробництву зернових вантажів, соняшникової олії, цукру і меду. Багатьом сільгоспідприємствам доводиться думати про те, як розширити обсяги та географію збуту своєї продукції. Один зі шляхів вирішення цього завдання – експорт. Невід-

дільною частиною процесу вивезення продукції за кордон є процедура митного оформлення.

Основні обсяги експорту зернових в Україні до нападу на Україну к покупцям йшли через порти Південної Одеси, Миколаєва та Чорноморська. Традиційно 95% зернових вантажів вивозили з України морськими шляхами. Інші 5% експортувались через Бердянськ та Маріуполь. Частіш за все до портів зерно везли залізницею [1].

У країні Європи зерно експортується здебільше залізницею та автомобільним транспортом стано-

вить, але доля таких поставок складала 5% від усього українського експорту зернових (тобто сухопутними та морськими шляхами) [2].

Ситуація в Україні суттєво змінилася після початку воєнних подій. З працюючих портів залишилися тільки Дунайські, але вони не були готові для такого навантаження по перевалці зернових [3]. Тобто у сучасних умовах, що склалися в країні, виникла необхідність повної перебудови налагоджених раніше транспортних маршрутів, їх ретельного обґрунтування та оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженню експорту зерна присвячено чимало публікацій [4-5]. З позиції транспортування та проблем розвитку і удосконалення міжнародних перевезень вантажів у тому числі і зернових також існує достатня кількість робіт [6-8]. Внесок у дослідженнях митного чинника при переміщенні товарів через митний кордон теж приділялась певна увага [9-10]. Представляє інтерес дослідження саме у контексті митно-транспортних операцій з урахуванням як проблем, пов'язаних з митним оформленням так і з доставкою зернових вантажів в теперішніх реаліях.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз стану, динаміки та тенденцій розвитку ринку зерна, виявлення та узагальнення проблем пов'язаних з митним оформленням та доставкою зерна, що експортується з України та формування пропозицій щодо вирішення цих проблем.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Україна є важливим гравцем на міжнародному ринку зерна, одним з гарантів продовольчої безпеки в світі, та має потенціал у нарощенні виробництва і експорту зернових. Результати 2019/2020 маркетингового року за обсягом експорту всіх зернових культур в сукупності показали, що Україна стала «срібними призерами», пропустивши вперед лише США.

Зміни, що сталися у зв'язку з воєнним станом можна побачити навіть якщо порівняти тільки експорт з України зернових, зернобобових та борошна за два останніх маркетингових роки (табл. 1).

При цьому спостерігається цікава ситуація. Якщо в довоєнний час Дунайські порти працювали не на повну потужність, та практично не використовували жодних автоматизованих систем. На довоєнний час їм цього було цілком достатньо. Коли ж обсяги перевалки суттєво зросли, співробітники Дунайських портів відчули, що обробляти всю нову інформацію та вести облік вручну стало набагато складніше.

Окрім цього, значно загострилися і інші проблеми, що пов'язані з технічними та матеріальними питаннями, недостатньою кількістю перевантажувального обладнання, складських приміщень, кваліфікацією співробітників тощо.

Складна ситуація виникла у стивідорів і портів, що пов'язані з питаннями управління бізнес-процесами та їх обліком. Стало не вистачати часу та співробітників, щоб вести облік при збільшеному обсязі перевалки та як слідство збільшеному обсязі паперової та облікової роботи.

Таблиця 1

Експорт з України зернових, зернобобових та борошна 2022/2023 маркетинговий рік, тис. тон

	2022/2023 МР		2021/2022 МР	
	Всього	в тому числі: у березні 2023	Всього	в тому числі: у березні 2022
Зернові та зернобобові, всього	35403	3106	44849	1334
пшениця	12213	875	18399	307
ячмінь	2215	165	5641	5
жито	16,7	1	161,9	0
кукурудза	20661	2057	20348	1017
Борошно пшеничне, тис. тон	104,1	9,2	66,9	0,3
Борошно інше, тис. тон	4,2	0,2	1,5	0
Борошно разом, тис. тон у перерахунку на зерно, тис. тон	108,3	9,4	68,4 91,2	0,3 0,4
Експорт разом (зерно + борошно)	35548	3119	44940	1344

Джерело: розроблено авторами на основі [1]

Для ефективного управління всіма процесами, пов'язаними з перевалкою зерна, обліковими операціями та керуванням транспортом на території порту необхідно впроваджувати їхню автоматизацію.

При використанні автоматизованої системи обліку та управління мінімізується «людський чинник», і співробітник лише друкує документи, і навпаки, «неавтоматизований співробітник» все робить вручну та значно триваліший час.

До особливостей в роботі саме Дунайських портів (рис. 1) та стивідорних компаній, що там працюють можна віднести:

1. На територіях великих морських портів є можливість накопичення партії зерна в при-

портових елеваторах, а потім вже її вантажать на морське судно великою місткістю. Робота Дунайських портів поки що побудована так, що частіш за все перевантаження зернових здійснюється за прямим варіантом – із зерновоза відразу в баржу.

2. Наявні невеликі зернові склади здебільше підлогового зберігання, вони призначені тільки для оперативного зберігання. Вони призначені для того, щоб помістити в них те, що не вмістилось в поточну баржу, накопичити для наступної, і потім, коли вона надійде, швидко перевантажити це зерно в чергову баржу.

3. Необхідність оформлювати документи на кожну баржу окремо. Традиційно в морському порту готують один пакет документів на судно місткістю у кілька десятків тисяч тон, а тут потрібно оформлювати окремі документи на кожну відносно невелику баржу.



Рис. 1. Особливості роботи Дунайських портів
Джерело: розроблено авторами на основі [2]

4. Відсутня можливість на території порту тримати багато автотранспорту. Майже всі зерновози вимушені знаходитись за територією порту. Саме тому виникає необхідність в накопичувачі транспорту, куди він міг би прибувати та чекати на розвантаження [11]. Саме тут можна буде проводити попередню реєстрацію зерновозів та здійснювати введення даних з товаро-транспортних накладних до облікової системи. Це дасть можливість зекономити час в порту. Черги зерновозів уздовж доріг є серйозною проблемою не тільки для портів, а й для мешканців довколишніх міст.

Тож нинішня критична ситуація принесла багато проблем, але водночас криза – це не лише проблеми, а й можливість розвитку.

У ситуації, що склалася, дунайським стивідорам зараз необхідне просте, недороге програмно-апаратне рішення, яке дозволить їм швидко впровадити автоматизовану систему обліку та управління та почати ефективно працювати.

Впровадження системи автоматизації дасть Дунайським стивідорам наступні переваги (рис. 2):

1. Комплексна автоматизація обліку дасть можливість полегшати та упорядкувати агентські, митні, експедиторські операції, проводити облік взаєморозрахунків із постачальниками та підрядниками, вести бухгалтерський облік тощо.

2. Виключення випадкових помилок та «людського чинника», суттєве зменшення крадіжки та використання незаконних схем.

3. Збільшення пропускнуої спроможності. Кожна з машин оброблятиметься швидше, а значить збільшиться загальна кількість оброблених машин на добу.

4. Прозорість та фіксація інформації у документах всіх етапах обслуговування зерновозів: лабораторні дослідження, зважування, візування, та розвантажувальні роботи.

5. Налагодження безперебійної внутрішньої логістики.

6. Значне зменшення часу простою зерновозів при очікуванні розвантажувальних робіт і, як наслідок, підвищення привабливості для контрагентів.

7. Формалізація всіх бізнес-процесів. Кожен спеціаліст вводить до системи лише свої дані, що дає можливість формалізації всіх процесів.



Рис. 2. Переваги впровадження системи автоматизації

Джерело: розроблено авторами на основі [3]

Для практичного вирішення питання автоматизації роботи Дунайських портів при обробці зерна, що експортується, необхідно налагодити організований та автоматизований процес прийому та розвантаження машин стивідорами у Дунайських портах (рис. 3):

1. Етап планування поїздки зерновозу до порту вже повинен бути автоматизованим. Водію необ-

хідно записатися в електронну чергу ще перед виїздом. При цьому вносяться дані на зерно, автотранспорт та водія. Володіючи цією інформацією, стивідор може планувати свою роботу.

2. Коли зерновоз прибуває в накопичувач, реєстратор це підтверджує та перевіряє відповідність попередньо введеної інформації. На контрольно-пропускному пункті порту вже немає необхідності вводити жодних даних. Так само буде відбуватись і при проведенні лабораторних аналізів, на зважуванні, візуванні.

3. При кодуванні під час обліку транспорту виникає можливість скористатись швидкою, дешевою, простою та зрозумілою системою ідентифікації транспортних засобів на місцях де буде відбуватись візування, зважування зерна з тарою, вивантаження та зважування самої тари.

4. Візування зернової проби та подальше її переміщення до лабораторії відбувається знеособлено. Лабораторія проводить аналіз та вносить його результати у систему.

5. Місце вивантаження з оброблюваної машини, а саме на який склад, баржу, трюм, чи на підрібок визначається після одержання результатів аналізів зерна.

6. Далі зерновоз везуть на зважування бруто. Дані з ваг, адаптованих з обліковою системою, потрапляють до неї. Це дає змогу виключити введення помилкових даних, чи реалізувати протизаконні схеми з вагою.

7. Після отримання інформації відносно ваги тари, система обчислює вагу зерна, що було завантажено на баржу.

Збереження всієї інформації відбувається до моменту остаточного закриття угоди для можливого вирішення всіх спірних питань.

Невід'ємною частиною процесу ввезення чи вивезення будь-якої продукції за кордон є процедура митного оформлення. Тому розглянемо цей аспект детальніше.

Із введенням воєнного стану, одною з найперших зазнала відчутних змін митниця [12]. Саме це викликало необхідність термінового ухвалення значної кількості нормативно-правових актів, що покликані спростити порядок митного оформлення товарів та транспортних засобів. На період воєнного стану.



Рис. 3. Етапи автоматизованого процесу прийому та розвантаження зерна у Дунайських портах

Джерело: розроблено авторами на основі [5]

Деякі зміни відносно спрощення митного контролю стосуються і митного оформлення зерна, що експортується з України. Для суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності надаються певні пільги. Наприклад, на час воєнного стану припиняють діяти строки на видачу відповідними органами документів дозвільного характеру. Висновок фітосанітарних сертифікатів можна буде отримати в будь-якій установі, де проводять відповідну експертизу. При цьому запит опрацьовуватимуть не довше, ніж протягом 24 годин.

Були введені і деякі обмеження. Так, до зернових вантажів, для яких Уряд заборонив експорт на час воєнного стану було віднесено: овес, просо, гречка, жито.

Висновки. Третина світових чорноземів знаходиться саме в Україні. До початку війни наша країна була лідером на світових аграрних ринках по виробництву зернових вантажів, соняшникової олії, цукру і меду. Ситуація в Україні суттєво змінилася після початку воєнних подій. З працюючих портів залишилися тільки Дунайські, але вони не були готові для такого навантаження по перевалці зернових. Запропоновано впровадження системи автоматизації, яка дасть цим портам певні переваги.

Список літератури:

1. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 18.03.2023)
2. Як змінилася експортна логістика компаній ГМК у 2022 році. URL: https://cfts.org.ua/articles/yak_zminilasya_eksportna_logistika_kompaniy_gmk_u_2022_rotsi_1945 (дата звернення: 17.03.2023)
3. Проблеми експорту зерна через ЄС та потужностей зберігання в Україні. URL: <https://elevatorist.com/blog/read/761-eksport-cherez-suhoputni-shlyahi-do-yes-mojlivosti> (дата звернення: 17.03.23)
4. Патица Н.І., Приб К.А. Світовий ринок рослинницьких продуктів та позиції України на ньому. Економіка та управління національним господарством. 2019. № 1(69). С. 107–114.
5. Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України. URL: <https://me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=c6f1c10b-791e-4067-8580-09e2f2739f8e&tag = ZonaVilnoiTorgivliMizhUkrainoiuTas>.
6. Павловська Л.А. Сучасні методики викладання дисципліни «Дослідження операцій в транспортних системах». Зб. матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Дніпровські читання-2022», тези доп. Київ, 2022. С. 167–168.
7. Шпак Н.Г. Дослідження впливу інтеграції на показники учасників міжнародної економічної системи. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2018. № 4 (65). С. 134–149. doi: 10.31375/2226-1915-2018-4-134-149
8. Павловська Л.А. Особливості дистанційного викладання дисципліни «Інфраструктура транспортних систем». *Modern engineering and innovative technologies, Germany*. 2021. № 16. С. 27–33. doi: 10.30890/2567-5273.2021-16-03-012.
9. Шпак Н.Г. Визначення конкурентоспроможності учасників міжнародної економічної системи з урахуванням митного чинника. *Бізнес-інформ*. 2018. № 12 (491). С. 149–155.
10. Коробкова О.М. Логістична діяльність підприємств в умовах воєнного стану. *Actual problems of modern science*. 2023. № 4. С. 457–459.
11. Cavallia F., Naimzada A. K., Pecora N. Complex interplay between monetary and fiscal policies in a real economy model. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2019. Vol. 128. P. 318–330.
12. Alloza M., Burriel P. Pérez J.J. Fiscal policies in the euro area: Revisiting the size of spillovers. *Journal of Macroeconomics*. 2019. Vol. 61. P. 103–132.

Shpak N.G., Pavlovska L.A., Korobkova O.M. STUDY OF CUSTOMS AND TRANSPORT OPERATIONS WHEN EXPORTING GRAIN FROM UKRAINE

The article examines the peculiarities and main problems that arise in subjects of foreign economic activity when exporting grain from Ukraine under martial law. The problems and dynamics of grain market development are considered. Since the beginning of the war, the situation in Ukraine has changed dramatically. Of all the working ports, only the Danube ones remained, the load on which for the transshipment of various cargoes, especially grain, increased sharply. The problems associated with the operation of these ports have been identified and summarized. It is proposed to introduce an automation system that will give Danube stevedores certain advantages.

A comprehensive diagnosis of the stages of the automated process of receiving and unloading grain in ports was carried out, and the effects of factors on transshipment volumes were determined. Automation should begin at the stage of planning the car's trip to the port. Upon arrival at the storage facility, the stevedore employee confirms the fact of the arrival of the grain truck, checks the correctness of the previously entered information.

Bar coding in transport accounting provides a quick, cheap, simple and clear system of their identification at the places of visa, gross weighing, unloading and weighing of containers. During imaging, the depersonalized grain sample goes to the laboratory, which analyzes it and enters the results of the analyzes into the system. After receiving the results of the grain analysis, it is determined where to unload the grain from the processing machine – into which barge or hold, warehouse, or even for part-time work.

Integration of the accounting system with weighing and laboratory equipment, photo-fixation of weighing and imaging processes will allow to exclude almost all illegal schemes, personnel errors and the influence of the "human factor".

An integral part of the process of exporting any product abroad is the customs clearance procedure. Customs was not the first institution whose work underwent significant changes in connection with the introduction of martial law. Peculiarities and directions of improvement of customs control and strengthening of customs security of Ukraine in current realities are studied.

Key words: transport operations, port, grain export, customs clearance, process automation.

БУДІВНИЦТВО

УДК 338.24:502

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/40>**Богінська Л.О.**

Сумський національний аграрний університет

ЗЕЛЕНЕ БУДІВНИЦТВО ЯК СКЛАДОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Досліджено питання «зеленого будівництва». Розкрито його базові принципи та напрямки впровадження. Окреслено перспективи впровадження інноваційного будівництва в Україні у сучасних умовах.

Розвиток інноваційних технологій відбувається паралельно із прагненням людей жити в комфортних екологічних умовах (за зовнішніми площами будівель висаджується у великій кількості рослинність). Зелені насадження, що створюють живий екран, покращують мікроклімат будівлі, відфільтровують певною мірою сонячне випромінювання. Такі архітектурні рішення є інноваційними на протизвагу одноманітно – технологічному типовому будівництву, формують підходи забезпечення екологічної стійкості.

Світова спільнота повинна зберегти місце існування людей. Тому необхідно визначити види діяльності, які зможуть покращити екологічні показники.

Мета статті – виявити ключові характеристики зеленого будівництва, які матимуть певні переваги і перспективи.

У статті розкрито різниця між «зеленим» будівництвом та будівництвом традиційними методами. Охарактеризовані основні фактори впливу на довкілля та стан здоров'я населення об'єктів будівництва, у тому числі «зеленого». Окреслено системи «зеленої сертифікації». Вважаємо, що зелені стандарти поступово мають змінити рекомендаційний характер та суворо дотримуватися вимог раціонального природокористування. Розроблено алгоритм реалізації стратегії сталого розвитку будівельного комплексу за рахунок зеленого будівництва за рахунок збільшення його інвестиційної привабливості та переваг. Обґрунтована актуальність популяризації зеленого будівництва.

Результати статті дозволяють використовувати зібрану інформацію і власні спостереження при подальшому науковому пошуку, при веденні практичної діяльності та для поповнення інтелектуального капіталу всіх зацікавлених читачів.

Ключові слова: «зелене будівництво», інноваційні технології, екологізація будівництва.

Постановка проблеми. Будівельну діяльність у 21 столітті підведено під серйозне переосмислення певних її аспектів. Глобальні зміни клімату, що продиктовані серйозними ризиками, свідчать про значне виснаження ресурсів. Нераціональне ресурсовикористання пояснюється неекономним їх витрачанням і відчутне через навантаження на світову екосистему.

Об'єкти будівництва у всьому світі споживають близько 40% первинної енергії від загальної її кількості; вироблена електроенергія також використовується близько 40% від загалу; у кількості 14% усіх запасів експлуатується питна вода. І в той же час на будівництво припадає 35% усіх викидів вуглекислого газу; у цій галузі формується майже половина всіх твердих відходів міських територій.

Населення планети збільшується, і цей факт сприяє посиленню залучення природних ресурсів у сферу життєдіяльності людства та накопиченню всіх видів відходів. Підвищується потреба в будівлях та спорудах. У 1950 році планета була заселена 2,535 мільярдами людей, у 2000 році – 6,124 мільярдами осіб, а в 2050 р. передбачено збільшення населення землі до 9,191 млрд. осіб. Урбанізована територія планети у 1980 році становила 4,69 мільйона км², а в 2070 році ця територія, як передбачається, досягне 19 мільйонів км² (12,8% від загальної кількості земель і більше 20% земель, придатних для людства) [2].

Проблема енергетичної інтенсивності та енергоефективності, екологічності продукції будівництва на даний час є особливо актуальною. Розвиток «зеленого» будівництва повинен сприяти єдності всіх вищезазначених вимог.



