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 32 (71) № 1 2021

Частина 2

Видавничий дім
«Гельветика»
2021

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 інженерної екології 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 технології 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 загально-інженерних 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 № 6 від 03.02.2021 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, 2021

ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЙ У КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОГО ПРОСТОРОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ.....1

Кузьменко Т.М.
РОЛЬ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ В УПРАВЛІННІ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦТЕХНІКИ.....7

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Андреєва Т.В.
ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ПРУЖНОЇ СТІЙКОЇ КОЛОНИ, НАВАНТАЖЕНОЇ ЗВЕРХУ.....13

ЕНЕРГЕТИКА

Козоровська К.А., Беглов К.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ БОРНОЇ КИСЛОТИ В ПЕРШОМУ КОНТУРІ АЕС ЯК НЕЛІНІЙНОГО ОБ’ЄКТА.....18

Максимова О.Б., Мінчев Д.С.
РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА В УМОВАХ НАЯВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ.....24

Штепа Є.П.
ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ З БІРОТАТИВНИМ СИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ.....32

МЕТАЛУРГІЯ

Тесленко О.І.
ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКТІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА.....38

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Борисенко О.М., Логвінков С.М., Шабанова Г.М., Остапенко І.А.
ГЕОМЕТРО-ТОПОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБСОЛІДУСНОЇ БУДОВИ СИСТЕМИ $MgO – FeO – TiO_2$.....45

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Антоненко А.В., Бровенко Т.В., Василенко О.В., Земліна Ю.В., Толок Г.А., Криворучко М.Ю., Грищенко І.М.
ТЕХНОЛОГІЯ БОРОШНЯНИХ СТРАВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО БОРОШНА.....50

Фролова Н.Е., Байбак С.В., Коваленко О.П., Лукіянишен К.О., Мухіна А.В., Кучерявий І.А.
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЧАЙНИХ НАПОЇВ ВІДПОВІДНО ДО ПРИПИСІВ АЮРВЕДИЧНОЇ КУЛІНАРІЇ.....57

Ющенко Н.М., Голя А.В., Лиса Л.Б., Галушка С.А., Кохановська В.П.
РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НОВИХ ВИДІВ АЮРВЕДИЧНИХ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНИХ НАПОЇВ.....63

ТРАНСПОРТ

Головіна О.В.
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ..... 69

Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Урум Н.С., Тришин В.В.
ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК У СИГНАЛАХ НАПРУГИ І СТРУМУ
НА ТОЧНІСТЬ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ
ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ.....74

Євсєєв В.О., Бутко Р.В., Гончаров Є.І.
СПЕЦІАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ СИЛ ОХОРОНИ ПРАВОПОРЯДКУ
ІНОЗЕМНИХ ДЕРЖАВ: ЗАГОРОДЖУВАЛЬНІ МАШИНИ.....79

Єманов В.В., Гармаш В.П., Споришев К.О.
МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ ВИХОДУ З ЛАДУ ОЗБРОЄННЯ
ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ.....87

Завальнюк О.П., Растьогіна Г.І., Завальнюк І.П., Нестеренко В.Б.
АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СУДЕН ЯК СКЛАДНИК ФОРМУВАННЯ
СФЕРИ КОМПЕТЕНЦІЇ СУДНОВОГО ОФІЦЕРА-ЕЛЕКТРОТЕХНІКА.....92

Кисельов В.Б., Прокудін Г.С., Поліщук В.П., Чупайленко О.А.
ОРГАНІЗАЦІЯ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ.....100

Круглий Д.Г.
ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СУДНОБУДУВАННЯ
ЯК ЗАПОРУКА ЦІЛІСНОСТІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ.....107

Мединський Д.В.
ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАЗЕМНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ АВІАЦІЙНОЮ НАЗЕМНОЮ ТЕХНІКОЮ
ДЛЯ ПЕРЕШКОДЖАННЯ ЗБІЙНИХ СИТУАЦІЙ В АЕРОПОРТУ..... 113

Павлова Н.Л., Шибаєв О.Г.
ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ
МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ.....123

Фомін О.В., Кара С.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І., Фомін В.В.
КОМПЛЕКСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....129

Фомін О.В., Ловська А.О.
ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ
ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З В'ЯЗКИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ У ПОВЗДОВЖНІХ БАЛКАХ.....135

Чумак М.О.
СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ.....141

Шарай С.М., Рой М.П.
ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ
АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ІЗ ЧАСОВИМИ ВІКНАМИ.....148

БУДІВНИЦТВО

Малєєв В.О., Безпальченко В.М.
ДРЕНАЖ ЯК ТЕХНІЧНИЙ СКЛАДНИК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ
ПІДТОПЛЕННЯ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....155

ГЕОДЕЗІЯ

Сопова Н.В., Сопов Д.С., Хайнус Д.Д., Бузіна І.М., Кирпичова І.В., Лугова Т.М.
ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В ЛУГАНСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....164

ЕЛЕКТРОНІКА

Василенко І.А., Брич К.А., Чупринов Є.В., Скиба М.І.
РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО СКЛАДНИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....170

Осадчук О.В., Крилик Л.В., Звягін О.С., Осадчук Я.О.
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ З ВОЛОГОЧУТЛИВИМ РЕЗИСТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ.....175

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....183

CONTENTS

INDUSTRIAL ENGINEERING

Zalyubovskyi M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V.
STUDY OF REACTIONS
IN KINEMATIC PAIRS OF STATICALLY DETERMINED SPATIAL MECHANISM
OF A MACHINE FOR PROCESSING DETAILS..... 1