Рис. 2. Алгоритм розвитку зеленого будівництва
(розроблено автором)

- зменшувати викиди в атмосферу газів, що спричиняють парниковий ефект;
- попереджати повені та зсуви ґрунту;
- збільшувати частки відновлюваних джерел енергії, яких потребують експлуатація та обслуговування будівель [3].

Нами сформована модель розвитку зеленого будівництва (рис. 2).

Сформована модель може стати основою економічного механізму реалізації програм екологізації будівельної галузі, розвитку «зеленого» будівництва, методологічних підходів до організації та проведення екологічного моніторингу територій.

На даний час сприятливими є перспективи для розгортання екологічного будівництва в Україні. Це зумовлюється наступними причинами:

- курсом на інтеграцію в простір ЄС, у тому числі процесом переорієнтації на європейські стандарти будівництва й архітектури;
- енергетичною безпекою й тісно з нею пов'язаними питаннями енергозабезпечення новітніх будівель;
- зростанням професійного інтересу до «зеленого» будівництва в широкому загалі [4].

Сучасні інноваційні технології надають можливість максимально наблизити будівельний об'єкт до стандартів «зеленого» будівництва. Це стосується впровадження в будівельне виробництво зелених конструкцій – поєднання будівельних конструкцій і рослин; зелених покрівель, фасадних зелених блоків, вертикального озеленення, зелених парковок, озелених схилів. Застосування зелених конструкцій – перспективний напрямок «зеленого» будівництва, яке володіючи значним потенціалом буде актуальним при відновленні країни після активних військових дій. Але для впровадження різних видів зелених конструкцій необхідна відповідна нормативна база [7].

Зрозуміло, що просування ідеї «зеленого» будівництва перебуває у прямій залежності від досягнень науки та розвитку технологій, від державних рішень у цій галузі, від готовності суспільства незалежно від фінансових можливостей вирішувати екологічні проблеми.

Система сертифікації екологічного будівництва визначається набором рейтингових інструментів, які застосовуються при оцінюванні будівлі

або будівельного проекту з позиції ефективності, стійкості та впливу на довкілля. Існують типи сертифікатів стійкості для забудованого середовища, а саме: BREEAM, LEED, DGNB, Green Star, HQE, Living Building Challenge, Nordic Swan, WELL, GREEN HOMES тощо.

Стандарт LEED застосовується в основному при будівництві нових і реінноваційних проектів; внутрішній реконструкції та оздобленні будівель, що експлуатуються; у замиському житловому будівництві тощо. Стандарт BREEAM – найвідоміший і поширений метод оцінки екологічної ефективності будівель (офісних центрів, торгових майданчиків, промислових об'єктів, загальноосвітніх закладів тощо) [4].

Зелені дахи зараз викликають зацікавленість у всьому світі. Цей інтерес пояснюється декількома причинами:

- по-перше, наявністю зелених насаджень у мегаполісі, які виглядають екзотично та сучасно;
- по-друге, посаджена газонна трава на верхніх майданчиках потребує небагато часу, фінансів вкладень та фізичних зусиль;
- по-третє, присутність зелені насичує повітря міста киснем і очищує атмосферу завдяки природним фільтрам [3].

Трав'яний покрив на дахах будинків – чудовий утеплювач, що упереджує тепловтрати. А у спекотний літній період шар газонної трави на дахах ідеально утримує прохолоду і перешкоджає нестачі вологи в повітрі приміщень будівель. Ще один позитив газону на дахах – посилення звукоізоляції покриття, яка значно вища за більшість нових ізоляторів.

Розробка газонів на дахах повертає флору в житлові зони, покращує стан атмосфери вулиць від пилу, який є небезпечним для здоров'я і сприяє затриманню дощової води, що насичує ґрунт. Тепер більшість людей приходять до рішення установки зелених дахів з міркувань економічності та екологічності; у США площа висотних екосистем, які були зведені лише у 2014 р. – майже 500 тис. м².

При сприятливих погодних умовах можливим є будівництво осель із бамбуку. Вони виконуються з інноваційних модульних структур, що пов'язані поміж собою. Традиційність технології будівництва з бамбука в наступному: товсті стебла скріплюються різними способами разом – утворюються стіни. Цей матеріал є екологічним, дуже міцним і еластичнішим за бетон. Додатковим бонусом є стійкість будинків до землетрусів через високу гнучкість матеріалу.

При складанні кошторису на зведення об'єктів зеленого будівництва в залежності від площі

розраховується ціна будівлі. Як приклад: США за 21м² планує отримувати 300 доларів. Найдорожчий житловий будинок, площею 2000 м², що збудований повністю з бамбука, враховуючи предмети інтер'єру, знаходиться у Тайнінь (в'єтнамська провінція). Його власником вкладено у будівництво 500 тис. дол. З бамбуку зроблені меблі та сантехнічні вироби в будинку [6].

У будівельній сфері окреслилася нова тенденція: зведення приватних будинків з глини та соломи з застосуванням фарб на натуральній основі та з використанням природних матеріалів для оштукатурювання стін. Зацікавленість у будинках з дерева вщує з простої причини: вирубування лісів для отримання будівельного бруса різко скорочує площі зелених насаджень. Негативний вплив на природу при будівництві дерев'яних зрубів є досить великим.

Пресована земля – прекрасний матеріал, який дедалі більше залучається в облаштування особняків. Вона підготовлюється до залучення у будівництво за тією ж технологією, яку використовували кілька століть тому. Зміни лише тому, що тепер у земельну суміш додається невеликий відсоток бетону (стабілізуючий компонент), який робить землю більш твердою та стійкою до пошкоджень. Пресована земля – ідеальний будівельний матеріал у будь-який сезон, вона ідеально затримує тепло. Взимку ці характеристики сприяють зниженню витрат газу або твердого палива для опалення, а влітку – економії електроенергії, що спрямовується на кондиціонування та охолодження повітря внутрішнього простору будівель.

Отже, наведена вище технологія є не тільки нешкідливою, а й зберігає невідновлені природні ресурси на тому рівні, як і новітні екологічні технології. Наразі появилися підрядники зі спеціалізацією проектування та зведення земляних будинків. За прогнозом, через декілька років такі споруди будуть домінувати на ринку зведення приватних будинків [1].

Ще одним перспективним методом будівництва та одночасної утилізації накопиченого сміття є використання пляшок, паперу, недопалків, пластику, алюмінієвих банок, дерева, скла та інших подібних матеріалів при зведенні різних за призначенням споруд. Для прикладу: фасад історичного музею Нінбо (площа 30 тис. м²), складено, в основному, зі сміття, що зібрали на території 30 зруйнованих китайських сіл за допомогою традиційної техніки *wapan* [7].

Висновки. «Зелене» будівництво – це набір певних взаємопов'язаних елементів (людина – будівля – природа), які взаємодіють на рівні даної економічної діяльності, впроваджуючи функціонування екологічної та економічної системи відповідно до важливих принципів управління (вартість проекту, загальна екологізація виробництва, життєвий цикл будівельного об'єкту, інноваційність процесів, диференціація).

Прискорені процеси індустріалізації та надмірне ресурсоспоживання створили екологічні

проблеми для людства, головним з яких є зміна клімату.

Багато факторів формують екологічний стан міського середовища. Не тільки виправдані підходи до вибору інноваційних матеріалів, технологій та виробничих процесів зможуть покращити реальну глобальну ситуацію. Широко введені технології «зеленого» будівництва розроблені для вирішення проблеми створення комфортних і безпечних умов життя для всього людства.

Список літератури:

1. Мащенко С.О., Вовк М.С., Алієв Р.А. Теорія і методологія «зеленого будівництва». *Економічний простір*. 2016. № 113. С. 220-230.
2. Орловська Ю.В., Вовк М.С., Чала В.С., Мащенко С.О. Економічна політика ЄС з підтримки зеленого житлового будівництва: Монографія. Дніпро. 2017. 148 с.
3. Орловська Ю.В. Зелене будівництво – шлях до стійкого розвитку урбоecosystem на основі досвіду ЄС. *Економічний простір*. 2017. № 120. С. 216-223.
4. Білик О.А. Зелене будівництво: концепція, причини та тенденції розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки*. 2016. Вип. 20(1). С. 53-57.
5. Бондар О.І. «Зелена» економіка як підґрунтя екологізації місцевого розвитку: Монографія / Бондар О.І., Галушкіна Т.П., Унгурян П.Я. ; за заг. ред. О.І. Бондаря. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 237 с.
6. Боровик Ю.Т., Єлагін Ю.В., Полякова О.М. «Зелена економіка»: сутність, принципи, перспективи для України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2020. № 69. С. 75-83.
7. Тарасенко Д.Л. Сталій розвиток і «зелена» економіка: політика ЄС. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 10. С. 111-115.

Boghinska L.O. GREEN BUILDING AS A COMPONENT OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE BUILDING COMPLEX

The issue of «green construction» has been studied. Its basic principles and directions of implementation are revealed. The prospects for the implementation of innovative construction in Ukraine in modern conditions are outlined.

The development of innovative technologies takes place in parallel with people's desire to live in comfortable ecological conditions (a large amount of vegetation is planted outside the buildings). Green plantings, which create a living screen, improve the microclimate of the building, and filter solar radiation to a certain extent. Such architectural solutions are innovative in contrast to monotonously technological typical construction, form approaches to ensuring environmental sustainability.

The world community must preserve the habitat of people. Therefore, it is necessary to determine the types of activities that can improve environmental indicators.

The purpose of the article is to identify the key characteristics of green construction, which will have certain advantages and prospects.

The article reveals the difference between «green» construction and construction using traditional methods. The main factors affecting the environment and the health of the population of construction objects, including «green» ones, are characterized. The «green certification» system is outlined. We believe that green standards should gradually change their advisory nature and strictly adhere to the requirements of rational nature management. An algorithm for implementing the strategy of sustainable development of the construction complex through green construction by increasing its investment attractiveness and benefits has been developed. The justified relevance of the popularization of green construction.

The results of the article allow you to use the collected information and your own observations in further scientific research, in conducting practical activities, and to replenish the intellectual capital of all interested readers.

Key words: «green construction», innovative technologies, greening of construction.

УДК 614.841

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/41>

Семичаєвський С.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Присяжнюк В.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Осадчук М.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Якіменко М.Л.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Свірський В.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Бенедюк В.С.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ЩОДО НЕОБХІДНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНИХ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ГОЛОВОК

У цій публікації наведено актуальність питання удосконалення нормативної бази, яка стосується пожежних з'єднувальних головок та пожежних рукавів, що необхідно для реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд. Акцентовано увагу на тому, що на теперішній час відсутній єдиний європейський стандарт на з'єднувальні головки та пожежні рукави. Кожна країна використовує той або інший тип з'єднувальних головок та відповідних пожежних рукавів і має свій національний стандарт. Зазначено, що найбільша кількість пожежно-рятувальної техніки, яку отримали в якості гуманітарної допомоги пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України, укомплектована пожежними рукавами із пожежними з'єднувальними головками типу «STORZ», що використовуються принаймні трьома країнами світу, а саме Польщею, Німеччиною та Австралією.

Представлено інформацію стосовно результатів раніше проведених аналогічних наукових досліджень та виявлено їх недоліки.

Зазначено, що впровадження в Україні нових нормативних документів, які стосуються пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів) сприятиме підвищенню технічного рівня та ефективності застосування пожежно-технічного оснащення пожежно-рятувальними підрозділами під час виконання завдань за призначенням.

Наведено інформацію щодо типів та видів пожежних з'єднувальних головок в Україні та за кордоном. Представлено класифікацію вітчизняних пожежних з'єднувальних головок типу Богданова. Проведено огляд пожежних головок виробництва провідних країн світу, зокрема типу «STORZ», «SMS», «National Standard Thread» (NST), «NH (National Hose)», «UNI», «Norlas», «Barcelona», «Guillemin», «Machino», «Instantaneous (John Morris)», «Camlock», «Nakajima».

Визначено основні питання, що підлягають дослідженню в рамках науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно - технічне оснащення». Вказано, що за результатами виконання науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно-технічне оснащення» буде розроблено зміну № 1 до національного стандарту України ДСТУ 9069:2021 та проект національного стандарту (ДСТУ) Протипожежна техніка. Головки з'єднувальні для пожежного обладнання. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.

Результати науково-дослідної роботи будуть застосовуватись виробниками та споживачами зазначеної продукції, а також органами з оцінки відповідності під час підтвердження її якості, що сприятиме подальшому впровадженню у практичну роботу пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України нових зразків з'єднувальних головок та пожежних рукавів.

Ключові слова: методи випробувань, пожежні з'єднувальні головки, пожежно-рятувальні підрозділи, пожежні рукави, технічні вимоги.

Вступ. На сьогоднішній день в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України використовуються з'єднувальні головки «Богданова» типів ГРН та ГРВ, що призначені для з'єднання напірних, всмоктувальних та напірно-всмоктувальних пожежних рукавів між собою та з пожежним обладнанням. Основні технічні вимоги до з'єднувальних головок та методи контролю їх якості викладені в національному стандарті України ДСТУ 3950-2000 [1], який є застарілим та потребує певних змін та доопрацювань.

Попередній аналіз показав, що на теперішній час відсутній єдиний європейський стандарт на з'єднувальні головки та пожежні рукави. Кожна країна використовує той або інший тип з'єднувальних головок та відповідних пожежних рукавів і має свій національний стандарт.

Теж саме було з'ясовано та підтверджено під час комунікації із практичними пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС України, а саме встановлено, що майже в кожен територіальний підрозділ у вигляді гуманітарної допомоги була передана пожежно-рятувальна техніка від різних країн (Франція, Польща, Італія, США, Великобританія, Німеччина), яка укомплектована пожежними рукавами з різними з'єднувальними головками. Відповідні конструкції з'єднувальних головок суттєво відрізняються та як правило виготовляються виключно під певні діаметри пожежних рукавів, які характерні до застосування країною. Ці з'єднувальні головки та пожежні рукави за технічними характеристиками та конструкцією відрізняються від тих, що експлуатуються пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС України та не відповідають вимогам діючих в Україні національних стандартів.

Також встановлено, що найбільша кількість пожежно-рятувальної техніки, яку отримали в якості гуманітарної допомоги пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України, укомплектована пожежними рукавами із пожежними з'єднувальними головками типу «STORZ», що використовуються принаймні трьома країнами світу, а саме Польщею, Німеччиною та Австралією.

Враховуючи вищевказане, набуває актуальності питання удосконалення нормативної бази, яка стосується пожежних з'єднувальних головок та пожежних рукавів. Це необхідно для реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У звіті [2] наведено результати пошукової науково-дослідної роботи з визначення шля-

хів удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання.

В той же час ця робота не містить досліджень технічних та експлуатаційних характеристик пожежних з'єднувальних головок.

Мета та завдання дослідження. Для сприяння у вирішенні зазначеної проблеми з метою обґрунтування технічних вимог і методів випробувань з'єднувальних головок та пожежних напірних рукавів і розроблення відповідних нормативних документів, в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за замовленням ДСНС України виконується науково-дослідна робота за темою: «Дослідження технічних та експлуатаційних характеристик та методів випробувань з'єднувальних головок та пожежних рукавів» («Характеристики – пожежно - технічне оснащення»).

Об'єктом досліджень є з'єднувальні головки та пожежні рукава як складові пожежно-технічного оснащення. Предметом досліджень є класифікація, характеристики та методи випробувань з'єднувальних головок та пожежних рукавів іноземного виробництва.

В рамках виконання цієї роботи необхідно вивчити питання застосування провідними країнами світу пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів) та на підставі чого розробити новий та внести зміни в деякі чинні національні стандарти України.

Актуальність даної науково-дослідної роботи полягає у тому, що в Україні вдосконалиться нормативна база, яка врегулює виробництво пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів) та оцінювання його якості, що надасть можливість з часом здійснити перехід пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України на новий вид пожежно-технічного оснащення (з'єднувальні головки, пожежні рукави).

Впровадження в Україні нових нормативних документів, які стосуються пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів) сприятиме підвищенню технічного рівня та ефективності застосування пожежно-технічного оснащення пожежно-рятувальними підрозділами під час виконання завдань за призначенням.

Для досягнення поставленої мети в цій публікації необхідно навести інформацію щодо типів та видів пожежних з'єднувальних головок в Україні та за кордоном та визначити основні питання, що підлягатимуть дослідженню в рамках науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно-технічне оснащення».

Інформація щодо типів та видів пожежних з'єднувальних головок в Україні та за кордоном

Пожежна з'єднувальна головка – це арматура, призначена для з'єднання пожежних рукавів між собою, а також приєднання їх до іншого пожежного обладнання або пожежних насосів [3].

Залежно від виду обладнання, з яким вони працюють, пожежні з'єднувальні головки можна поділити на два види (рисунок 1):

– всмоктувальна пожежна з'єднувальна головка – з'єднувальна головка, призначена для з'єднання всмоктувальних та напірно-всмоктувальних рукавів між собою та з іншим пожежним обладнанням;

– напірна пожежна з'єднувальна головка – з'єднувальна головка, призначена для з'єднання напірних рукавів між собою або з іншим пожежним обладнанням.

Залежно від конструкції існують напірні з'єднувальні головки п'яти типів (рисунок 1): рукавна пожежна з'єднувальна головка – ГРН; пожежна головка-заглушка – ГЗН; муфтова пожежна з'єднувальна головка – ГМН; цапкова пожежна з'єднувальна головка – ГЦН; перехідна рукавна пожежна з'єднувальна головка – ГПН.

До всмоктувальних пожежних з'єднувальних головок відносять: рукавну всмоктувальну пожежну з'єднувальну головку – ГРВ; муфтову всмоктувальну пожежну з'єднувальну головку – ГМВ; всмоктувальну пожежну з'єднувальну головку - заглушку – ГЗВ.



Рис. 1. Види та типи вітчизняних з'єднувальних головок

На рисунку 2 наведено загальний вигляд вітчизняних пожежних з'єднувальних головок «Богданова» різних типів.



Рис. 2. Загальний вигляд вітчизняних пожежних з'єднувальних головок «Богданова» різних типів:
 1 – рукавна з'єднувальна головка; 2 – головка заглушка; 3 – муфтова з'єднувальна головка; 4 – цапкова з'єднувальна головка; 5 – перехідна рукавна з'єднувальна головка

Основними виробниками пожежних з'єднувальних головок за кордоном є США та Європейські країни. Найбільш поширеними та популярними є пожежні головки «STORZ».

Головка «STORZ» містить два внутрішні зубці, які добре зачеплюються на внутрішніх скосах. Основною перевагою такого з'єднання є наявність системи внутрішнього розташування кріплення, яка ретельно продумана та створена таким чином, що головка є захищеною від зовнішніх механічних пошкоджень та достатньо зручною у використанні.

На рисунку 3 наведено пожежні з'єднувальні головки «STORZ» різних типів

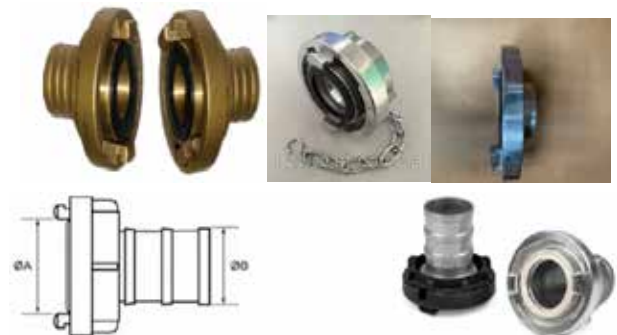


Рис. 3. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок «STORZ» різних типів

На другому місці за популярністю знаходиться з'єднувальна головка «SMS» виробництва Швеції. Ця головка є схожою на головку «STORZ», але має відмінність – наявність невеликого важілю на корпусі головки, за допомогою якого здійснюється її від'єднання головки.

На рисунку 4 наведено пожежні з'єднувальні головки «SMS»

Одночасно із головками «STORZ» підрозділами США використовуються з'єднувальні головки на різьбовому з'єднанні типу «National Standard Thread» (NST), що з точки зору оперативності не є раціональним.

Використання різьбового з'єднання поділяє пожежний рукав на вхідний та вихідний патрубки. В даному випадку необхідно розрізнити, де початок, а де кінець рукава.



Рис. 4. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок «SMS»

Хоча, якщо уважно розглядати роботу пожежних підрозділів США, то можна побачити, що на їх автомобілях рукави вже заздалегіть з'єднані в лінії.

В США та Італії також застосовуються пожежні з'єднувальні головки зі з'єднаннями різьбового типу. На рисунку 5 показано пожежні з'єднувальні головки з різьбовим з'єднанням типу «NH (National Hose)» виробництва США. На рисунку 6 показано пожежні з'єднувальні головки з різьбовим з'єднанням типу «UNI» виробництва Італії.



Рис. 5. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок з різьбовим з'єднанням типу «NH (National Hose)» виробництва США

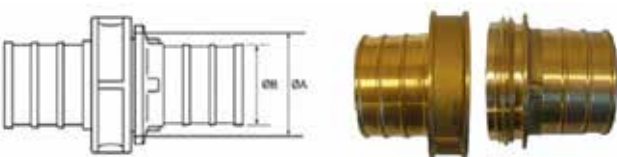


Рис. 6. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок з різьбовим з'єднанням типу «UNI» виробництва Італії

На рисунку 7 представлено загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Norlas» виробництва Норвегії. На рисунку 8 представлено загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Barcelona» виробництва Іспанії.



Рис. 7. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Norlas» виробництва Норвегії



Рис. 8. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Barcelona» виробництва Іспанії

У Франції та Бельгії використовуються пожежні з'єднувальні головки типу «Guillemin», які представлено на рисунку 9.



Рис. 9. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Guillemin» (Франція, Бельгія)

У сучасному світі запропоновано ще один варіант пожежних головок – швидкознімні з'єднувальні головки, які використовуються для з'єднання рукавів, для під'єднання рукавів до гідрантів, насосів та іншого пожежно-технічного оснащення, в основу яких покладено принцип штекерного з'єднання. Такі головки можна з'єднувати, не прикладаючи великих зусиль.

Прикладами таких виробів є швидкознімна головка типу «Machino» виробництва Японії або швидкознімна головка типу «Instantaneous (John Morris)» виробництва Великобританії. Крім того, в США, Канаді та Австралії використовуються швидкознімні головки типу «Camlock».

Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Machino» виробництва Японії наведено на рисунку 10.

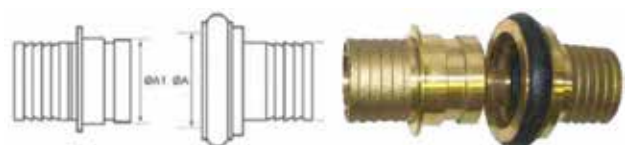


Рис. 10. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Machino» (Японія)

На рисунку 11 представлено загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Instantaneous (John Morris)» виробництва Великобританії.



Рис. 11. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок «Instantaneous (John Morris)» виробництва Великобританії

На рисунку 12 представлено загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Camlock», які використовуються в США, Канаді та Австралії

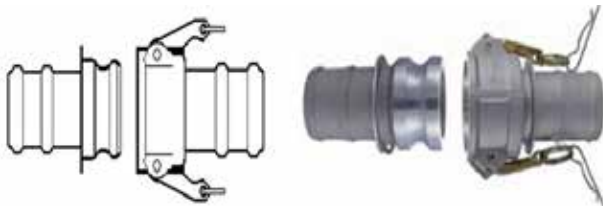


Рис. 12. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Camlock», які використовуються в США, Канаді та Австралії

Окрім швидкознімних в Японії застосовуються також з'єднувальні головки типу «Nakajima», загальний вигляд яких показано на рисунку 13.



Рис. 13. Загальний вигляд пожежних з'єднувальних головок типу «Nakajima», які використовуються в Японії

Таким чином, наведено загальну інформацію стосовно видів пожежних з'єднувальних головок, які застосовуються пожежно-рятувальними підрозділами України та провідних країн світу. Вказана інформація буде врахована під час проведення досліджень технічних та експлуатацій-

них характеристик пожежних з'єднувальних головок.

Аналіз основних питань, що підлягають дослідженню в рамках науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно-технічне оснащення»

Для досягнення мети науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно-технічне оснащення» дослідженню підлягатимуть такі питання, а саме:

– вивчення основних технічних характеристик та методів випробувань пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів), що використовуються провідними країнами світу;

– аналіз національних стандартів та нормативних документів провідних країн світу, які регламентують вимоги до пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів);

– розроблення змін та проекту національного стандарту України, що встановлюватиме технічні вимоги та методи випробувань до пожежного обладнання (з'єднувальних головок, пожежних рукавів), що розширить лінійку моделей з'єднувальних головок та пожежних рукавів, які використовуються з ними.

За результатами виконання науково-дослідної роботи «Характеристики – пожежно-технічне оснащення» буде розроблено:

– зміну № 1 до національного стандарту України ДСТУ 9069:2021 [4];

– проект національного стандарту (ДСТУ) *Протипожежна техніка. Головки з'єднувальні для пожежного обладнання. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.*

Результати науково-дослідної роботи будуть застосовуватись виробниками та споживачами зазначеної продукції, а також органами з оцінки відповідності під час підтвердження її якості, що сприятиме подальшому впровадженню у практичну роботу пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України нових зразків з'єднувальних головок та пожежних рукавів.

Висновки

1. Проаналізовано інформацію стосовно видів пожежних з'єднувальних головок, які застосовуються пожежно-рятувальними підрозділами України та провідних країн світу.

2. Визначено основні питання, які підлягатимуть дослідженню в рамках науково-дослідної роботи стосовно дослідження технічних та експлуатаційних характеристик та методів випробувань пожежних з'єднувальних головок та пожежних рукавів.

Список літератури:

1. ДСТУ 3950-2000. Техніка пожежна. Головки з'єднувальні для пожежного обладнання. Загальні технічні умови. – Введ. 2001-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 33 с.
2. Провести пошукові дослідження та визначити шляхи удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання: звіт про НДР (заключний). / кер. О.П. Борис. Київ: УкрНДІЦЗ, 2016. 784 с
3. Довідник пожежного - рятувальника : П.А. Ковальов, Р.В. Пономаренко, П.Ю. Бородич. – Х.: 2017. – 114 с.
4. ДСТУ 9069:2021. Протипожежна техніка. Рукави пожежні плоскоскладані для пожежно-рятувальних автомобілів. Загальні вимоги та методи випробування. – Введ. 2021-08-01. – К.: ДП «УкрНДІЦЗ», 2021. – 27 с.

**Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Osadchuk M.V., Yakimenko M.L.,
Svirskiy V.V., Benedyuk V.S. CONCERNING THE NEED TO RESEARCH THE TECHNICAL
AND OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF FIRE CONNECTING HEADS**

This publication presents the relevance of the issue of improving the regulatory framework, which concerns fire connecting heads and fire hoses, which is necessary for the implementation of the requirements of the Technical Regulations of construction products, buildings and structures. Attention is focused on the fact that there is currently no single European standard for connecting heads and fire hoses. Each country uses one or another type of connection heads and corresponding fire hoses and has its own national standard. It is noted that the largest amount of fire-rescue equipment received as humanitarian aid by the fire-rescue units of the State Emergency Service of Ukraine is equipped with fire hoses with fire connecting heads of the "STORZ" type, which are used by at least three countries of the world, namely Poland, Germany and Australia.

Information on the results of previously conducted similar scientific studies is presented and their shortcomings are revealed.

It is noted that the introduction of new regulatory documents in Ukraine that relate to fire equipment (connecting heads, fire hoses) will contribute to increasing the technical level and efficiency of the use of fire-technical equipment by fire-rescue units during the performance of assigned tasks.

Information is given on the types and types of fire connecting heads in Ukraine and abroad. The classification of domestic firefighting connecting heads of the Bohdanov type is presented. An overview of fire hydrants produced by the leading countries of the world was conducted, in particular of the type "STORZ", "SMS", "National Standard Thread" (NST), "NH (National Hose)", "UNI", "Norlas", "Barcelona", "Guillemin", "Machino", "Instantaneous (John Morris)", "Camlock", "Nakajima".

The main issues to be investigated as part of the research work "Characteristics - fire-fighting and technical equipment" have been determined. It is indicated that, based on the results of the research work "Characteristics - fire-fighting equipment", amendment No. 1 to the national standard of Ukraine 9069:2021 and the draft of the national standard Fire-fighting equipment will be developed. Connecting heads for fire equipment. General technical requirements and test methods.

The results of the research work will be used by manufacturers and consumers of the specified products, as well as conformity assessment bodies during the confirmation of its quality, which will contribute to the further implementation of new models of connecting heads and fire hoses in the practical work of fire and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine.

Key words: *fire and rescue units, fire connecting heads, fire hoses, technical requirements, test methods.*

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.4:332.6

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/42>

Лю Чан

Інститут електроніки та інженерії (Китай)

Мамонов К.А.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

Коваленко Л.Б.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧИННИКІВ ФОРМУВАННЯ КОНТИНГЕНТУ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ НА РОЗВИТОК НАУКОВОЇ СФЕРИ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ¹

Трансформаційні процеси, що відбуваються в різних сферах суспільного життя, потребують переосмислення підходів до формування та реалізації стратегічних контурів його функціонування. Представлені процеси визначаються неоднозначністю й поглибленням диспропорцій. У цьому контексті важливого значення набуває застосування наукових розробок і перманентне їх впровадження в практичну діяльність.

Наукова сфера визначається інноваційністю підходів, де використовується діяльність кваліфікованого персоналу, що відповідає сучасним умовам господарювання. Тому, необхідною умовою розвитку наукової сфери є відповідна підготовка спеціалістів, особливо на рівні формування здобувачів вищої освіти.

Визначено високий рівень залежності напрямів розвитку наукової сфери від кількості студентів вищих навчальних закладів на регіональному рівні. Причому більшість інших факторів негативно впливають на ефективність функціонування наукової сфери.

У результаті прогнозування показника визначено, що для досягнення помірного, достатнього або високого рівня за регіонами України необхідно забезпечити зміни траєкторії кількості студентів вищих навчальних закладів, підвищення значення та авторитету науки, здійснення навчання, формування напрямів проведення дослідження, застосування сучасних технологій, формування інформаційної політики зростання значення науки і освіти. Крім того, особливого значення має створення підґрунтя для розвитку освітніх центрів, що враховують сучасні тенденції розвитку наукових досліджень.

Ключові слова: наукова сфера, чисельність студентів, вищі навчальні заклади, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Трансформаційні процеси, що відбуваються в різних сферах суспільного життя, потребують переосмислення підходів до формування та реалізації стратегічних контурів його функціонування. Представлені процеси визначаються неоднозначністю й поглибленням диспропорцій. У цьому контексті важливого значення набуває застосування наукових

розробок і перманентне їх впровадження в практичну діяльність.

Наукова сфера визначається інноваційністю підходів, де використовується діяльність кваліфікованого персоналу, що відповідає сучасним умовам господарювання. Тому, необхідною умовою розвитку наукової сфери є відповідна підготовка спеціалістів, особливо на рівні формування здобувачів вищої освіти.

Таким чином, враховуючи представлені тенденції, важливість освітньої та наукової сфери для суспільного життя, тема дослідження є актуальною, а її розробка має своєчасний характер.

¹ This article are supported by the Guangdong Philosophy and Social Sciences «13th Five Year Plan» 2020 Project (GD20XYJ10), by the project of Enhancing School with Innovation of Guangdong Ocean University's (230420023 and 120701) and by the program for scientific research start-up funds of Guangdong Ocean University (R20067), and by the Humanities and Social Sciences Research Project of Guangdong Ocean University.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комплекс завдань та проблемних аспектів щодо забезпечення розвитку освітньої системи розглянуті у роботах [1–4].

Дослідження впливу чинників та застосування інструментів математичного моделювання представлені у розробках [5–9].

У існуючих наукових дослідження визначені напрями та особливості функціонування освітньої системи, виокремлені інструменти математичного моделювання. Поряд з цим, на недостатньому рівні проведено дослідження впливу чинників розвитку науки на чисельність студентів вищих навчальних закладів на регіональному рівні.

Мета і завдання статті. Метою дослідження є визначення впливу чисельності студентів вищих навчальних закладів на регіональному рівні на чинник розвитку наукової сфери. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

– характеристика математичного інструментарію для дослідження впливу чинників розвитку науки на чисельність студентів вищих навчальних закладів на регіональному рівні;

– математичне моделювання впливу чисельності студентів вищих навчальних закладів на показник розвитку наукової сфери.

Виклад основного матеріалу. Математичне моделювання впливу чисельності студентів навчальних закладів на показник розвитку наукової сфери здійснюється на основі запропонованих напрямів:

1. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників.

2. Визначення впливу чинників із застосуванням методів математичного моделювання.

3. Розробка математичних моделей впливу чинників.

4. Визначення показників достовірності математичних моделей.

5. Інтерпретація отриманих результатів.

Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників здійснюється на основі даних отриманих на основі даних Державного комітету статистики України.

Визначення впливу чинників здійснюється із застосуванням методів математичного моделювання, які реалізуються на основі кореляційно-регресійного аналізу.

Для дослідження тісноти зв'язку між чинниками проведено кореляційно-регресивний аналіз за наступною схемою:

– на підставі обчислених узагальнених оцінок проводиться первинний аналіз передбачуваної

залежності. Наочна ілюстрація наявності залежності інтерпретується за допомогою точкових графіків;

– виключення з вибірки дивіаційних даних, за їх наявності;

– проведення регресійного аналізу;

– проведення кореляційного аналізу;

– перевірка відповідності моделі поставленій задачі.

На підставі первинного аналізу можна зробити висновок, що з кореляційно-регресійної моделі виключаються деякі дані, оскільки існують дивіаційні відхилення від загальної тенденції змін.

Рівняння лінійної регресії представлено у наступному вигляді:

$$y_x = b_{yx}x + b_0, \quad (1)$$

де b_{yx} та b_0 знаходяться за умови, що сума квадратів відхилень емпіричних групових середніх від значень, обчислених за рівнянням регресії (4.1) була мінімальною, тобто:

$$\sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \sum_{j=1}^k (b_{yx}x_j + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \quad (2)$$

З розв'язання задачі на екстремум функції коефіцієнти рівняння (2) можуть бути записані як:

$$b_{yx} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \quad (3)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_{yx}\bar{x}; \quad (4)$$

де:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j; \quad \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j; \quad \overline{xy} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j y_j; \quad \overline{x^2} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^2. \quad (5)$$

Для виявлення зв'язку (та його напрямку) між змінними введемо коефіцієнт кореляції:

$$R_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}. \quad (6)$$

Результати числового експерименту по знаходженню параметрів регресії для показника розвитку науки на регіональному рівні $I_{bc}^{(3)}$ для всіх значень вагових коефіцієнтів з визначенням ступеня зв'язку між результуючим показником та його складовими, представлені в табл. 1.

Аналіз результатів числового експерименту свідчить про високий зв'язок між компонентами при всіх множинах значень вагових коефіцієнтів, що вказує про достовірність побудованої математичної моделі.

За величиною параметрів регресійної лінії встановлено, що найбільшої зміни інтегральний показник набуває за рахунок зміни кількості студентів.

Коефіцієнти b_{yx_i} рівняння множинної регресії показують, на яку величину зміниться показник розвитку науки на регіональному рівні при зміні x_i чинника кількості студентів вищих навчальних закладів. За допомогою рівняння регресії здійснено прогнозування величини інтегрального показника I_{bc} інформаційного забезпечення багатопільового кадастру нерухомості на регіональному рівні за заданими змінами величини просторових, містобудівних, екологічних та інвестиційних показників.

Зокрема, при збільшенні величини кількості студентів вищих навчальних закладів на 0,5, 0,8, 1,0 отримаємо значення показника розвитку науки, які представлені у табл. 2. Зауважимо, що за запропонованим алгоритмом проводиться прогнозування за будь-якою зміною показників в кожному регіоні окремо.

Висновки. Таким чином, визначено високий рівень залежності напрямів розвитку наукової сфери від кількості студентів вищих навчальних закладів на регіональному рівні. Причому більшість інших факторів негативно впливають на ефективність функціонування наукової сфери.