Kuzmenko T.M.
THE ROLE OF INCOMING VERIFICATION IN QUALITY CONTROL MANAGEMENT
OF THE PRODUCTION WHEN PRODUCING SPECIAL EQUIPMENT.....7

AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

Andreieva T.V.
SHAPE OPTIMIZATION OF THE ELASTIC STABLE COLUMN,
THAT LOADED ON THE TOP.....13

POWER ENGINEERING

Kozorovska K.A., Behlov K.V.
INVESTIGATION OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM
FOR THE CONCENTRATION OF BORIC ACID IN THE FIRST CIRCUIT
OF A NUCLEAR POWER PLANT AS NONLINEAR OBJECT.....18

Maksymova O.B., Minchev D.S.
DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE CITY HEAT SUPPLY SYSTEM IN THE CONDITIONS
OF ALTERNATIVE ENERGY FLOWS.....24

Shtepa E.P.
WIND POWER PLANT WITH BIROTATIVE SYNCHRONOUS GENERATOR.....32

METALLURGY

Teslenko O.I.
THE PECULIARITIES OF DETERMINATION OF SEPARATE COMPONENTS
OF TECHNOLOGICAL ENERGY INTENSITY OF COKE CHEMICAL INDUSTRY PRODUCTS.....38

CHEMICAL TECHNOLOGY

Borysenko O.M., Logvinkov S.M., Shabanova G.M., Ostapenko I.A.
GEOMETRICAL-TOPOLOGICAL CHARACTERISTICS
OF THE SUBSOLIDUS STRUCTURE IN THE MGO – FEO – TIO_2 SYSTEM.....45

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Antonenko A.V., Brovenko T.V., Vasilenko O.V., Zemlina U.V., Tolok G.A., Krivoruchko M.U., Grischenko I.M.
TECHNOLOGY OF FLOUR DISHES USING GLUTEN-FREE FLOUR.....50

Frolova N.E., Baibak S.V., Kovalenko O.P., Lukiianyshen K.O., Mukhina A.V., Kucheriavyi I.A.
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR TEA DRINKS
ACCORDING TO THE PRESCRIPTIONS OF AYURVEDIC CUISINE.....57

Yushchenko N.M., Holia A.V., Lysa L.B., Halushka S.A., Kokhanovska V.P.
DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF AYURVEDIC FERMENTED MILK DRINKS.....63

TRANSPORT

Holovina O.V.
IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION
BY AUTOMOBILE DUMP TRUCKS.....69

Daki O.A., Yakusevich Yu.H., Urum N.S., Trishin V.V.
ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HIGH HARMONICS IN VOLTAGE
AND CURRENT SIGNALS ON THE ACCURACY OF THE CORRELATION METHOD
OF POWER MEASUREMENT ENGINES OF WATER VEHICLES.....74

Yevsieiev V.O., Butko R.V., Honcharov Ye.I.
SPECIAL-PURPOSE VEHICLES
OF FOREIGN LAW ENFORCEMENT FORCES: RIOT CONTROL VEHICLES.....79

Emanov V.V., Garmash V.P., Sporyshev K.O.
MODEL OF FORECASTING THE SIZE OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT UNITS
OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE.....87

Zavalniuk O.P., Rastogina G.I., Zavalniuk I.P., Nesterenko V.B.
THE SHIP POWER SUPPLY SYSTEMS' ANALYSIS AS A COMPONENT OF THE SPHERE
ELECTRO-TECHNICAL OFFICER'S COMPETENCE FORMATION.....92

Kyselov V.B., Prokudin G.S., Polishchuk V.P., Chupaylenko O.A.
ORGANIZATION OF UNBALANCED FREIGHT TRANSPORTATION
ON TRANSPORT NETWORKS.....100

Kruhlyi D.H.
INNOVATIVE SHIPBUILDING TECHNOLOGIES AS A GUARANTEE
OF THE INTEGRITY OF THE ECOSYSTEM OF UKRAINE.....107

Medynskyi D.V.
OPTIMIZATION OF THE PROVISION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
FOR GROUND HANDLING OF AIRCRAFTS BY AVIATION GROUND EQUIPMENT
TO PREVENT FAILURE SITUATIONS AT THE AIRPORT.....113

Pavlova N.L., Shibayev O.G.
PROJECT DECISIONS TO JUSTIFY THE OPTION
OF DELIVERY OF CARGO BY MARITIME TRANSPORT.....123

Fomin O.V., Kara S.V., Prokopenko P.M., Gorbynov N.I., Fonin V.V.
COMPLEX RESEARCH STRENGTH CHARACTERISTICS OF PASSENGER WAGON
AFTER A LONG OPERATION.....129

Fomin O.V., Lovska A.O.
DETERMINATION OF VERTICAL ACCELERATIONS
IN THE CARRYING STRUCTURE OF THE FLAT WAGON WITH VISCOUS BONDS
IN LONGITUDINAL BEAMS.....135

Chumak M.O.
VISUAL SIMULATION SYSTEM OF UNREGULATED PEDESTRIAN CROSSINGS.....141

Sharai S.M., Roi M.P.
APPLICATION OF SYSTEM APPROACH TO THE ORGANIZATION OF FREIGHT CARRIAGE
WITH TIME WINDOWS.....148

CONSTRUCTION

Malyeyev V.A., Bezpalchenko V.M.
DRAINAGE AS A TECHNICAL COMPONENT OF SOLVING THE PROBLEM
OF FLOODING OF KHERSON REGION.....155

GEODESY

Sopova N.V., Sopov D.S., Khainus D.D., Buzina I.M., Kyrpychova I.V., Luhova T.M.
PROSPECTS OF ECOLOGICAL OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL LAND USE IN LUHANSK REGION.....164