Таблиця 1

Кореляційно-регресійний аналіз показника розвитку науки на регіональному рівні $I_{bc}^{(3)}$, відн. од. (розроблено авторами)

Назва показника	Результати оцінки значення показника
$\{k_{vbc1}\}^{(1)}$	
b_0	-1,17897
b_{yx_i}	0,183
R_{xy}	0,774
$\{k_{vbc1}\}^{(2)}$	
b_0	-1,50542
b_{yx_i}	0,164
R_{xy}	0,672
$\{k_{vbc1}\}^{(3)}$	
b_0	-1,3474
b_{yx_i}	0,154
R_{xy}	0,792
$\{k_{vbc1}\}^{(4)}$	
b_0	-1,55332
b_{yx_i}	0,143
R_{xy}	0,714

Таблиця 2

Прогнозні значення показника розвитку науки на регіональному рівні I_{bc} із застосуванням значень вагових коефіцієнтів, відн. од. (розроблено автором)

Регіони	$I_{bc, \{k_{vbc1}\}^{(1)}}$	$I_{bc, \{k_{vbc1}\}^{(2)}}$	$I_{bc, \{k_{vbc1}\}^{(3)}}$	$I_{bc, \{k_{vbc1}\}^{(4)}}$
Вінницький	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Волинський	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Дніпропетровський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521
Донецький	0,648447	0,890165	0,741081	0,864979
Житомирський	0,646131	0,876514	0,738432	0,859760
Закарпатський	0,589697	0,808346	0,673938	0,785951
Запорізький	0,545322	0,754413	0,623223	0,728515
Івано-Франківський	0,594189	0,806718	0,679070	0,790682
Київський	0,517528	0,711230	0,591458	0,690144
Кіровоградський	0,729778	0,989538	0,834030	0,971330
Луганський	0,563640	0,776461	0,644158	0,752318
Львівський	0,640368	0,876503	0,731846	0,853843
Миколаївський	0,624707	0,848707	0,713948	0,831327
Одеський	0,645064	0,879330	0,737214	0,859006
Полтавський	0,665302	0,903945	0,760343	0,885566
Рівненський	0,656448	0,900020	0,750224	0,875474
Сумський	0,468622	0,644288	0,535565	0,624762
Тернопільський	0,574914	0,798116	0,657042	0,768441
Харківський	0,756192	0,999914	0,864217	0,999183
Херсонський	0,609378	0,829663	0,696429	0,811493
Хмельницький	0,653179	0,889434	0,746488	0,869864
Черкаський	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Чернівецький	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Чернігівський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521

У результаті прогнозування показника визначено, що для досягнення помірного, достатнього або високого рівня за регіонами України необхідно забезпечити зміни траєкторії кількості студентів вищих навчальних закладів, підвищення значення та авторитету науки, здійснення навчання, формування

напрямів проведення дослідження, застосування сучасних технологій, формування інформаційної політики зростання значення науки і освіти. Крім того, особливого значення має створення підґрунтя для розвитку освітніх центрів, що враховують сучасні тенденції розвитку наукових досліджень.

Список літератури:

1. The European Qualifications Framework for Lifelong Learning (EQF). European Communities, 2008. URL: www.ond.vlaanderen.be/hogeronderwijs/bologna/news/EQF_EN.pdf.
2. Луговий В.І., Таланова Ж.В. Міжнародна стандартна класифікація освіти: галузі освіти та підготовки (засадничий аналіз та алгоритм застосування). *Педагогіка і психологія. Вісн. НАПН України*. 2014. № 3. С. 5–17.
3. Рашкевич Ю.М. Болонський процес та нова парадигма вищої освіти: монографія. Львів: Видво Львівської політехніки, 2014. 168 с.
4. Таланова Ж.В. Докторська підготовка у світі та Україні: монографія. К.: Міленіум, 2010. 476 с.
5. Гусак Л.П., Гулівата І.О. Математичне моделювання як засіб здійснення професійної спрямованості навчання математики на економічних спеціальностях ВНЗ. *Науковий вісник Ужгородського університету. Сер. Педагогіка. Соціальна робота. Зб. наук. праць*. 2016. Вип. 1(38). С. 105–107.
6. Дутка Г.Я. Фундаменталізація математичної освіти майбутніх економістів: монографія. Київ: УБС НБУ, 2008. 478 с.
7. Нічуговська Л.І. Адаптивна концепція математичної освіти студентів ВНЗ і конкурентоспроможність випускників: методологія, теорія, практика: монографія. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. 153 с.
8. Ткач Ю.М. Професійна спрямованість навчання вищої математики у системі економічної освіти. *Дидактика математики: проблеми і дослідження*. 2011. Вип. 35. С. 93–97.
9. Фомкіна О.Г. Удосконалення методики навчання математики в економічному вузі: шляхи, форми і засоби, перспективи: монографія. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. 122 с.

Liu Chang, Mamonov K.A., Kovalenko L.B. STUDY OF THE INFLUENCE OF FACTORS FORMING THE CONTINGENT OF STUDENTS OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS ON THE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC SPHERE AT THE REGIONAL LEVEL

Transformational processes taking place in various spheres of social life require a rethinking of approaches to the formation and implementation of strategic contours of its functioning. The presented processes are determined by ambiguity and deepening disparities. In this context, the application of scientific developments and their permanent implementation in practical activities becomes important.

The scientific field is determined by the innovativeness of approaches, where the activities of qualified personnel are used, which correspond to modern business conditions. Therefore, a necessary condition for the development of the scientific sphere is the appropriate training of specialists, especially at the level of formation of higher education seekers.

A high level of dependence of the directions of the development of the scientific field on the number of students of higher educational institutions at the regional level was determined. Moreover, most other factors have a negative effect on the effectiveness of the functioning of the scientific sphere.

As a result of the forecasting of the indicator, it was determined that in order to achieve a moderate, sufficient or high level in the regions of Ukraine, it is necessary to ensure changes in the trajectory of the number of students of higher educational institutions, increase the importance and authority of science, the implementation of education, the formation of research directions, the use of modern technologies, the formation of an information policy of growth the importance of science and education. In addition, it is of particular importance to create a foundation for the development of educational centers that take into account modern trends in the development of scientific research.

Key words: scientific field, number of students, higher educational institutions, mathematical modeling.

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.384

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/43>

М'яновський В.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Корнєв В.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СХЕМА ІМПУЛЬСНОГО НЕЙРОНА З ВИХІДНИМ БУФЕРОМ НА ДЗЕРКАЛАХ СТРУМУ

Розглянуто сучасні рішення для проектування штучного нейрона в інтегральних мікросхемах. Проаналізовано переваги та недоліки всіх розглянутих схемотехнічних рішень реалізації штучного нейрона. Запропоновано удосконалене принципове рішення схеми штучного нейрона на струмових дзеркалах. Це рішення можливо реалізувати в стандартній CMOS технології виготовлення інтегральних напівпровідникових схем.

Було проаналізовано дві добре відомі реалізації штучного нейрона в ІС. Одним із них є адиабатичний нейрон, і його головною особливістю є використання джерела змінної напруги для керування деревом синапсису та вихідним буфером, який складається з компаратора із засувкою, тому схема споживатиме менше енергії. Іншою особливістю цього нейрона є використання мемконденсаторів як ваг для вхідних сигналів. Мемконденсатори утворюють ємнісний суматор, який сумує весь зважений сигнал в один.

Другим рішенням є нейрон LIF, який представляє вхідні та вихідні сигнали як стрибки напруги. Така форма сигналу для нейронів покращує енергоефективність загальної нейроморфної мережі за рахунок меншого енергоспоживання. Також синаптичний вхід такого нейрона складається тільки з одного конденсатора, а ваги представлені як частоти вхідних сигналів. Таке рішення спрощує загальний дизайн нейронної мережі, оскільки воно не включає жодних додаткових компонентів, таких як конденсатори чи резистори.

У результаті аналізу існуючих рішень було вирішено вдосконалити схему нейрона LIF, оскільки вона має кращу енергетичну ефективність порівняно з адиабатичним нейроном і тому, що вона має простіший синаптичний вхід. Як удосконалення пропонується використовувати поточні дзеркала замість звичайного CMOS інвертора як вихідний буфер. Струмові дзеркала дозволять сумувати напруги на вхідному ємнісному синапсису інших нейронів, що є критичним для правильної роботи всієї мережі.

Ключові слова: штучний нейрон, інтегральні схеми (ІС), КМОП технологія, струмове дзеркало, адиабатичний нейрон, LIF нейрон.

Вступ. Нейронні мережі – тип моделі штучного інтелекту, натхненний структурою та функціями людського мозку, стають все більш важливими в багатьох сферах, від комп'ютерного зору та розпізнавання мови до автономних транспортних засобів і фінансового аналізу. Одним із ключових факторів, який сприяв широкому впровадженню нейронних мереж, є наявність інтегральних схем (ІС), які можуть ефективно реалізовувати інтенсивні обчислювальні операції, необхідні нейронним мережам.

Нейронні мережі складаються з шарів взаємопов'язаних «нейронів», кожен з яких виконує прості обчислення над своїми даними

на вході і передає результат на наступний рівень [1]. Нейрони зазвичай організовані в шари, причому кожен шар відповідає за виявлення дедалі складніших характеристик у вхідних даних. Ваги зв'язків між нейронами змінюються нейронною мережею на прикладах під час фази навчання, що дозволяє мережі узагальнювати нові вхідні дані.

Швидкість обчислень та складність виготовлення штучних нейронів може значно відрізнитися залежно від конкретної реалізації та використовуваної базової технології схеми. Наприклад, якщо штучний нейрон створено за допомогою резисторів і конденсаторів, його продуктивність

може бути обмежена такими факторами, як точність значень резисторів і стабільність конденсаторів у часі та температурі. Ці варіації можуть призвести до відмінностей між бажаними та дійсними показниками роботи нейрона.

Подібним чином, якщо штучний нейрон реалізований на FPGA, на його продуктивність може вплинути кількість доступних логічних елементів і ресурси маршрутизації на FPGA. Максимальна робоча швидкість FPGA також може обмежувати швидкість обчислень нейрона, особливо для програм реального часу, де потрібна висока швидкість обробки [2, с. 20].

У випадку мемристорів, які є типом елемента схеми, який може демонструвати зміни опору в залежності від останньої прикладеної напруги, швидкодія штучного нейрона може залежати від точності та мінливості поведінки мемристора. Крім того, використання мемристорів може внести нелінійність і шум у синапсі нейрона, що може вплинути на точність обчислень нейрона [3].

Саме тому, розробка штучного нейрона, який матиме більшу швидкодію, робота якого менше залежатиме від зовнішніх чинників (температура) та який не є складним у реалізації є пріоритетною та актуальною задачею на сьогоднішній день.

1. Постановка задачі

Задача полягає у розробці схематехнічного рішення для штучного нейрона який матиме наступні характеристики:

- Матиме високу енергоефективність;
- Може бути реалізований з використанням стандартної КМОП технології з виготовлення ІС;
- Складатиметься лише зі стандартних, простих елементів: резистори, транзистори, конденсатори;

2. Аналіз наявних рішень

2.1. Адіабатичний ємнісний штучний нейрон. У роботі запропоновано адіабатичний ємнісний штучний нейрон із пороговим виявленням на основі RRAM розроблений як енергоефективний і масштабований нейрон для використання в нейроморфних обчислювальних системах [4, с. 5]. Нейрон створений для імітації поведінки біологічних нейронів, які передають і обробляють інформацію за допомогою електричних сигналів.

У запропонованій конструкції вхідні сигнали приймаються масивом ємностей, який заряджається і розряджається у відповідь на вхідні сигнали (рис. 1) [5, р. 1; с. 2]. Зарядка та розрядка ємнісного масиву розроблені як адіабатичні, тобто енергія зберігається під час процесу для мінімізації втрат енергії.

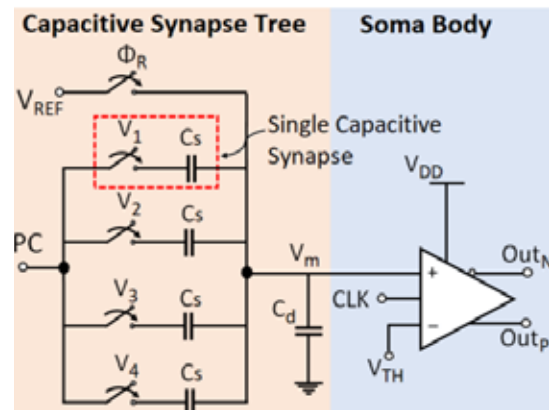


Рис. 1. Спрощена схема адіабатичного ємнісного штучного нейрона

Вхідним сигналом слугує пульс від генератора синусоїдального сигналу PC, який згодом розподіляється по синаптичним мемконденсаторам C_s . Сигнал з PC подається у тому випадку, якщо було замкнено відповідний ключ V_i (рис. 2) [6, р. 6; с. 4]. Вагами для вхідних сигналів є значення ємностей синаптичних конденсаторів. Самі ж синаптичні конденсатори разом з обмежувальним конденсатором C_d утворюють ємнісний суматор, таким чином дана структура виконує суму зважених вхідних сигналів.

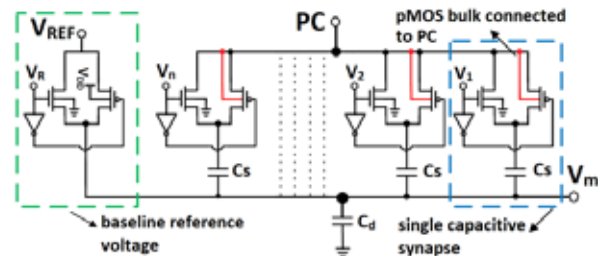


Рис. 2. Схема ключів, які подають пульс з генератора синусоїди на синаптичні конденсатори

Отримана сума подається до входу компаратора з зацілкою, який слугує тілом нейрона. Особливістю даної схеми компаратора (рис. 3) [7, р. 7; с. 5] є її енергонезалежність, що означає, що нейрон може зберігати свій вихідний стан навіть при вимкненні живлення. Живлення на компаратор подається лише тоді, коли присутні імпульси з генератора синусоїдального сигналу. Ця властивість особливо корисна для нейроморфних обчислювальних програм, які потребують низького енергоспоживання та енергонезалежної пам'яті. Даний компаратор реалізує стандартну порогову функцію активації нейрона – на виході нейрона присутній дискретний сигнал з двома можливими станами: логічний «1» чи логічний «0».

Відповідно логічний «1» досягається лише тоді, коли сума зважених вхідних сигналів досягла деякого порогового значення V_{TH} .

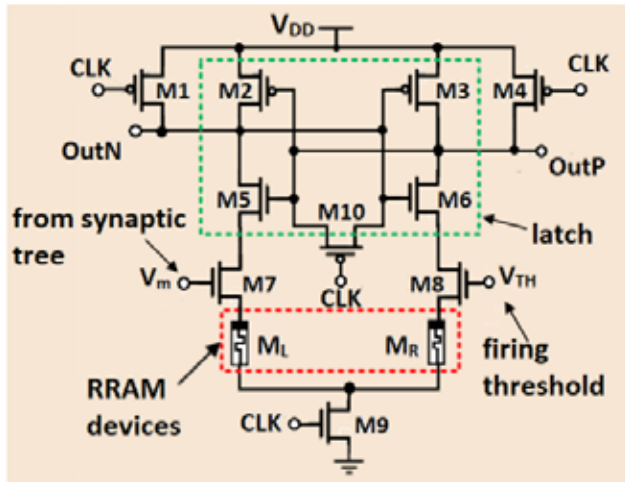


Рис. 3. Схема компаратора з защілкою

Генератором синусоїдального сигналу, який живить компаратор та синаптичне дерево нейрона є LC контур, зображений на рисунку 4 [8, р. 3; с. 3].

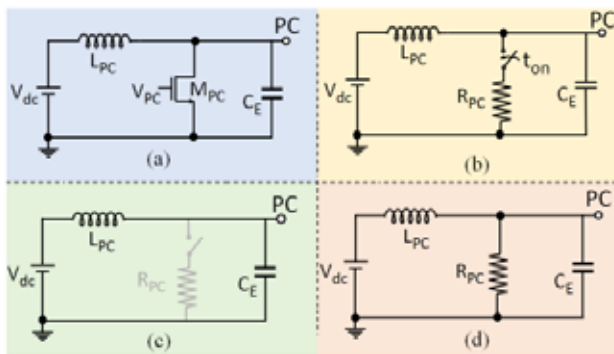


Рис. 4. Однофазний резонансний тактовий генератор потужності з одним індуктором (L_{PC}), обхідний перемикач pMOS (M_{PC}) і вирівнюючий конденсатор (C_E) (а). Еквівалентна модель RLC з ідеальним перемикачем і опором увімкнення pMOS (R_{PC}) (б). Коли транзистор (M_{PC}) вимкнено, схема є чистим LC-генератором (за винятком паразити) (с). Коли транзистор (M_{PC}) увімкнено, схема розкладається на RLC і розсіює енергію через (R_{PC}) (д)

Транзистор M_{PC} необхідний для підтримання сталого значення амплітуди сигналу, аби сигнал не затухав. Транзистор замикає індуктивність на землю з частотою рівною до частоти власних коливань контура, тим самим змушуючи індуктивність запасатися енергією, яку згодом поверне у коливальний контур, таким чином досягається збереження форми сигналу.

Також слід звернути увагу, що при завершенні всіх обчислень у нейроні, значення просумованої напруги V_m на конденсаторі C_d зкидається

до початкового значення V_{REF} , як показано на рис. 1 та 2. Результати роботи даного нейрона проілюстровані на рис. 5 [9, р. 11; с. 7].

Основними перевагами даного нейрона є його енергоефективність і масштабованість, що робить його придатним для використання у великомасштабних нейроморфних обчислювальних системах. Крім того, схема виявлення порогового значення на основі RRAM пропонує енергонезалежний метод виявлення порогового значення з низьким енергоспоживанням.

Однак запропонований нейрон також має деякі обмеження. Наприклад, схема порогового виявлення на основі RRAM може бути чутливою до проблем із шумом і надійністю, що може вплинути на точність і стабільність нейрона. Крім того, запропонований нейрон може потребувати більш складної схеми, яка включає у себе генератор тактової частоти на основі LC контуру та компаратор напруги, порівняно з традиційними нейронами, що може збільшити складність загальної нейроморфної системи.

2.2. Імпульсний нейрон. Штучний імпульсний нейрон розглянутий у роботі [10], працює, імітуючи поведінку біологічних нейронів. Він отримує вхідні дані від інших нейронів, обробляє їх і генерує вихідні дані у вигляді серії електричних імпульсів або «спайків».

Даний нейрон складається з кількох компонентів: «протікаючий» інтегратор, детектор порогу зі скиданням та вихідний буфер (рис. 6) [11, р. 1; с. 2]. Таку структуру ще називають LIF – Leaky Integrator and Fire.

«Протікаючий» інтегратор як вже відомо з назви інтегрує, тобто сумує, вхідні імпульси, що подаються до нього. Опір у даному випадку слугує у якості витoku, через який розряджається ємність. Вигляд вихідного сигналу витікаючого інтегратора показано на рисунку 2.7.

Детектор порогу (жовтий блок на рис. 6) визначає чи достатньо великим є сигнал на інтеграторі, щоб згенерувати імпульс на своєму виході, після чого інтегратор скидає значення сигналу на інтеграторі у початковий стан. На спрощеній схемі, що наведена на рис. 6, даний детектор представлений у вигляді операційного підсилювача, який порівнює напругу з інтегратора з деякою пороговою, після чого при досягненні інтегратором порогової напруги скидає сигнал на інтеграторі. Однак, ключовою особливістю даного нейрона є те, що схема детектора порогу реалізована за допомогою тиристора. Тиристор є чотирьох шаровою напівпровідниковою структурою, яка призначена для керування великими струмами прикладаючи малу напругу на окремому контакті, який називається затвором. Структура тиристора наведена на рис. 8 [12, р. 2; с. 3].

З ВАХ тиристора видно, що при досягненні певної порогової напруги струм який протікає

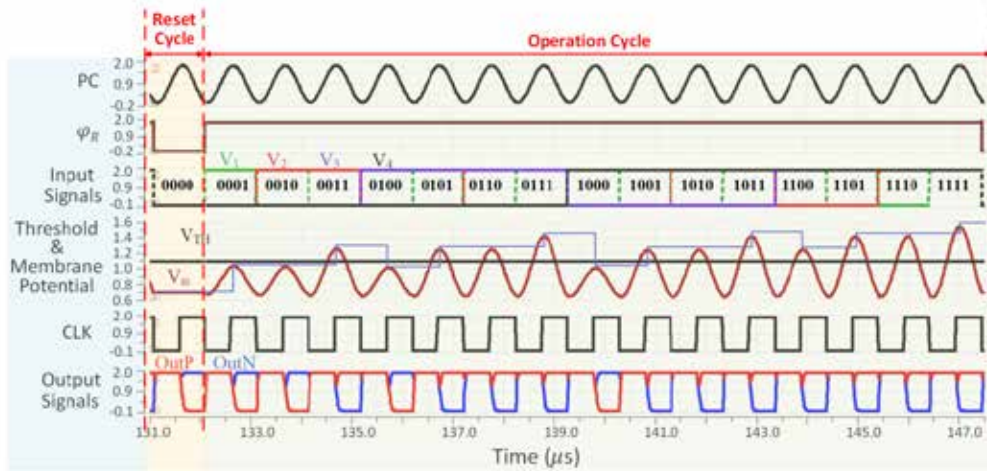


Рис. 5. Результати симуляції роботи штучного адіабатичного Нейрона

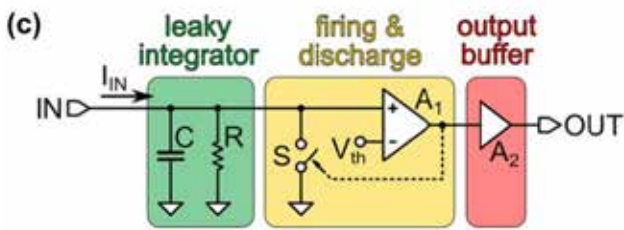


Рис. 6. Спрощена схема імпульсного нейрона

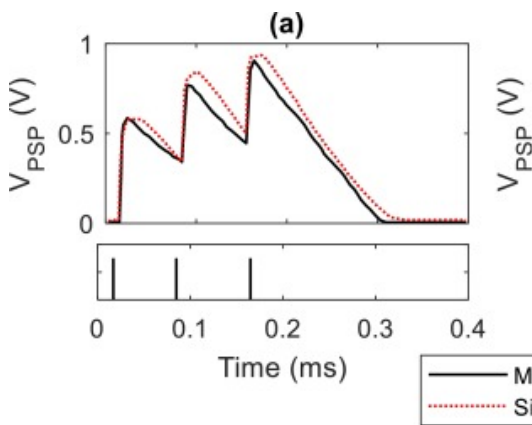


Рис. 7. Вихідний сигнал протікаючого інтегратора, знизу показано серію вхідних імпульсів, що надходять до інтегратора

через тиристор починає стрімко зростати, тобто відбувається та ж сама детекція порогової напруги, що і при застосуванні компаратора, як показано на рис. 6. Схема імпульсного нейрона з використанням тиристора для генерації імпульсу показана на рис. 9 [13, р. 3; с. 4].

Головним недоліком використання тиристора у якості генератора імпульсу є те, що його чотирьох шарову структуру дуже складно реалізувати використовуючи стандартні технології для створення КМОП структур. Через це було запропоновано

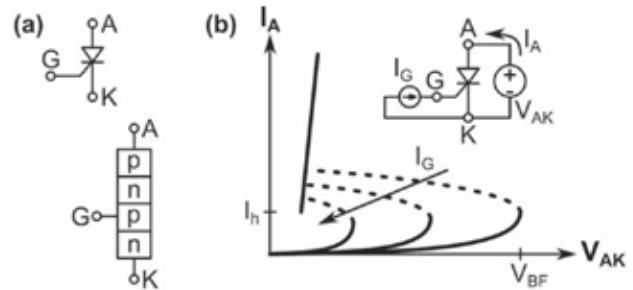


Рис. 8. Структура тиристора (а), ВАХ тиристора (б)

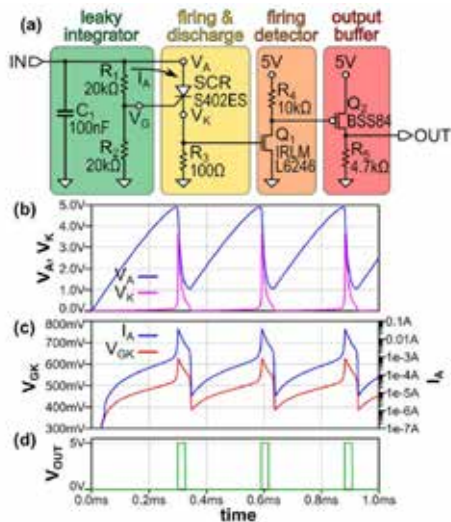


Рис. 9. Схема імпульсного нейрона з використанням тиристора (а), Графіки напруг на інтеграторі та тиристорі (б), Графік струму тиристора та напруги між затвором та катодом (с), Графік сигналу на виході нейрона (д)

створити схему на стандартних транзисторах, яка б імітувала поведінку тиристора. Запропоновані схеми показані на рис. 10 [14, р. 5; с. 5].

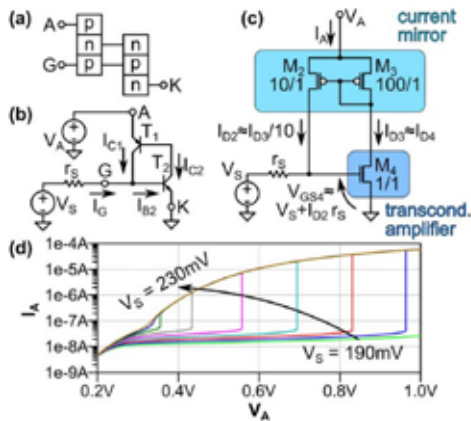


Рис. 10. Представлення еквівалентної схеми тиристора у вигляді двох біполярних транзисторів (а), (b),
Схема тиристора, реалізована на МОП транзисторах (с),
Результати симуляції еквівалентної схеми на МОП транзисторах (d)

На рис. 10 (b) показано еквівалентну схему тиристора на основі біполярних транзисторів. Як тільки напруга на базі транзистора T2 досягає необхідного рівня для відкриття р-п переходу база-емітер, транзистор T2 відкривається, і з бази транзистора T1 теж починає протікати струм. Струм бази транзистора T1 є струмом колектора T2, даний струм підсилюється транзистором T1, і витікає з його колектора, де його частка втікає в базу T2. Таким чином маємо позитивний зворотній зв'язок, де струм колектора T1 буде підсилюватися до тих пір, поки він не зрівняється зі струмом колектора T2. У даному випадку дану схему можна розглядати як струмове дзеркало, яке можна реалізувати на МОП транзисторах (рис. 10 (c)).

Схема на МОП транзисторах працює аналогічно до попередньої на біполярних транзисторах. Коли напруга на затворі M4 стає достатньою, щоб відкрити даний транзистор, слідом за ним відкривається і M3, який у свою чергу відкриває і M2. Струм зі стоку M2 потече до резистора r, падіння напруги на якому буде підтримувати напругу на затворі M4, щоб і надалі тримати його відкритим – маємо позитивний зворотній зв'язок. На рисунку 10 (d) представлено результати симуляції еквівалентної схеми на МОП транзисторах. Схема виходить зі стійкого стану при зниженні значення прикладеної напруги V_A . Фінальний варіант схеми імпульсного нейрона з використанням еквівалентної схеми генератора імпульсу на МОП транзисторах показана на рис. 11 [15, р. 4; с. 4].

Детектор імпульсу (помаранчевий блок на рис. 11) являє собою транзистор M5 та підключе-

ний до його стоку джерело струму. Коли імпульс відсутній, транзистор M5 закритий, відповідно опір його каналу дуже великий і на ньому падає напруга живлення при протіканні через нього струму з джерела I2. Як тільки з'являється імпульс транзистор M5 відкривається – опір його каналу падає і відповідно напруга на ньому. Вихідний буфер (червоний блок) являє собою стандартний КМОП інвертор. Даний буфер потрібний для збільшення навантажувальної здатності імпульсного нейрона на його виході. Результати симуляції даного імпульсного нейрона та його типорозміри на кристалі показано на рисунку 12 [16, р. 8; с. 8].

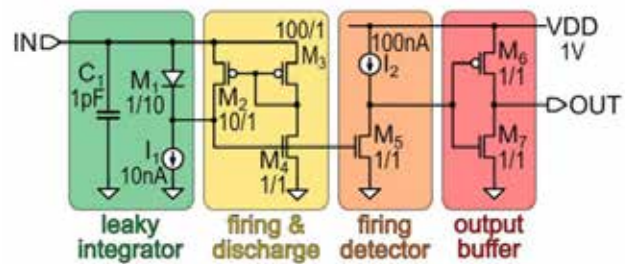


Рис. 11. Схема імпульсного нейрона з використанням схеми детектора порогу на МОП транзисторах

З результатів симуляції роботи нейрона можна побачити, що у якості вхідного сигналу може слугувати як постійний сигнал (струм) так і імпульсний сигнал, однак, на виході нейрон завжди видаватиме лише імпульсний сигнал.

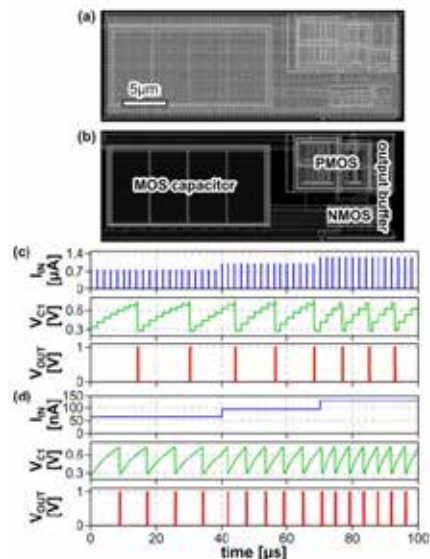


Рис. 12. Типорозміри імпульсного нейрона на кристалі (а), (b),
Результати симуляції при поданні на вхід нейрона імпульсного сигналу (с),
Результати симуляції при поданні на вхід нейрона постійного сигналу (d)

3. Постановка технічного завдання. На основі вже розглянутих існуючих аналогів штучного нейрона пропонується власна схема штучного нейрона, яка споживатиме меншу потужність.

Перевагами розглянутого адиабатичного штучного емнісного нейрона є його мала споживана статична потужність. Така енергоефективність досягається шляхом подання живлення на схему, а саме синаптичне дерево та компаратор з зацілкою, лише у ті моменти часу, коли відбувається обчислення вихідного стану нейрона – сумування зважених вхідних сигналів та їх подання до функції активації (компаратор). Однак, дана схема має і ряд недоліків:

1. Ті вхідні сигнали, що не беруть участі у обчисленні суми зважених сигналів, не враховуються у обчислення шляхом розмикання відповідного входу з конденсатором, на який подається даний вхідний сигнал. В результаті утворюється висячий контакт, який може на себе приймати шум, який у свою чергу може вплинути на результат суми зважених сигналів синаптичного дерева.

2. Якщо відповідний вхід розривається з відповідним конденсатором, то такий конденсатор не бере участі у формуванні суми сигналів, відповідно ємність такого конденсатора може бути виключена з рівняння ємнісного суматора напруг, яка лежить в основі обчислення суми зважених сигналів синаптичного дерева. Це означає, що ваги для сигналів будуть змінюватися в залежності від того, скільки сигналів приймає участь у формуванні суми. Дана особливість може значно ускладнити дизайн кінцевої нейромережі на основі таких нейронів і призвести до небажаних результатів на виході.

Саме через наведені вище мінуси, схему адиабатичного штучного нейрона вирішено не застосовувати у подальшому дослідженні. Натомість, вирішено працювати надалі зі схемою імпульсного штучного нейрона через ряд таких її плюсів:

1. Дана схема споживає значно меншу потужність, аніж схема адиабатичного нейрона. Така енергоефективність досягається шляхом передачі сигналів між нейронами у вигляді коротких імпульсів.

2. Ваги синаптичних з'єднань нейронів кодуються як частота імпульсів – чим більша частота імпульсів, тим більше значення вагів для даного сигналу, чим менша частота – тим менші ваги. Такий вид санапсу є значно простіший і не потребує використання додаткових девайсів, як мемконденсатори чи мемрезистори, ємність та опір яких відповідно є значеннями вагів для вхідних сигналів.

Одним з недоліків схеми імпульсного нейрона є те, що вихідний сигнал є імпульсами напруги. Таке представлення може бути незручним, оскільки дані імпульси не сумуються через те, що вхідний конденсатор одразу буде заряджатися до тієї ж напруги, що і має сам імпульс. Усі імпульси, що генерує нейрон мають однаковий рівень напруги, тому сумування напруги не відбуватиметься. Натомість кращим рішенням буде представлення вихідного сигналу у вигляді імпульсів струму. Струми навідмінну від напруги можуть сумуватися, коли протікають до конденсатора, а отже, може сумуватися і заряд на обкладинках конденсатора. Аналізуючи формулу (1) ємності для конденсатора можна побачити, що сумування зарядів на конденсаторі також призводитиме і до сумування напруги на ньому.

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1)$$

де Q – заряд конденсатора;

U – напруга, прикладена до конденсатора;

C – ємність конденсатора;

З метою представлення вихідного сигналу нейрона у вигляді імпульсів струму було запропоновано схему вихідного буферу нейрона, яка показана на рисунку 13.

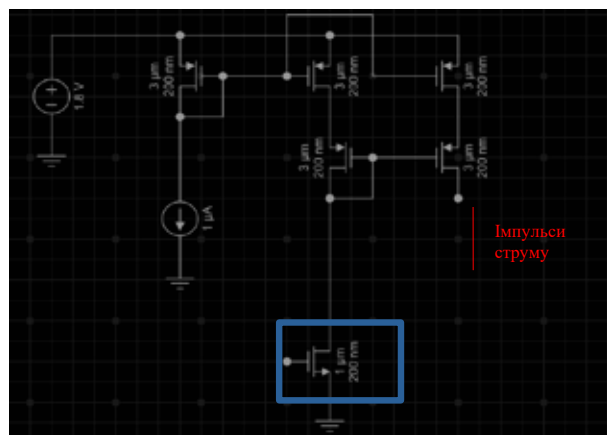


Рис. 13. Схема вихідного буферу імпульсного нейрона з поданням вихідного сигналу у вигляді імпульсів струму

Коли на вході нейрона з'являється вхідний імпульс, детектор імпульсу (транзистор виділений синім кольором на рис. 13) активує струмове дзеркало, ліва гілка якого формує вихід нейрона. Самим виходом є стік р-канального транзистора.

Висновки. Проведено аналіз наявних схемотехнічних рішень для створення штучного нейрону у інтегральних схемах. Одним з сучасних рішень є схема адиабатичного штучного нейрона, головною особливістю якого є використання дже-

рела змінної напруги для живлення синаптичного дерева, яке представлено ємнісним суматором з використанням мемристорів, та компаратора з защілкою який формує вихідний, статичний сигнал. Використання саме змінної напруги у якості джерела живлення дозволяє суттєво зменшити споживану потужність, що робить даний нейрон досить енергоефективним.

Другим розглянутим рішенням є схема імпульсного нейрона за архітектурою LIF – Leaky Integrator and Fire. Дане рішення надає можливість зменшити споживану потужність, так як вихідний сигнал представлений у вигляді серії коротких імпульсів напруги. Також головною особливістю даного нейрона є те, що вхідні сигнали представляються у вигляді серій коротких імпульсів струму, які подаються на вхідну ємність. Частота даних імпульсів є еквівалентом вагів для вхідних сигналів нейрона. Така інтерпретація вагів дозволяє спростити схему синапсису та обійтися без мемконденсаторів як у попередній схемі, що

дозволяє зменшити її енергоспоживання і покращити стійкість характеристик до впливу зовнішніх факторів таких, наприклад, як змінення температури.

У результаті аналізу обох схем нейронів вирішено надалі працювати зі схемою імпульсного нейрона, так як вона має простішу структуру синапсису та потенційно має кращі показники енергоефективності. Головним удосконаленням до схеми імпульсного нейрона є заміна вихідного буферу, який формує вихідні імпульси струму. Попередня схема буферу генерувала імпульси напруги, що не є оптимальним рішенням, так як напруги не можуть сумуватися на вхідній ємності нейрона. Тому в роботі запропоновано застосувати схему вихідного буферу, яка побудована на дзеркалах струму, оскільки, це дозволить сумувати заряд, що надходить з дзеркал струму на вхідну ємність. Сумування заряду у свою чергу означає і сумування напруг на обкладинках конденсатора.

Список літератури:

1. Штучні нейронні мережі. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network
2. Throughput Optimizations for FPGA-based Deep Neural Network Inference, Institute of Embedded Systems, Hamburg University of Technology/ p. 20
3. Точність обчислень нейрона. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0214989>
4. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, PRAM/ University of Edinburg, 2022. p. 5.
5. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, Schematic of the proposed Adiabatic Capacitive Artificial Neuron/ University of Edinburg, 2022. fig. 2, p. 2.
6. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, Transistor level diagram of n-bit capacitive synapse/ University of Edinburg, 2022. fig. 6, p. 4.
7. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, Transistor level diagram of a Dynamic Latched Clocked Comparator/ University of Edinburg, 2022. fig. 7, p. 5.
8. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, A single-phase resonant power clock generator/ University of Edinburg, 2022. fig. 3, p. 3.
9. S. Maheshwari, A. Serb, C. Papavassiliou, T. Prodromakis, An Adiabatic Capacitive Artificial Neuron With RRAM-Based Threshold Detection for Energy-Efficient Neuromorphic Computing, Timing waveform for a 4-bit ACAN at 1MHz CLK frequency/ University of Edinburg, 2022. fig. 11, p. 7.
10. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI/ Journal of Physics Communications, 2022.
11. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, Concept of the LIF model/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 1, p. 2.
12. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, SCR symbol and structure/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 2, p. 3.
13. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, SCR-based neuron implementation using discrete components/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 3, p. 4.
14. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, Transistor equivalence of an SCR/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 5, p. 5.

15. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, VLSI implementation of the neuron/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 4, p. 4.
16. P Stoliar, I Akita, O Schneegans, M Hioki, M J Rozenberg, A spiking neuron implemented in VLSI, VLSI layout using TSMC 65 nm process/ Journal of Physics Communications, 2022. fig. 8, p. 8.

Mianovskyi V.V., Korniev V.P. SCHEME OF IMPULSE NEURON WITH OUTPUT BUFFER ON CURRENT MIRRORS

Modern solutions for designing an artificial neuron in integrated microcircuits are considered. The advantages and disadvantages of all considered circuit-technical solutions for the implementation of an artificial neuron are analyzed. An improved schematic solution for the scheme of an artificial neuron on current mirrors is proposed. This solution is possible to implement in the standard CMOS technology of manufacturing integrated semiconductor circuits.

Two well known implementation of artificial neuron in IC were analyzed. One of them is Adiabatic neuron and its main feature is usage of AC voltage source to drive synapsis tree and output buffer which consist of comparator with latch, so less power will be consumed by circuit. Another feature of this neuron is usage of memcapacitors as weights for input signals. Memcapacitors form capacitive adder which sums all weighted signal into one.

Second solution is LIF neuron that represents input and output signals as spikes of voltage. Such signal form for neurons benefits to energy efficiency of overall neuromorphic network due to smaller power consumption. Also synaptic input of such neuron consist only from one capacitor and weights are represented as frequencies of input signals. Such solution makes overall design of neural network easier since it does not involve any other additional components like capacitors or resistors.

In the result of analysis of existing solutions it was decided to improve LIF neuron circuit because it has better power efficiency compared to adiabatic neuron and because it has simpler synaptic input. As an improvement it is proposed to use current mirrors instead of regular CMOS inverter as an output buffer. Current mirrors will enable summation of voltages on the input capacitive sinapsis of other neurons which is crucial for proper work of entire network.

Key words: *artificial neuron, integrated circuits (ICs), CMOS technology, current mirror, adiabatic neuron, LIF neuron.*

Осадчук Я.О.

Вінницький національний технічний університет

МІКРОЕЛЕКТРОННІ АВТОГЕНЕРАТОРНІ СЕНСОРИ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Запропоновано автогенераторні сенсори концентрації газу з частотним виходом на основі транзисторних напівпровідникових структур з диференційним від'ємним опором з газочутливими елементами на базі резистора і діода Шотткі, причому газочутливі елементи є активними елементами схем автогенераторних перетворювачів, що значно спрощує конструкцію сенсорів концентрації газу.

На основі розгляду фізичних процесів, які протікають у газочутливих елементах і автогенераторних перетворювачах, розроблено математичні моделі сенсорів концентрації газу, за допомогою яких отримано параметричні залежності функцій чутливості і перетворення. Доведено, що основний внесок у зміну функцій перетворення і чутливості вносить зміна концентрації газу, що в свою чергу викликає зміну еквівалентної ємності та диференційного від'ємного опору у коливальній системі автогенераторних сенсорів концентрації газу, що змінює вихідну частоту перетворювачів фізичних величин. Чутливість сенсорів концентрації газу змінюється від 1,48 кГц/ррт до 6,35 кГц/ррт при зміні концентрації газу від 0 ррт до 2000 ррт.

Отримані аналітичні вирази, які описують параметричні залежності функцій чутливості та перетворення, які дозволяють значно простіше розраховувати основні параметри сенсорів концентрації газу і показують вплив кожного параметра перетворювачів і автогенераторів на вихідну частоту сенсорів концентрації газу у порівнянні з розрахунками функцій перетворення з нелінійних еквівалентних схем пристроїв. У параметричних сенсорах концентрації газу з частотним виходом не потрібно застосовувати аналого-цифрові перетворювачі та операційні підсилювачі при подальшій обробці інформативних сигналів, що значно зменшує ціну інформаційно-вимірювальних приладів та систем, а також дозволяють передачу інформації на велику відстань при роботі автогенераторних сенсорів у НВЧ.

Ключові слова: концентрація газу, сенсор, диференційний від'ємний опір, автогенератор, газочутливий резистор, діод Шотткі.

Постановка проблеми. Подальший розвиток науки і техніки потребує конструкцій сенсорів концентрації газу на основі мікроелектронної технології, що значно покращує метрологічні показники сенсорів фізичних величин. Сенсори газу використовуються для аналізу широкого спектру газів в різноманітних галузях науки, промисловості та техніки. Їх використовують при вимірюванні атмосферного тиску, в космічних дослідженнях, в атомній енергетиці, в автомобільній техніці, у військовій техніці, побутовій техніці, для охорони оточуючого середовища [1, с. 36-43; 2; 3, с. 27-48; 4, с. 1-11; 5, с. 25-76; 6, с. 23-41; 7, с. 1-7; 8].

Основними величинами, що характеризують концентрацію газів є вагова концентрація, яка визначається відношенням маси вимірюваного газу до маси всієї суміші газів, в якій знаходиться вимірюваний газ. Молярною концентрацією вимірюваного газу називається відношення кількості молей цього газу до кількості молей всіх газів у суміші. Концентрація газів також вимірюється

у відсотках або в мільйонних частках, що характеризується величиною ррт, де $1 \text{ ррт} = 10^{-6} = 10^{-4}\%$. Вимірюється концентрація газів ґрунтується на основі парціального тиску. Під парціальним тиском вимірюваного у суміші розуміють тиск, під яким знаходився б цей газ, якби з суміші були вилучені всі інші гази, а об'єм та температура залишилися сталими [1, с. 89; 7, с. 374-379; 9, с. 267; 10, с. 197].

На деякий час майже в усіх галузях вимірювальної техніки використовуються виключно такі структури, в яких вихідною величиною є величина струму або напруги. Це призводить до виникнення значних похибок під час вимірювання, а також втрат інформаційних сигналів у каналі між виходом первинного перетворювача і входом підсилювально-перетворювальних блоків інформаційно-вимірювальних приладів та систем, малих потужностей вихідного сигналу перетворювачів, їх низькою завадостійкістю і швидкодією.

Усунути вищепераховані недоліки можливо на основі сенсорів газу з частотним виходом, які

працюють в режимі перетворення «концентрація газу-частота», що дозволяє в значній мірі покращити їхні метрологічні характеристики [11; 12].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Перспективним науковим напрямком у створенні сенсорів концентрації газу є дослідження в галузі сенсорів фізичних величин на основі напівпровідникових структур з диференційним від'ємним опором, що дозволяє створювати інформаційно-вимірвальні прилади з частотним виходом. Газові сенсори з частотним виходом поєднують простоту та універсальність, які мають вимірвальні пристрої з аналоговим вихідним сигналом, з точністю і заводськiстю, які характеризують вимірвальні пристрої з кодовим вихідним сигналом. Використання принципу перетворення «концентрація газу-частота» на основі напівпровідникових транзисторних структур з диференційним від'ємним опором суттєво знижує вартість вимірвальних пристроїв та систем, а також дозволяє значно зменшити масу та габарити сенсорів концентрації газу, підвищити чутливість та точність перетворень інформативного сигналу [13; 14; 15].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка та дослідження сенсорів концентрації газу на основі напівпровідникових транзисторних структур, в яких газочутливі резистор і діод Шотткі виступають як первинні перетворювачі концентрації газу, так і активні елементи автогенераторних параметричних сенсорів, в яких втрати енергії в коливальних системах компенсуються енергією диференційного від'ємного опору. Для досягнення поставленої мети у даній роботі потрібно розв'язати такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих наукових джерел та обґрунтувати використання напівпровідникових транзисторних структур з диференційним від'ємним опором для побудови сенсорів концентрації газу;
- 2) розробити математичні моделі сенсорів концентрації газу, в яких враховано залежність газочутливих резисторів і діодів від дії концентрації газів та її вплив на вихідну частоту параметричних сенсорів;
- 3) отримати параметричну залежність функцій чутливості та перетворення автогенераторних сенсорів від концентрації газу;
- 4) зробити висновки з проведених досліджень.

Математичні моделі сенсорів газу. Сенсор концентрації газу з частотним виходом базується на основі напівпровідникової транзисторної структури з диференційним від'ємним опором, в якій газочутливим елементом є резистор (рис. 1).

Автогенераторний вимірвальний пристрій складається з біполярних транзисторів VT1 і VT2 з електронним і дірковим типом провідності, що забезпечує існування диференційного від'ємного опору на спадаючій ділянці вольт-амперної характеристики автогенераторного сенсора, резисторів R1-R4, конденсатора C1 та пасивної індуктивності L1. Коливальний контур пристрою утворений еквівалентною ємністю повного опору на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів VT1 і VT2 та пасивної індуктивності L1.

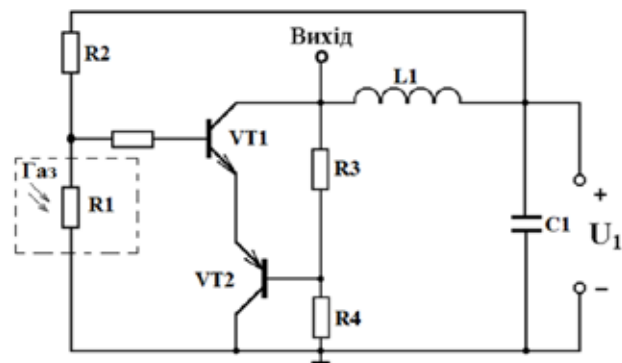


Рис. 1. Еквівалентна схема автогенераторного сенсора концентрації газу

На газочутливий резистор R1 діє концентрація газу, що приводить до зміни як еквівалентної ємності коливального контуру автогенераторного сенсора концентрації газу, так і диференційного від'ємного опору на виході вимірального пристрою, що викликає зміну резонансної частоти параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу. Втрати енергії в коливальному контурі параметричного автогенераторного сенсора компенсуються енергією диференційного від'ємного опору. Резистори R1-R4 здійснюють живлення параметричного автогенераторного сенсора за допомогою джерела постійної напруги U1. Конденсатор C1 запобігає протіканню змінного струму через блок живлення.

Перейдемо до розрахунку зміни параметрів газочутливого резистора R1 від дії на нього концентрації газу. Робота напівпровідникових сенсорів газу відбувається на основі явищ адсорбції газів поверхнею напівпровідника внаслідок дії некомпенсованого електричного поля на межі газ-тверде тіло [9, с. 211; 10, с. 125]. Процес адсорбції продовжується доти, поки між поверхнею напівпровідника і газовою фазою не встановиться рівновага.

При каталітичному окислюванні газами типу H_2 , CH_4 , C_2H_5OH , H_2S , що виступають як гази окислювачі, на поверхні напівпровідникового

матеріалу ефективно збільшується позитивна валентність адсорбційного комплексу, тому що при реакції на поверхню напівпровідника віддаються електрони. Внаслідок чого на поверхні напівпровідника збільшується концентрація електронів, що приводить до того, що в напівпровідникових матеріалах електронного типу провідності заряд виникає завдяки процесу збагачення, а в напівпровідниках діркового типу провідності завдяки збудженню [12].

В залежності від того, що зв'язують адсорбційні частинки з поверхню напівпровідникового матеріалу, має місце фізична та хімічна адсорбція. Фізична адсорбція визначається силами електростатичного походження (сили Ван-дер-Ваальса, сили електричного зображення) і енергія зв'язку в цьому випадку складає 0,01-0,1 еВ. Хімічна адсорбція виникає, коли адсорбовані молекули зв'язані з напівпровідниковим матеріалом силами обмінного характеру. У даному випадку енергія зв'язку у напівпровідниковому матеріалі при хемосорбції є значною та досягає 1 еВ. Таким чином, внаслідок адсорбції газу в напівпровідниковому матеріалі виникають додаткові поверхневі стани. Енергетичні рівні поверхневих станів в напівпровідниковому матеріалі розташовуються в забороненій зоні значно нижче дна зони провідності або вище валентної зони [20]. Поверхневий заряд в напівпровідниковому матеріалі притягує носії заряду з об'єму напівпровідника в приповерхневу область, що приводить до виникнення подвійного зарядженого шару. Наявність у напівпровідниковому матеріалі поверхневого заряду змінює його енергетичну схему у приповерхневій області.

На основі розгляду фізичних процесів у приповерхневій області напівпровідників при дії на них зовнішніх факторів, що приводить до появи надлишкових носіїв заряду, з розв'язку рівняння Пуассона отримана величина приповерхневого опору напівпровідникового матеріалу, яка описується формулою для напівпровідників n-типу провідності [10]

$$R_{sn} = \left[\frac{1}{2} q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2} e^{-\frac{\varphi_{sn}(W)}{2}} \right]^{-1}, \quad (1)$$

а для напівпровідників p-типу провідності [19]

$$R_{sp} = \left[\frac{1}{2} q n_i \mu_{ps} L_D (\gamma + \alpha)^{1/2} e^{-\frac{\varphi_{sp}(W)}{2}} \right]^{-1}, \quad (2)$$

де μ_{ns}, μ_{ps} – рухливість електронів і дірок в об'ємі напівпровідникового матеріалу, q – заряд електрона, n_i – власна концентрація електронів в напівпровідниковому матеріалі,

$\alpha = \Delta n / n_i = \Delta p / n_i$ – безрозмірний коефіцієнт рівня інжекції носіїв заряду, L_D – довжина проникнення електричного поля заряду в поверхневий шар напівпровідника, $\gamma = (p_0 / n_0)^{1/2} = p_0 / n_i = n_i / n_0$ – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує об'ємні властивості напівпровідникового матеріалу, $\varphi_{sp}(W) = q(E_{fp} - \psi_s) / kT$, $\varphi_{sn}(W) = q(\psi_s - E_{fn}) / kT$ – безрозмірний електростатичний поверхневий потенціал для діркового і електронного напівпровідників W – концентрація газу, E_{fp}, E_{fn} – рівень Фермі в дірковому і електронному напівпровідниках, ψ_s – поверхневий потенціал, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура. Слід підкреслити, що формули (1) і (2) справедливі для значних величин поверхневих електростатичних потенціалів, тобто для надлишкових носіїв заряду на поверхні напівпровідників [10].

Зміна опору напівпровідника n-типу, на якій діє донорний газ W , має вигляд

$$\Delta R_{sn}(W) = \frac{dR_{sn}}{d\varphi_{sn}(W)} \Delta\varphi_{sn}(W). \quad (3)$$

Провівши диференціювання у формулі (3), отримуємо вираз

$$\Delta R_{sn}(W) = - \left[\frac{1}{q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2}} \right] e^{-\frac{\varphi_{sn}(W)}{2}} \Delta\varphi_{sn}(W). \quad (4)$$

Знаючи залежність зміни опору напівпровідника газочутливого резистора, ми можемо перейти до визначення параметричної залежності вихідної частоти автогенераторного сенсора від зміни концентрації газу. При розв'язанні цієї задачі необхідно розглянуто перетворення енергії в газочутливому напівпровідниковому резисторі при дії на нього концентрації газу в енергію змінного електричного поля на вихідних клеммах автогенераторного сенсора концентрації газу. Для цього необхідно визначити коефіцієнт корисної дії сенсора концентрації газу. На першому етапі роботи пристрою енергія концентрації частинок газу перетворюється в енергію електричного поля на омичних електродах газочутливого резистора, яка в наступному етапі перетворюється в енергію змінного електричного поля параметричного автогенераторного сенсора, що зв'язана з еквівалентною ємністю C_{ekv} коливального контуру параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу. На підставі вище сказаного, коефіцієнт корисної дії автогенераторного сенсора визначається формулою

$$\eta = \frac{C_{ekv} U^2 q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2} e^{-\frac{\varphi_{sn}(W)}{2}}}{4 I_p^2}, \quad (5)$$

де U_- – вихідна змінна напруга пристрою, t – період коливань вихідної змінної напруги без дії газу, I_p – струм через напівпровідниковий газочутливий резистор. З формули (5) визначається еквівалентна ємність коливального контуру параметричного автогенераторного сенсора

$$C_{ekv} = \frac{4\eta t I_p^2}{U_-^2 q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2} e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}}}, \quad (6)$$

З другого боку, еквівалентну ємність C_{ekv} можливо визначити з формули резонансної частоти автогенератора, яка має вигляд [16]

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_g C_{ekv}} \sqrt{\frac{R_g^2 C_{ekv}}{L} - 1}, \quad (7)$$

де R_g – диференційний від'ємний опір коливального контуру параметричного автогенераторного сенсора, L – індуктивність контуру. З формули (7) отримуємо квадратне рівняння, на підставі якого визначаємо еквівалентну ємність C_{ekv}

$$(4\pi^2 F_0^2 R_g^2 L) C_{ekv}^2 - R_g^2 C_{ekv} + L = 0. \quad (8)$$

Введемо позначення

$$a_1 = 4\pi^2 F_0^2 R_g^2 L, \quad (9)$$

$$a_2 = R_g^2, \quad (10)$$

$$a_3 = L, \quad (11)$$

$$a_4 = C_{ekv} = \frac{4\eta t I_p^2}{U_-^2 q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2} e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}}}. \quad (12)$$

Розв'язок квадратного рівняння (8) має вигляд

$$C_{ekv} = \frac{a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 4a_1 a_3}}{2a_1}. \quad (13)$$

Прирівнявши вирази (6) і (13), отримуємо рівняння, з якого визначимо параметричну залежність вихідної частоти параметричного автогенераторного сенсора від дії концентрації газів на газочутливий резистор

$$a_1 = \frac{a_2}{a_4} - \frac{a_3}{a_4}. \quad (14)$$

Підставивши у рівняння (14) значення ($a_1 - a_4$) на основі виразів (9) – (12) і розв'язавши його, отримуємо функцію перетворення параметричного автогенераторного сенсора

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_-^2 q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2} e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}}}{4\eta t I_p^2} - \frac{U_-^4 q^2 n_i^2 \mu_{ns}^2 L_D^2 (\gamma^{-1} + \alpha) e^{\varphi_{sm}(W)}}{16\eta^2 t^2 I_p^4 R_g^2} \right]^{1/2}. \quad (15)$$

Отримана формула (15) дозволяє простим шляхом розраховувати функцію перетворення сенсора, ніж складним шляхом з нелінійної еквівалентної схеми параметричного автогенераторного сенсора на основі розв'язку рівнянь Кірхгофа. На рис. 2 подано графічну залежність розрахункової і експе-

риментальної кривих функції перетворення параметричного автогенераторного сенсора при зміні концентрації водню (H_2) від 0 ppm до 2000 ppm.