ELECTRONICS

Vasylenko I.A., Brich K.A., Chuprinov E.V., Skuba M.I.
DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CONTROL OF INDICATORS THE PROCESS OF COMPOSTING ORGANIC COMPONENT OF SOLID WASTE.....170

Osadchuk A.V., Krylik L.V., Zviahin O.S., Osadchuk I.A.
MATHEMATICAL MODEL OF A MICROELECTRONIC HUMIDITY TRANSDUCER WITH A HUMIDITY-SENSITIVE RESISTIVE ELEMENT.....175

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 183

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/01

Залюбовський М.Г.
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Панасюк І.В.
Київський національний університет технологій та дизайну

Малишев В.В.
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЙ У КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАХ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОГО ПРОСТОРОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Перспективним типом обладнання, яке використовується для реалізації процесів змішування сипких дрібнодисперсних речовин, а також галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих та пластмасових деталей (шліфування та полірування виробів вільним абразивом, відділення деталей від ливників, заокруглення гострих країв тощо) вважаються машини, у яких робочі ємкості виконують складний просторовий рух. Із застосуванням таких машин значно зростає продуктивність виконання технологічних операцій з одночасним зменшенням енерговитрат. За допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks–2016 виконано 3D-моделювання та подальше силове дослідження одного з варіантів статично визначеного просторового семиланкового механізму машини для обробки деталей із видовженою робочою ємкістю, у якій тяжний вал кінематично з'єднаний із додатковою рухомою ланкою – повзуном. У ході виконання силового дослідження визначено реакції в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах машини, досліджено вплив зміни міжосьової відстані робочої ємкості на приріст максимальних значень реакцій у кінематичних парах машини. Установлено, що характер зміни максимальних значень радіальних та осьових складників реакцій у кожній кінематичній парі просторового механізму залежить від значення коефіцієнта Δ, який характеризує відношення міжосьової довжини проміжного шатуна (робочої ємкості) до міжосьової довжини тягового та тяжного шатунів машини. Максимальні значення осьових реакцій (майже з лінійною залежністю) зростали зі збільшенням коефіцієнта Δ. Для всіх радіальних складників реакцій спостерігалося їх зменшення за коефіцієнта Δ=1,2 та приріст із лінійною залежністю з подальшим збільшенням коефіцієнта Δ. Отримані результати досліджень можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами на стадії проектування галтувального обладнання з ємкостями, що виконують складний просторовий рух.

Ключові слова: *обертальна кінематична пара, реакції, робоча ємкість, міжосьова відстань.*

Постановка проблеми. У 1966 році швейцарською фірмою Willy A. Bachofen (WAB) [1] розроблено змішувач [2, с. 145] для сипких дрібнодисперсних речовин [3, с. 1925], що є «базовою» конструкцією машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Згодом авторами було доведено [4, с. 150–174], що «базову» конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості можна успішно використовувати для виконання різних галтувальних технологічних операцій обробки металевих та полімерних деталей [5, с. 25–26; 6, с. 31–33], при цьому процес обробки буде відбуватися значно інтенсивніше. «Базова» конструкція машини, в основі якої використовується просторовий шестиланковий механізм, має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [7, с. 5], який негативно впливає на експлуатаційні властивості машини, може призвести до передчасного її виходу з ладу [8, с. 1040]. Авторами розроблено інші, статично визначені просторові механізми машини зі складним рухом робочих ємкостей, у структурі яких

відсутня наявність надлишкового зв'язку. Однією з таких конструкцій є машина [9, с. 70–72], в якій тяжний вал кінематично з'єднаний з додатковою рухомою ланкою – повзуном, в основі якої використовується семиланковий просторовий шарнірний механізм. За рахунок зміни просторового кінематичного ланцюга машини виникає можливість варіювання міжосьовою відстанню проміжного шатуна (робочої ємкості). Важливим аспектом раціонального використання розробленої конструкції машини є її силове дослідження, суть якого полягає у визначенні впливу зміни міжосьової відстані робочої ємкості на максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини, визначенні граничного значення міжосьової відстані проміжного шатуна, за якої реакції в кінематичних парах машини будуть перевищувати максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення та аналіз реакцій в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах просторового статично визначеного семиланкового механізму машини без надлишкового зв'язку за допомогою САПР SolidWorks, дослідження впливу зміни міжосьової відстані проміжного шатуна (робочої ємкості) на максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Було розроблено конструкцію машини, в якій тяжний вал кінематично з'єднаний із додатковою рухомою ланкою – повзуном, що представлено на рис. 1. Машина містить станину 1, тяговий 2 та тяжний 3 вали, причому тяговий вал 2 встановлений у підшипниковій опорі станини 1, а тяжний вал 3 (з можливістю обертання) кінематично з'єднаний із повзуном 4, який рухомо встановлено у станині з можливістю зворотно-поступального переміщення вздовж горизонтальної напрямної 5. Тяговий 2 та тяжний 3 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з тяговим шатуном 6 та тяжним шатуном 7 відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі яких 8 і 9 є вісями кріплення проміжного шатуна 10 (робочої ємкості). Під час моделювання описаної конструкції машини у САПР SolidWorks основні геометричні та конструктивні параметри брали як аналогічні до параметрів промислового змішувача «Turbula T10B» («базова» конструкція машини). Відповідні геометричні та конструктивні параметри розробленої машини представлено в таблиці 1.

У цій конструкції машини, за рахунок уведення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки – повзуна, виключено надлишковий (пасивний) зв'язок, а також з'являється можливість варіювання міжосьовою відстанню проміжного шатуна $l_{Ш(ПРОМ)}$. Досліджували, як зміна цього геометричного параметра впливає на максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини, а також те, за якої міжосьової відстані проміжного шатуна $l_{Ш(ПРОМ)}$ реакції у кінематичних парах машини будуть перевищувати попередньо визначені у роботі [10 с. 15–17] максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Силове дослідження викону-

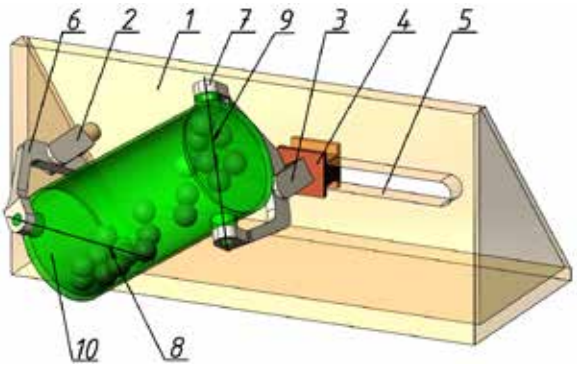


Рис. 1. Модель розробленої конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій тяжний вал кінематично з'єднаний із повзуном

Таблиця 1

Геометричні та конструктивні параметри розробленої машини

Геометричний параметр машини	Значення коефіцієнту Δ				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Діаметр робочої ємкості $d_{РЄ}$	0,318 м				
Довжина (між торцями) робочої ємкості $l_Ц$	0,430 м	0,480 м	0,535 м	0,590 м	0,640 м
Міжосьова відстань тягового та тяжного шатунів $l_{Ш(В)}$	0,272 м				
Міжосьова відстань проміжного шатуна $l_{Ш(ПРОМ)}$	0,330 м	0,380 м	0,435 м	0,490 м	0,540 м
Об'єм робочої ємкості $V_{РЄ}$	0,032 м^3	0,036 м^3	0,041 м^3	0,045 м^3	0,050 м^3
Маса усіх рухомих деталей машини m_D	50 кг	52 кг	53,5 кг	55,0 кг	56,2 кг
Кутова швидкість тягового вала машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с$^{-1}$ (32 об/хв)				

валося із застосуванням САПР SolidWorks–2016. Міжосьову відстань проміжного шатуна $l_{Ш(ПРОМ)}$ поступово збільшували та спостерігали за зміною реакцій у кінематичних парах машини, для кожної реакції визначали її екстремальні значення. При цьому міжосьова відстань проміжного шатуна $l_{Ш(ПРОМ)}$ була виражена коефіцієнтом Δ, який раніше було запропоновано в роботі [4, с. 87] та характеризує відношення міжосьової відстані проміжного шатуна до міжосьової відстані тягового чи тяжного шатуна машини: $l_{Ш(ПРОМ)} / l_{Ш(В)}$. Дослідження виконувалися для конструкції машин із такими значеннями коефіцієнта Δ: 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Визначали «граничну» міжосьову відстань проміжного шатуна, подальше видовження якої призведе до такого збільшення реакцій у кінематичних парах машини, коли вони стануть перевищувати значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. Схематичне зображення векторів реакцій у кінематичних парах просторового шарнірного механізму розробленої конструкції машини з видовженою робочою ємкістю, в якій тяговий вал кінематично з'єднаний із додатковою рухомою ланкою – повзуном, представлено на рис. 2.

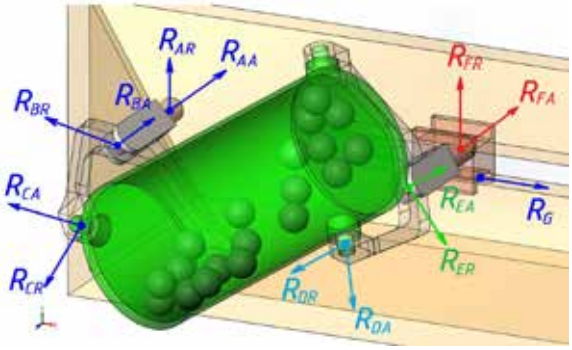


Рис. 2. Схематичне зображення реакцій у кінематичних парах просторового механізму розробленої машини з додатковою рухомою ланкою – повзуном

Усі дослідження виконувалися на холостому ході за кутової швидкості тягового вала 3,3 $с^{-1}$. Відомо [11, с. 150–200], що таке значення кутової швидкості тягового вала для цього типорозміру машини відповідатиме реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву, за якого будуть виникати найбільші інерційні навантаження на рухомі ланки машини. Попередні результати силового дослідження «базової» конструкції машини показали [10, с. 15–17], що всі значення реакцій у кінематичних парах машини, під час її роботи на робочому ході, були пропорційно збільшені на одну й ту ж величину відповідно до значень реакцій у кінематичних парах машини під час її роботи на холостому ході. Таким чином, подальші порівняльні дослідження розробленої конструкції машин проводили на холостому ході.