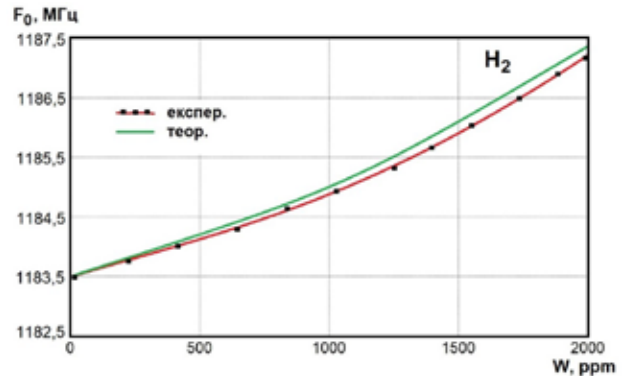


Рис. 2. Залежність функції перетворення від концентрації газу параметричного автогенераторного сенсора

Чутливість сенсора визначається похідною функції (15) за параметром концентрації газу W . Як показали експериментальні дослідження вихідна змінна напруга U_- параметричного автогенераторного сенсора також залежить від концентрації газу. Таким чином, функція перетворення параметричного автогенераторного сенсора з врахуванням залежності її складових від концентрації газу приймає вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[a_5 U_-^2(W) e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}} - a_6 U_-^4(W) e^{\varphi_{sm}(W)} \right]^{1/2}. \quad (16)$$

$$a_5 = \frac{q n_i \mu_{ns} L_D (\gamma^{-1} + \alpha)^{1/2}}{4\eta t I_p^2 L}. \quad (17)$$

$$a_6 = \frac{q^2 n_i^2 \mu_{ns}^2 L_D^2 (\gamma^{-1} + \alpha)}{16\eta^2 t^2 I_p^4 R_g^2}. \quad (18)$$

З врахуванням виразів (16) – (18), функція чутливості параметричного автогенераторного сенсора описується формулою

$$S_{F_0} = \frac{1}{4\pi} \left[a_5 U_-^2(W) e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}} - a_6 U_-^4(W) e^{\varphi_{sm}(W)} \right]^{1/2} \times \left[\left(2a_5 U_- (W) \frac{dU_- (W)}{dW} e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}} + \frac{1}{2} a_5 U_-^2(W) \frac{d\varphi_{sm}(W)}{dW} e^{\frac{\varphi_{sm}(W)}{2}} \right) - \left(4a_6 U_-^3(W) e^{\varphi_{sm}(W)} \frac{dU_- (W)}{dW} + a_6 U_-^4(W) e^{\varphi_{sm}(W)} \frac{d\varphi_{sm}(W)}{dW} \right) \right]. \quad (19)$$

Графік розрахункової і експериментальної залежності функції чутливості параметричного автогенераторного сенсора концентрації при зміні концентрації водню (H_2) від 0 ppm до 2000 ppm подано на рис. 3.

Як видно з графіка (рис. 3) чутливість параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу змінюється від 1,48 кГц/ppm до 2,05 кГц/ppm в діапазоні частот від 1183,5 МГц до 1187,2 МГц.

Для підвищення чутливості сенсорів газу з частотним виходом в якості первинного газочутливого елемента необхідно обрати контакт метала

з напівпровідником, причому в якості метала обирається паладій, золото, платина. Такі контакти отримали назву діодів Шотткі. Їх висока чутливість до водневих сполук пояснюється тим, що зворотній струм діодів експоненціально залежить від висоти потенціального бар'єру Шотткі, який однозначно зв'язаний з концентрацією газових водневих сполук.

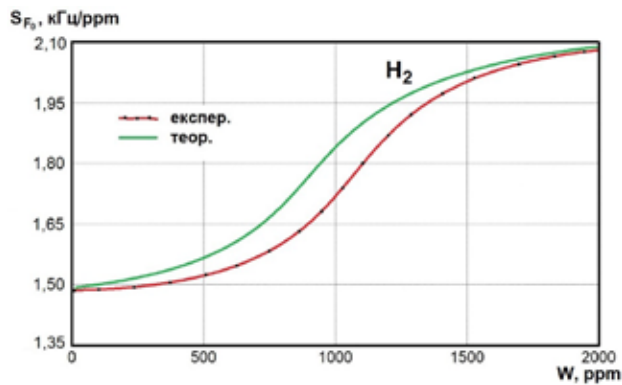


Рис. 3. Залежність функції чутливості параметричного автогенераторного сенсора від зміни концентрації газу

Електрична схема параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом подано на рис. 4. Вона будується на основі мікроелектронної структури з диференціальним від'ємним опором, в якій газочутливим елементом є діод Шотткі VD1. Параметричний автогенераторний сенсор концентрації газу складається з біполярного транзистора VT1 і польового транзистора VT2, резистору R1, конденсатора C1 та пасивної індуктивності L1. Коливальний контур параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу утворений еквівалентною ємністю повного опору на електродах колектора біполярного транзистора VT1 і стоку польового транзистора VT2 та пасивної індуктивності L1 [17-19].

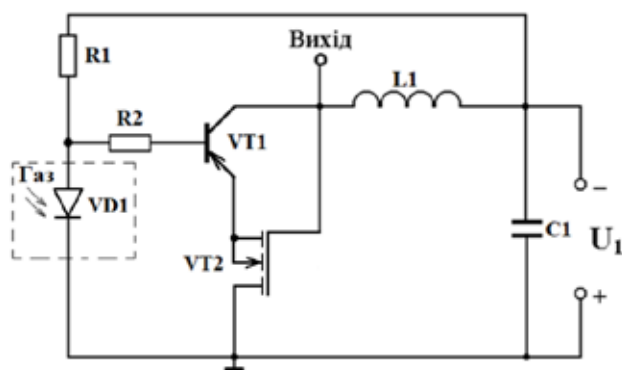


Рис. 4. Електрична схема параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу

На діод Шотткі діє концентрація газу, що приводить до зміни як еквівалентної ємності коливального контуру параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу, так і диференційного від'ємного опору на виході пристрою, що викликає зміну резонансної частоти. Втрати енергії в коливальному контурі параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу компенсуються енергією диференційного від'ємного опору. Через резистор R1 здійснюється живлення параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу за допомогою джерела постійної напруги U1. Конденсатор C1 запобігає проходженню змінного струму через блок живлення. Вольт-амперна характеристика параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу має спадну ділянку, що відповідає існуванню диференційного від'ємного опору на даному відрізку ВАХ.

Перейдемо до розрахунку зміни параметрів газочутливого діода Шотткі під дією газів донорів, таких як водень та інші. Вважається, що воднева чутливість пристроїв на основі діодів Шотткі залежить від дифузії водню через металевий контакт (паладій, платина, золото) з утворенням на межі розділу метал-напівпровідник дипольного шару, який впливає на висоту бар'єра Шотткі, а також зміна заряду поверхневих станів на межі розділу метал-напівпровідник у присутності водню [9, с. 322; 10, с. 158]. Розглянемо контакт напівпровідника р-типу з металом, коли робота виходу електронів з металу Φ_m більша роботи виходу електронів з напівпровідника Φ_s . В цьому випадку приконтактна область напівпровідника збагачується дірками, внаслідок переходу електронів з напівпровідника у метал. Це приводить до того, що метал заряджається негативними зарядами (електронами), а напівпровідник позитивними зарядами (дірками), доки ж встановиться електрична рівновага. Це означає, що енергетичні рівні Фермі у металі і напівпровіднику будуть мати однакові значення, при цьому провідність в приконтактній області напівпровідника збільшується.

Струм діода Шотткі описується формулою [20]

$$I = I_{zv} \left[e^{\frac{-qU}{nkT}} - 1 \right], \quad (20)$$

де I – прямий струм діода Шотткі, I_{zv} – зворотний струм насичення, U – пряма напруга, n – фактор ідеальності, k – стала Больцмана, T – абсолютна температура. Зворотний струм насичення діода має вигляд [20]

$$I_{zv} = \xi AT^2 e^{\frac{q\phi_k}{kT}}, \quad (21)$$

де ξ – імовірність тунелювання електронів через тонкий ізолюючий шар між металом і напівпровідником, якщо він технологічно існує, A – ефективна

константа Річардсона, φ_K – висота бар'єру Шотткі. З формули (21) видно, що зворотний струм діода експоненціально залежить від висоти бар'єру Шотткі φ_K , що однозначно зв'язаний з концентрацією газу, що діє на діод. В той час як струм стоку МДН-транзистора має квадратичну залежність від порогової напруги, а зсув напруги плоских зон МДН – конденсатора лінійно змінюється при зміні різниці робіт виходу електрона з металу та напівпровідника [1]. Для напівпровідників типу ZnO, SnO₂, Cu₂D, у яких концентрація основних носіїв заряду та їх рухливість, значно менше, ніж у класичних напівпровідниках Ge, Si, GaAs, тому необхідно використовувати дифузійну теорію випрямлення для діодів Шотткі, в яких зворотний струм описується виразом [20]

$$I_{zv} = (Sq\mu_p p_0 E_0) e^{\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}, \quad (22)$$

де S – площа перерізу діода, p_0 – концентрацію дірок у напівпровіднику, E_0 – напруженість електричного поля у діоді, μ_p – рухливість дірок, W – концентрація газу. В цьому випадку необхідно враховувати вплив електричного поля у напівпровіднику на рух носіїв заряду, тобто необхідно враховувати як дифузійну складову струму через діод, та і його дрейфову складову, з формули (22) витікає опір діода Шотткі при його зворотному стані роботи

$$R_{zv}(W) = \frac{U_{zv} e^{\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}}{Sq\mu_p p_0 E_0}. \quad (23)$$

Зміна опору при дії газу на діод Шотткі описується

$$\Delta R_{zv}(W) = \frac{dR_{zv}}{d\varphi_K(W)} \Delta\varphi_K(W). \quad (24)$$

Згідно (24), $\Delta R_{zv}(W)$ приймає вигляд

$$\Delta R_{zv}(W) = -\frac{U_{zv} q}{Sq\mu_p p_0 E_0 kT} e^{-\frac{q\varphi_K(W)}{kT}} \Delta\varphi_K(W). \quad (25)$$

Визначивши залежність зміни опору газочутливого діода Шотткі від дії концентрації газу, перейдемо до розрахунку параметричної залежності вихідної частоти сенсора при дії газу. Ця залежність визначається аналогічним чином як і для сенсора з газочутливим резистором, яка розглянута вище. Вхідна потужність для автогенератора сенсора визначається на основі виразів (22) і (23)

$$P_{ex} = Sq\mu_p p_0 E_0 e^{\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}. \quad (26)$$

Вихідна потужність визначається формулою

$$P_{ex} = \frac{C_{ekv} U_{zv}^2}{2t}, \quad (27)$$

де t – період вихідної напруги без дії газу. Отже, виходячи з формули (26) і (27), коефіцієнт корисної дії сенсора дорівнює

$$\eta = \frac{C_{ekv} U_{zv}^2 e^{-\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}}{2Stq\mu_p p_0 E_0 U_{zv}}. \quad (28)$$

З рівняння (28) визначається C_{ekv} , яка має вигляд

$$C_{ekv} = \frac{2\eta Stq\mu_p p_0 E_0 U_{zv}}{U_{zv}^2 e^{-\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}}. \quad (29)$$

З другого боку, еквівалентна ємність C_{ekv} коливального контуру автогенератора зв'язана з резонансною частотою виразом (7). Підставивши у формулу (7) вираз (29) і провівши необхідні перетворення, отримуємо параметричну залежність вихідної резонансної частоти від концентрації газу, а також від параметрів газочутливого діода Шотткі і параметрів автогенератора

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_{zv}^2 e^{-\frac{q\varphi_K(W)}{kT}}}{2\eta Stq\mu_p p_0 E_0 U_{zv} L} - \frac{U_{zv}^4 e^{-\frac{2q\varphi_K(W)}{kT}}}{4\eta^2 S^2 t^2 q^2 \mu_p^2 p_0^2 E_0^2 U_{zv}^2 R_g^2} \right]^{-1/2}. \quad (30)$$

Вираз (30) є функцією перетворення сенсора газу. На рис. 5 подано розрахункову і експериментальну залежності функції перетворення від дії концентрації водню (H₂) від 0 ppm до 2000 ppm на параметричний автогенераторний сенсор газу. Відносна похибка між розрахунками і експериментом складає 3,5 % при вимірюванні концентрації газу величиною 2000 ppm.

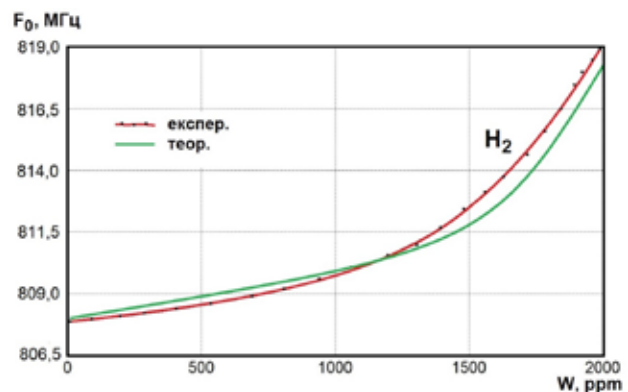


Рис. 5. Залежність функції перетворення параметричного автогенераторного сенсора від зміни концентрації газу

Як видно з графіка (рис. 5), вихідна частота параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу змінюється від 807,0 МГц до 819,0 МГц при зміні концентрації газу від 0 ppm до 2000 ppm.

Функція чутливості визначається на основі виразу (30), при цьому вважається, що вихідна напруга параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу також залежить від концентрації газу. Отже, функція чутливості описується виразом

$$S_{\epsilon} = \frac{1}{4\pi} \left[U^2(W) e^{-\frac{2\phi_8(W)}{kT}} a_7 - U^4(W) e^{-\frac{2\phi_8(W)}{kT}} a_8 \right]^{1/2} \times \left[\left(2U_-(W) \frac{dU_-(W)}{dW} e^{-\frac{2\phi_8(W)}{kT}} a_7 - U^2(W) \left(\frac{q}{kT} \right) e^{-\frac{2\phi_8(W)}{kT}} \frac{d\phi_8(W)}{dW} a_7 \right) - \left(4U^2(W) \frac{dU_-(W)}{dW} e^{-\frac{2\phi_8(W)}{kT}} a_8 - U^4(W) \left(\frac{2q}{kT} \right) \frac{d\phi_8(W)}{dW} a_8 \right) \right] \quad (31)$$

де

$$a_7 = \frac{1}{2\eta S t q \mu_p p_0 E_0 U_{zv} L}, \quad (32)$$

$$a_8 = \frac{1}{4\eta^2 S^2 t^2 q^2 \mu_p^2 p_0^2 E_0^2 U_{zv}^2 R_g^2}. \quad (33)$$

На рис. 6 подано розрахункову та експериментальну залежності функції чутливості від концентрації газу параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу.

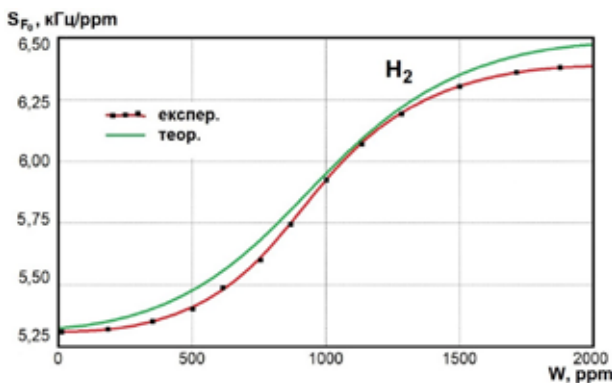


Рис. 6. Залежність функції чутливості від концентрації газу

Як видно з графіка (рис. 6), чутливість параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу змінювалась від 5,31 кГц/ppm до 6,35 кГц/ppm в діапазоні зміни концентрації газу від 0 ppm до 2000 ppm.

Частотний діапазон параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом базується на основі напівпровідникової транзисторної структури з диференційним від'ємним опором, в якій газочутливим елементом є резистор вибраний 1180 МГц. Діапазон даних частот застосовується для обладнання, що працює в частотному діапазоні від 1050 МГц до 1350 МГц (бездротова аудіо та відеоапаратура, бездротове відеоспостереження) [21].

Експериментальні дослідження розроблених пристроїв проведено за допомогою аналізатора радіочастотного спектру Arinst SSA TG-LC. На рис. 7 представлено радіочастотний спектр параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом, який базується на основі напівпровідникової транзисторної структури з диференційним від'ємним опором, в якому газочутливим елементом є резистор, частота передачі складає 1183,6 МГц.