Визначали максимальні значення реакцій R у шести обертальних кінематичних парах машини та одній поступальній кінематичній парі. Значення усіх реакцій були розподілені на два складники (радіальний та осьовий): R_{AA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «станина – тяговий вал»; R_{AR} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «станина – тяговий вал»; R_{BA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «тяговий вал – тяговий шатун»; R_{BR} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «тяговий вал – тяговий шатун»; R_{CA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «тяговий шатун – проміжний шатун»; R_{CR} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «тяговий шатун – проміжний шатун»; R_{DA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «проміжний шатун – тяжний шатун»; R_{DR} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «проміжний шатун – тяжний шатун»; R_{EA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «тяжний шатун – тяжний вал»; R_{ER} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «тяжний шатун – тяжний вал»; R_{FA} – осьовий складник реакції в кінематичній парі «тяжний вал – повзун»; R_{FR} – радіальний складник реакції в кінематичній парі «тяжний вал – повзун»; R_G – реакція в кінематичній парі «повзун – станина».

У таблиці 2 представлено визначені за допомогою САПР SolidWorks максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини залежно від зміни коефіцієнта Δ, а також попередньо визначені [10, с. 15–17] значення реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму базової конструкції машини, що відповідає коефіцієнту $\Delta = 1$.

На основі представлених у таблиці 2 результатів досліджень, було побудовано у вигляді графіків залежності максимальних значень реакцій у кінематичних парах досліджуваного просторового механізму від зміни коефіцієнта Δ, котрі представлені на рис. 3 (радіальні складники реакцій) та рис. 4 (осьові складники реакцій).

Таким чином, у розробленій конструкції машини (за коефіцієнта $\Delta=1,2$) максимальні значення реакцій в усіх кінематичних парах будуть менші за максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини. За умов збільшення значення коефіцієнта Δ збіль-

Таблиця 2

Максимальні значення реакцій в кінематичних парах машини

		Коефіцієнт *Δ*, що характеризує відношення $l_{Ш(ПРОМ)} / l_{Ш(В)}$					
		1,0	**1,2**	**1,4**	**1,6**	**1,8**	**2,0**
Значення реакцій в кінематичних парах машини, при її роботі на холостому ході	R_{AA}, [Н]	88	80	83	85	88	140
	R_{FA}, [Н]	68	67	88	90	97	118
	R_{AR}, [Н]	405	295	450	509	602	717
	R_{FR}, [Н]	608	150	390	418	500	602
	R_{BA}, [Н]	198	190	400	478	577	700
	R_{EA}, [Н]	124	125	298	346	418	515
	R_{BR}, [Н]	294	278	285	280	307	378
	R_{ER}, [Н]	545	78	292	298	309	395
	R_{CA}, [Н]	95	30	158	190	210	263
	R_{DA}, [Н]	194	62	158	144	120	202
	R_{CR}, [Н]	325	178	283	398	550	780
	R_{DR}, [Н]	342	135	308	409	550	770
	R_G, [Н]	-----	160	480	505	580	700

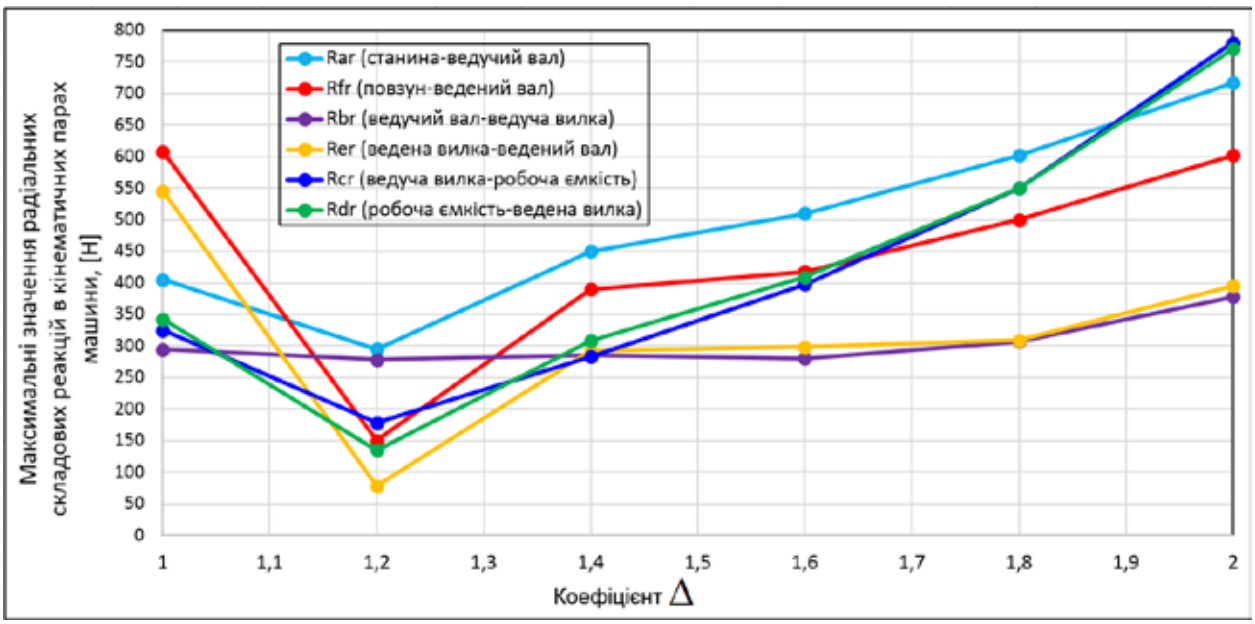


Рис. 3. Залежність максимальних значень радіальних складників реакцій у кінематичних парах просторового механізму від зміни коефіцієнта *Δ*

шувалися й максимальні значення реакцій в усіх кінематичних парах. Однак характер зміни осьових та радіальних складників максимальних значень реакцій у кінематичних парах відрізнявся. Максимальні значення осьових складників реакцій збільшувалися лінійно з приростом коефіцієнта *Δ*, тоді як радіальні максимальні значення радіальних складників реакцій (за коефіцієнта *Δ=1,2*) різко зменшилися, після чого відбулося їх поступове лінійне збільшення до коефіцієнта *Δ=2,0*. За коефіцієнта *Δ=1,6* спостерігалося значне збільшення максимальних значень деяких реакцій (порівняно з максимальними значеннями реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини). Таким чином, максимальні значення реакцій R_{BA}, R_{EA}, R_{CA} та R_G збільшилися у більше ніж двічі. Максимальні значення реакцій R_{FA} та R_{AR} перевищили аналогічні максимальні значення реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини на незначну величину.

Висновки. Виконано силове дослідження просторового статично визначеного семиланкового механізму машини для обробки деталей із видовженою робочою ємкістю, в якій тяжний вал кінематично з'єднаний із додатковою рухомою ланкою – повзуном за допомогою САПР SolidWorks,

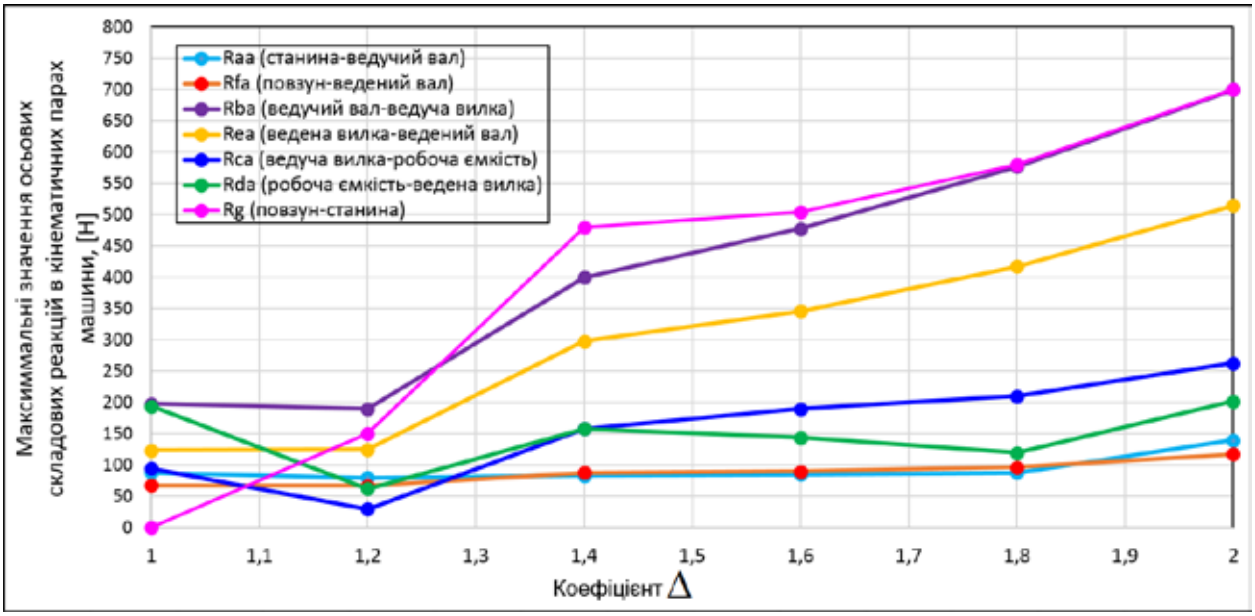


Рис. 4. Залежність максимальних значень осьових складників реакцій у кінематичних парах просторового механізму від зміни коефіцієнта *Δ*

зокрема визначено реакції в усіх обертальних та поступальній кінематичних парах.

Досліджено вплив зміни коефіцієнта *Δ,* який характеризує відношення міжосьової відстані проміжного шатуна (робочої ємкості) до міжосьової відстані тягового шатуна (тяжного шатуна) машини на максимальні значення реакцій у кінематичних парах машини.

Установлено, що досліджувану конструкцію машини раціонально використовувати в діапазоні зміни коефіцієнта *Δ=[1,0–1,6]*. За коефіцієнта *Δ*, що перевищує *1,6*, спостерігалося значне збільшення максимальних значень деяких реакцій (порівняно з максимальними значеннями реакцій у кінематичних парах «базової» конструкції машини).

Список літератури:

1. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2019. URL: https://www.wab-group.com/en/ (дата звернення: 20.11.2020);

2. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. Москва : Машиностроение, 1972. 256 с;

3. Chervonyj I., Listopad D., Gab A., Malyshev V., Neascu E.I., Donath C., Consrantin V., Popescu A.-M. On thermodynamic possibility of retort steel components interaction with titanium chlorides and oxygen during kroll process. *Rev. Chim (Bucharest).* 2019. Vol. 70, No 6. P. 1924–1927;

4. Залюбовський М.Г. Панасюк І.В. Малишев В.В., Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія. Київ: Університет «Україна», 2018. 228 с;

5. Zalyubovskyi M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. № 2. P. 24–32;

6. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Перспективні технології обробки деталей та змішування сипких речовин у рухомих робочих ємкостях (частина 1: способи технологічних операцій) *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 2, том 31 (70). С. 29–35;

7. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. Москва : Машиностроение, 1972. 256 с;

8. Antonyuk E. Ya., Sakhamov V. A., Koval N. I. Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model. *International Applied Mechanics*, 2010, 46, No. 9, P. 1039–1049.