Частотний діапазон параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом, в якому газочутливим елементом є діод Шоттки вибраний в LTE-800 Downlink. Радіо-

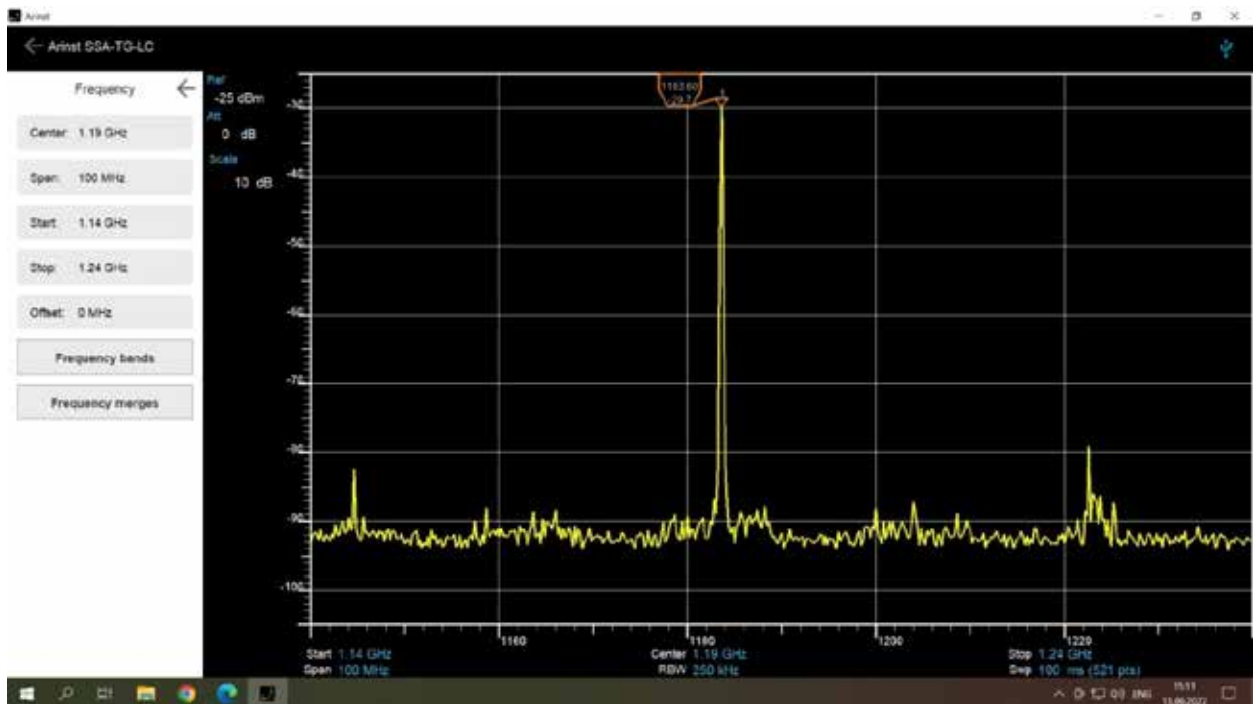


Рис. 7. Спектр параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом і газочутливим резистивним елементом

частотний діапазон 3GPP B20 LTE (800 МГц) є другим за популярністю діапазоном, який використовують оператори мобільного зв'язку для розгортання мереж LTE, а також добре підходить для широкого охоплення в регіональних умовах для покриття всередині будівель технології Інтернет речей: NB-IoT (LTE Cat-NB1). Використання радіочастотного спектру 800 МГц допомагає операторам мобільного зв'язку швидко запуснути послуги LTE в конкретному застосуванні та задовольнити вимоги ринку [21, с.409-433; 22, с. 5-18].

На рис. 8 представлено радіочастотний спектр параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом, в якому газочутливим елементом є діод Шотткі в діапазоні LTE-800 Downlink, частота передачі складає 807,0 МГц.

Висновки

1. Запропоновано параметричні автогенераторні сенсори концентрації газу на основі транзисторних напівпровідникових структур з диференціальним від'ємним опором з газочутливими елементами на базі резистора і діода Шотткі, причому газочутливі елементи є активними елементами схем автогенераторів, що спрощує конструкцію сенсорів газу.

2. На основі розгляду фізичних процесів, які протікають у газочутливих елементах і автогенераторних перетворювачах, розроблено математичні моделі сенсорів концентрації газу, за допо-

могою яких отримано параметричні залежності функцій чутливості і перетворення. Доведено, що основний внесок у зміну функцій перетворення і чутливості вносить зміна концентрації газу, що в свою чергу викликає зміну еквівалентної ємності та диференційного від'ємного опору у коливальній системі автогенераторних сенсорів концентрації газу, що змінює вихідну частоту перетворювачів фізичних величин. Чутливість сенсорів концентрації газу змінюється від 1,48 кГц/ppm до 6,35 кГц/ppm при зміні концентрації газу від 0 ppm до 2000 ppm.

3. Отримані аналітичні вирази, які описують параметричні залежності функцій чутливості та перетворення, які дозволяють значно простіше розраховувати основні параметри сенсорів концентрації газу і показують вплив кожного параметра перетворювачів і автогенераторів на вихідну частоту сенсорів концентрації газу у порівнянні з розрахунками функцій перетворення з нелінійних еквівалентних схем пристроїв. У параметричних сенсорах концентрації газу з частотним виходом не потрібно застосовувати аналого-цифрові перетворювачі та операційні підсилювачі при подальшій обробці інформативних сигналів, що значно зменшує ціну інформаційно-вимірювальних приладів та систем, а також дозволяють передачу інформації на велику відстань при роботі автогенераторних сенсорів у НВЧ.

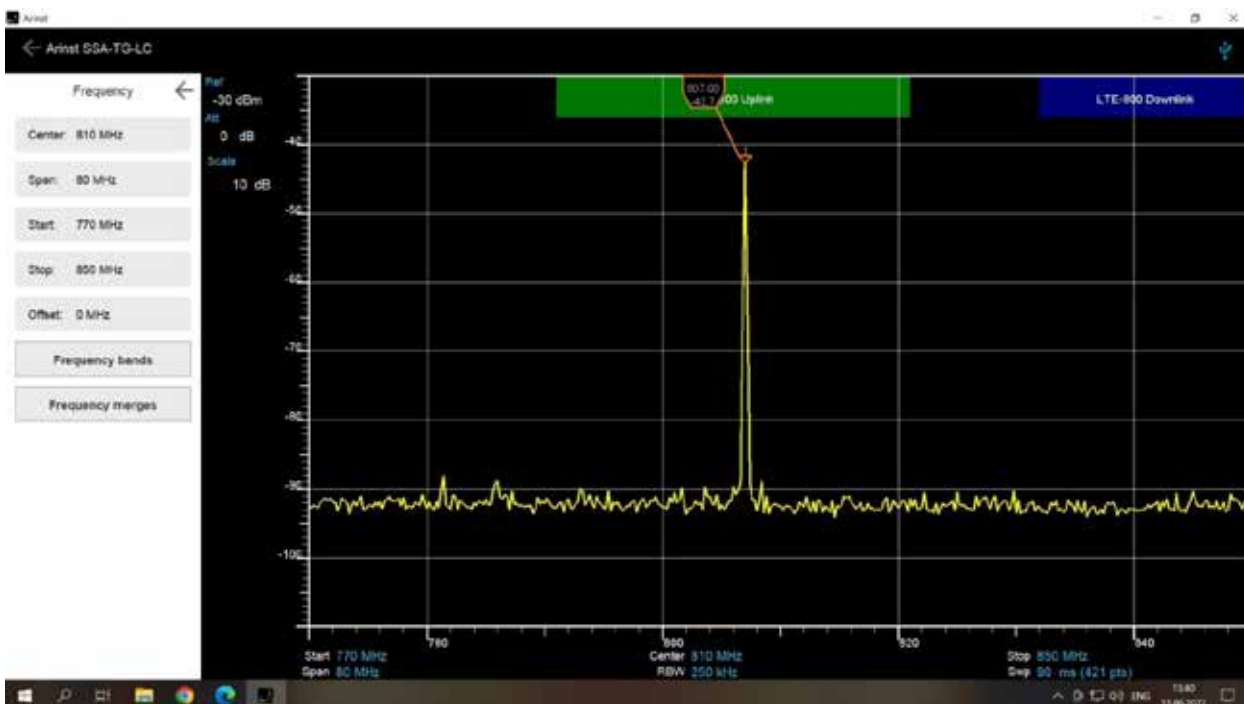


Рис. 8. Спектр параметричного автогенераторного сенсора концентрації газу з частотним виходом базується на основі напівпровідникової транзисторної структури з диференціальним від'ємним опором, в якому газочутливим елементом є діод Шотткі

Список літератури:

1. Sensors and actuators : technology and applications / edited by Princeton Brown. New York: Library Press, 2017. 268 p.
2. Lei Hang, Wenquan Jin, Hyeon Sik Yoon, Yong Geun Hong and Do Hyeun Kim. Design and Implementation of a Sensor-Cloud Platform for Physical Sensor Management on CoT Environments // *Electronics* 2018, 7, 140; pp. 1–25.
3. Sabrie Soloman. *Sensors. Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies, 2010. 1352 p.
4. Jacob Fraden. *Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2010. 681 p.
5. Sergey Y. Yurish. *Sensors and Applications in Measuring and Automation Control Systems*, (Book Series: *Advances in Sensors: Reviews*, Vol. 4). IFSA Publishing, S.L. (Barcelona, Spain). 2016. 507 p.
6. *Electronics for Sensors*. Edited by Giuseppe Ferri, Gianluca Barile and Alfiero Leoni E. MDPI: Basel, Switzerland, 2021. 274 p.
7. Schaumburg H. *Sensoren*. Stuttgart: Teubner, 1992. 517 p.
8. Thomas Allsop, Ronald Neal. *Application and Implementation of Optic Fibre Sensors for Gas Detection* // *Sensors* 2021, 21, 6755.
9. Волькинштейн Ф.Ф. *Физико-химия поверхности полупроводников*. М.: Наука, 1973. 400 с.
10. Ржанов А.В. *Электронные процессы на поверхности полупроводников*. М.: Наука, 1971. 480 с.
11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Ilchuk D.R., Pastushenko G.A. Solid State Radio-Measuring Optical-Frequency Transducer of Gas Flow Rate // *Physics and chemistry of solid state*. V. 22, No. 2 (2021). P. 224–232.
12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S. Frequency Transducers of Gas Concentration Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Sidorenko A., Hahn H. (eds) *Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. 18 March 2020, pp. 161–184.
13. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Osadchuk I.O. Modern world tendencies in the development of science. Chapters 19. Gas concentration transducers with frequency output signal based on reactive properties of semiconductor structures with negative differential resistance. Volume 2 : [coll.] monograph. Published by Science Publishing. LP22772, 20-22 Wenlock Road, London, United Kingdom, 2019. 308 p. Pp. 271–285. ISBN 978-1-9993071-4-1
14. Gassner S., Schaller R., Eberl M., Koblinski C., Essing S., et all. Anodically Bonded Photoacoustic Transducer: An Approach towards Wafer-Level Optical Gas Sensors. *Sensors* 2022, 22, 685.
15. Allsop T., Neal R. A Review: Application and Implementation of Optic Fibre Sensors for Gas Detection. *Sensors* 2021, 21, 6755.
16. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletskaya O.O. Frequency transducer of gas concentration in transistor structure with negative resistance // *Радиотехника. Всеукраїнський міжведомствений науково-технічний збірник. Тематический випуск «Інформаційна безпека»*. Вип. 191. 2017. С. 195–202. ISSN 0485-8972
17. Osadchuk O., Osadchuk V., Semenov A., Osadchuk I., Semenova O., Baraban S., Prytula M. Radiomeasuring Optical-Frequency Converters Based on Reactive Properties of Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 48, Springer, Cham. 21 June 2020, pp. 229-261.
18. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. Vinnitsa: "Universum-Vinnitsa", 1999. 275 p.
19. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A. Mathematical Model of the Generator on the Basis of Transistor Structure with the Negative Differential Resistance // *Proceedings of the 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering*. Lviv-Slavske, Ukraine February 20–24, 2018. ISBN (IEEE): 978-1-5386-2555-2. Paper 33.
20. Sze, S.M., Kwok, K.Ng. *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007. Pp. 435–455.
21. Leonhard Korowajczuk. *LTE, WIMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom. 2011. 784 p.
22. Chuzo Ninagawa. *IoT Communication Performance Analysis*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2022. 218 p.

Osadchuk I.O. MICROELECTRONIC AUTOGENERATOR GAS CONCENTRATION SENSORS WITH FREQUENCY OUTPUT

Self-oscillating gas concentration sensors with a frequency output based on transistor semiconductor structures with differential negative resistance with gas-sensitive elements based on a resistor and a Schottky diode are proposed, moreover, gas-sensitive elements are active elements of self-oscillating transducer circuits, which greatly simplifies the design of gas concentration sensors.

Based on the consideration of the physical processes occurring in gas sensitive elements and autogenerator transducers, mathematical models of gas concentration sensors have been developed, with the help of which parametric dependences of the sensitivity and conversion functions have been obtained. It has been proven that the main contribution to the change in the conversion and sensitivity functions is made by a change in the gas concentration, which in turn causes a change in the equivalent capacitance and differential negative resistance in the oscillatory system of self-oscillating gas concentration sensors, which changes the initial frequency of the physical quantity converters. The sensitivity of the gas concentration sensors varies from 1.48 kHz/ppm to 6.35 kHz/ppm when the gas concentration changes from 0 to 2000 ppm.

Analytical expressions are obtained that describe the parametric dependences of the sensitivity and conversion functions, which make it much easier to calculate the main parameters of gas concentration sensors and show the effect of each parameter of transducers and self-oscillators on the initial frequency of gas concentration sensors in comparison with calculations of conversion functions using nonlinear equivalent circuits of devices. In parametric gas concentration sensors with a frequency output, it is not necessary to use analog-to-digital converters and operational amplifiers in the subsequent processing of informative signals, which significantly reduces the price of information-measuring instruments and systems, and also allows information to be transmitted over a long distance when self-oscillating sensors operate in microwave.

Key words: *gas concentration, sensor, differential negative resistance, self-oscillator, gas sensitive resistor, Schottky diode.*

Відомості про авторів

Агапов Є.Д. – магістрант кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту

Бажак О.В. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Баланський В.П. – аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Баранов І.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Бенедюк В.С. – начальник відділу систем протипожежного захисту Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Биковець Н.П. – кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри управління в транспортній галузі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Богінська Л.О. – кандидат економічних наук, доцент кафедри будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд Сумського національного аграрного університету

Бойко С.О. – доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Бражник І.Д. – доктор філософії технічних наук, старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності Національного університету «Одеська морська академія»

Васильєв Г.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ватуля Г.Л. – доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Навчально-наукового інституту будівельної та цивільної інженерії Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова

Вишневська О.Д. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Вишневський Д.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Вільшанюк М.С. – старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Волянська Я.Б. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Волянський С.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Волянський Ю.С. – магістр Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Воробйова В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Герліці Ю. – доктор інж., професор, завідувач кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету в Жиліні (Словакія)

Глуховський В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гондовська А.С. – аспірант 1 курсу групи ЛЩ-21ф кафедри екології та технології рослинних полімерів інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Гусак Д.О. – магістрант кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту

Дакі О.А. – доктор технічних наук, професор, директор Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Демидюков О.В. – аспірант кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Денисенко А.М. – аспірант 3 курсу групи ЛЦ-11ф кафедри екології та технології рослинних полімерів інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Докієнко Л.М. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг Національного авіаційного університету

Доля О.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки

Дорогань Н.О. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дорофєєва З.Я. – старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Єфімова В.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Забалуєв А.С. – аспірант 2 курсу групи ХЕ-в11ф кафедри технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Іваненко В.М. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Кірсанова В.В. – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри управління в транспортній галузі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Карбівнича Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Кириллова В.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Кириллова О.В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Кішнянус І.В. – старший викладач, Військова академія (м. Одеса)

Коваленко Л.Б. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри вищої математики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова

Ковальчук М.С. – аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Корнєв В.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Коробкова О.М. – кандидат економічних наук, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Кунда Н.Т. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Лебедєв В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Лещенко І.А. – доктор філософії, викладач кафедри агроінженерії Уманського національного університету садівництва

Литвиненко Є.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Лінучева О.В. – доктор технічних наук, професор, декан хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лісніченко О.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Ловська А.О. – доктор технічних наук, доцент, науковий співробітник кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету в Жиліні (Словакія)

Ловська А.О. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту

Лю Чан – доктор філософії, доцент, Інститут електроніки та інженерії (Китай), Океанський університет (Гуандун, Китай)

Любич В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва

М'яновський В.В. – студент 4 курсу групи ДК-21мп кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Майданевич С.Б. – кандидат історичних наук, доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Майзеліс А.О. – доктор технічних наук, старший дослідник, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Мамонов К.А. – доктор економічних наук, професор, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова

Маннапова О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Мельник Л.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мельник О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету

Михайленко Н.В. – магістр 1 курсу групи ЛЦ-21мн кафедри екології та технології рослинних полімерів інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Михайлова Ю.В. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Мірошникова М.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Мірошниченко Д.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Мовчанюк О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мурад'ян А.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Назарова А.П. – аспірант 1 курсу навчання за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами) Національного транспортного університету

Нікішин В.А. – викладач, Військова академія (м. Одеса)

Онищенко С.П. – доктор економічних наук, професор, професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

Осадчук М.В. – науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Осадчук Я.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій та систем Вінницького національного технічного університету

Осьмак В.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг Національного авіаційного університету

Павлова Н.Л. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Павловська Л.А. – кандидат економічних наук, доцент, професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Пахомова В.М. – асистент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Петрик Ю.М. – старший викладач, Військова академія (м. Одеса)

Петров Л.М. – кандидат технічних наук, доцент, викладач, Військова академія (м. Одеса)

Петрушенко Н.С. – студент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Пономаренко Є.В. – магістрант кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Присяжнюк В.В. – начальник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Прокудін Г.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Решетков Д.М. – кандидат технічних наук, професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Рибін А.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту

Ромах В.Л. – старший викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету

Руденко А.В. – курсант 493 навчальної групи кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса)

Рященко О.І. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Савченко Д.О. – студент кафедри технології жирів та продуктів бродіння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Свірський В.В. – молодший науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Семичаєвський С.В. – старший науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Славова А.А. – магістрант кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Соколова Є.Б. – кандидат технічних наук, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Соловей Л.В. – старший викладач кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Солодовник Т.В. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімічних технологій та водоочищення Черкаського державного технологічного університету

Сподар К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Стеба А.А. – старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Татар Л.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Тихонін В.І. – старший викладач кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету

Тихоніна І.І. – старший викладач кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Навчально-наукового інституту морського бізнесу Одеського національного морського університету

Трембус І.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тришин В.В. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Трофименко І.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Трюхан О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг Національного авіаційного університету

Урум Н.С. – к.п.н, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Ушкало М.М. – студент Національного університету харчових технологій

Ущатовський Д.Ю. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології електрохімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Федунов В.М. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Фомін О.В. – доктор технічних наук, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій

Черняк Л.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Черьопкіна Р.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чигиринець О.Е. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шнирук О.М. – асистент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шпак Н.Г. – кандидат економічних наук, доцент кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

Якименко І.К. – аспірант кафедри хімічних технологій та водоочищення Черкаського державного технологічного університету

Якіменко М.Л. – науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання Науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Якусевич Ю.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Яценко С.Ю. – магістрант 2 курсу групи ЛЦ-11мн кафедри екології та технології рослинних полімерів інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

НОТАТКИ

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 34 (73) № 2 2023

Частина 2

Коректура • *Н. Славогородська*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 26,64. Ум. друк. арк. 32,78. Зам. № 0523/331

Підписано до друку 05.06.2023. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

Е-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.