9. Zaliubovskyi M. G., Panasiuk I. V., Smirnov Yu. I., Malyshev V. V. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. No. 178, issue 4, P. 69–75;

10. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Силове дослідження просторового шестиланкового механізму машини для обробки деталей (частина 1: дослідження при роботі машини на холостому ході). *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* 2020. № 5, том 31 (70). С. 13–18.

11. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / Під заг. ред. В.П. Коновала. Хмельницький : ХНУ, 2007. 255 с.

Zalyubovskyi M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V. STUDY OF REACTIONS IN KINEMATIC PAIRS OF STATICALLY DETERMINED SPATIAL MECHANISM OF A MACHINE FOR PROCESSING DETAILS

A promising type of equipment used for the implementation of processes for mixing bulk fine substances, as well as shredding technological operations for processing small metal and plastic parts (grinding and polishing products with free abrasive, separating parts from castings, rounding sharp edges, etc.) are machines with working capacity performs complex spatial motion. With the use of such machines significantly increases the productivity of technological operations while reducing energy consumption. With the help of the SolidWorks–2016 computer-aided design system, 3D modeling and further force study of one of the variants of a statically defined spatial seven-link mechanism of a machine for processing parts with elongated working capacity, in which the driven shaft is kinematically connected with an additional movable link – slider. During the force study, the reactions in all rotating and translational kinematic pairs of the machine were determined, the influence of the change of the axial distance of the working capacity on the increase of the maximum values of reactions in the kinematic pairs of the machine was investigated. It was found that the nature of changes in the maximum values of radial and axial components of reactions in each kinematic pair of the spatial mechanism depends on the value of the coefficient Δ, which characterizes the ratio of axial length of working capacity to axial length of master and slave connecting rods. The maximum values of axial reactions, almost with a linear dependence, increased with increasing coefficient Δ. For all radial components of the reactions, their decrease is observed at the coefficient Δ = 1.2 and increase with linear dependence with a subsequent increase of the coefficient Δ. The obtained research results can be used by relevant machine-building enterprises at the stage of designing galvanizing equipment with tanks performing complex spatial motion.

Key words: *rotational kinematic pair, reactions, working capacity, wheelbase.*

УДК 658.562.6
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/02

Кузьменко Т.М.
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

РОЛЬ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ В УПРАВЛІННІ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦТЕХНІКИ

У статті розглянуто доцільність організації вхідного контролю в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва. Одиничне виробництво (виготовлення дослідного зразка), в процесі якого уточнюють параметри і показники виробу в реальних умовах експлуатації, та виявляють усі недоліки, потребує більш ретельної перевірки купівельних матеріалів та комплектувальної продукції. Тому в процесі виготовлення спецтехніки вхідний контроль є одним із найбільш важливих і обов'язкових елементів управління якістю, який упереджує підприємство від постачання недоброякісних матеріалів, виявлення дефектної продукції на ранніх етапах, а також запобігає запуску у виробництво матеріалів та комплектувальних, що не відповідають вимогам нормативно-технічної документації та договорів на їх постачання. Основною метою вхідного контролю є гарантоване забезпечення якості, надійності і безпеки спецтехніки, яку виробляє підприємство-виробник. Тому головним завданням процедури вхідного контролю для цієї специфіки виробництва є необхідність удосконалення організаційних форми вхідного контролю продукції.

У статті проаналізовано поліпшений варіант організації проведення і оформлення результатів вхідного контролю сировини, матеріалів та комплектувальної продукції, яка використовується для розроблення, виробництва, експлуатування та ремонту виробів.

На підставі проведеного аналізу запропоновано вдосконалену модель організації та проведення вхідного контролю, яка чітко визначає функціональні обов'язки персоналу і відповідальність керівників структурних підрозділів підприємства виробника. Це дає можливість контролювати якість продукції на рівні підприємства, яка формується на стадії маркетингу, уточняється в конструкторській документації на етапі розроблення, матеріалізується та використовується (реалізується) на стадії виробництва.

Ключові слова: *вхідний контроль, одиничне виробництво, дрібносерійне виробництво, система якості, модель системи управління якістю.*

Постановка проблеми. Основною умовою стабільного розвитку та забезпечення конкурентоспроможності підприємства є ефективне управління якістю продукції, яку воно виробляє.

До якості спецтехніки, яка експлуатується в умовах підвищеної вологості (що пришвидшує корозію), за високих або низьких температур (що створює термоудар) та у вибухонебезпечних середовищах, висуваються особливі вимоги, які потребують удосконалення організаційних форм. При цьому вхідний контроль якості сировини, матеріалів та комплектувальних виробів, які використовують у виробництві, є одним з основних елементів системи якості. Слід зауважити, що під час виготовлення спецтехніки розрізняють два типи виробництва:

– *одиничне* (дослідне), яке характеризується широкою непостійною номенклатурою продукції та невеликим обсягом випуску однакових виробів, які з часом не повторюються;

– *дрібносерійне*, яке є перехідною формою від одиничного виробництва до випуску продукції дрібними серіями (партіями), кількість яких залежить від замовлення чи угоди.

Залежно від типу виробництва змінюється структура підприємства та вимоги до раціональної організації виробництва. Ураховуючи особливі вимоги та типи виробництва під час виготовлення спецтехніки, виникає необхідність формування моделі системи управління якістю продукції. Вхідний контроль є одним з елементів цієї моделі. Він проводиться з метою запобігання запуску у виробництво продукції, що не відповідає поставленим вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим та обов'язковим етапом управління якістю продукції підприємства є вхідний контроль продукції, якому присвячено багато теоретичних і практичних досліджень вітчизняних і зарубіжних учених. Дослідженням проблемних питань управління якістю займалися такі вітчизняні науковці, як С. Фомічев, М. Шаповал, А. Старостіка, Н. Скрябіна [11, с. 196; 12, с. 471] та ін. У пра-

цях І. Ансофф, А. Глічева, А. Гумерова [1, с. 519; 2, с. 53–544; 3, с. 88–89] описано значний досвід у сфері управління та менеджменту якості. Незважаючи на велику кількість наукових публікацій, не зовсім достатню увагу приділена практичним дослідженням виробництва з особливими вимогами та майже відсутня практика одиничного та дрібносерійного виробництва. Ці фактори зумовлюють потребу подальших досліджень системи якості на підприємствах, планування якості та контролю з урахуванням типу виробництва та особливостей виготовлення спецтехніки.

Постановка завдання. Метою статті є вдосконалення процедури вхідного контролю в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, налагодження та коригування процесу вхідного контролю в системі якості підприємства виробника з оптимальним використанням часу і фінансових ресурсів, що базуються на результатах виробничого досвіду і рівнозначно поєднують державні вимоги до професійної підготовки персоналу з потребами замовників.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якість спецтехніки, яку виробляє підприємство є запорукою тривалої та безаварійної експлуатації. Адже вироби спецтехніки працюють в екстремальних умовах. Тому вхідний контроль під час виробництва спецтехніки є першим етапом її забезпечення.

Основними цілями та запитаннями у сфері якості продукції є такі: забезпечення випуску продукції з максимальною відповідністю її властивостей наявним і перспективним потребам замовників; забезпечення дотримання вимог стандартів та іншої нормативної документації, своєчасне впровадження розроблених і перегляд застарілих стандартів; установлення економічно оптимальних завдань щодо підвищення якості продукції щодо їх ресурсного забезпечення і потреб замовників.

Основними завданнями вхідного контролю згідно з ГОСТ 24297-87* [10][1] є такі: перевірка наявності супровідної документації на продукцію, що засвідчує її якість і комплектність; контроль відповідності якості та комплектності продукції вимогам конструкторської та нормативно-технічної документації; накопичення статистичних даних про фактичний рівень якості отримуваної продукції та розроблення на їх підставі пропозицій щодо його підвищення; перегляд вимог нормативної документації до певних матеріалів (за необхідності); періодичний контроль за дотриманням правил і термінів зберігання матеріалів, які зберігаються на складі та будуть використовуватись у виробництві.

Усі матеріали (заново отримані та ті, які певний час перебували на складі, а тепер надходять на виробництво) підлягають обов'язковому контролю.

Здійснення вхідного контролю проводиться фахівцями з технічного контролю якості із залученням інших фахівців організації. Термін здійснення вхідного контролю зумовлюється розпорядженням керівництва підприємства, але не пізніше закінчення гарантійних термінів, зазначених у супроводжувальній документації комплектувальних і матеріалів.

Цей контроль організують і проводять згідно з ГОСТ 24297-87* [10], ДСТУ ISO 9001:2018 [4] та іншої нормативно-технічної документації (далі – НТД) організації. Він передбачає такі етапи (див. рисунок 1).

Ці етапи дозволяють провести вхідний контроль купівельних матеріалів і комплектувальних, що вплине на якість продукції.

Об'єктами вхідного контролю під час виготовлення спецтехніки є такі: металопрокат листовий та сортовий; трубки; дріт; кріпильні вироби; комплектувальні вироби (конденсатори, резистори, діоди, мікросхеми, котушки індуктивності, розетки, тощо); готові деталі та вузли, виготовлені контрагентами на підприємствах України.

Усі матеріали, які застосовують в основному виробництві, піддають вхідному контролю на відповідність до вимог стандартів, технічних умов, інструкцій та термінів їх придатності.

Згідно з ГОСТ 24297-87* [10], вхідний контроль проводить підрозділ вхідного контролю, що входить до складу служби контролю якості під-

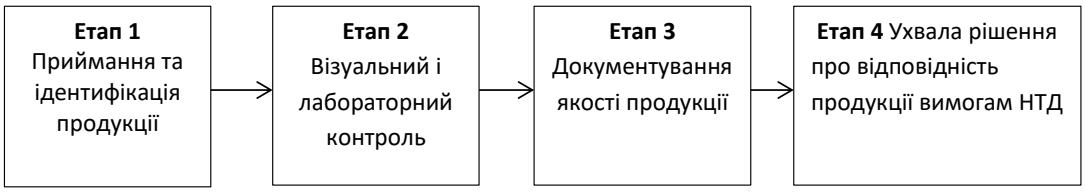


Рис. 1. Етапи вхідного контролю

[1] Тут і далі позначено * нормативні документи, скасовані без заміни. Використовуються як довідковий матеріал.

приємства. За відсутності на підприємстві відділу вхідного контролю (згідно зі штатним розкладом) цю функцію беруть на себе фахівці з відділу технічного контролю якості підприємства. Ураховуючи специфіку виробництва спецтехніки (тип виробництва (одиничне чи дрібносерійне), особливі (екстремальні) умови експлуатування виробів, посилений контроль під час випробовування), до процедури вхідного контролю висувають особливі вимоги, які визначає Головний конструктор виробу або (за необхідності) комісія із залученням Замовника.

Вхідний контроль проводять у спеціальному приміщенні на обладнаних для цього робочих місцях ГОСТ 8.002-86* [7]. Лабораторні дослідження та механічні випробування (за необхідності) проводять фахівці підрозділу технічного контролю якості разом із виробничим відділом. Неруйнівні методи контролю отриманої продукції проводять фахівці підрозділу технічного контролю якості, керуючись ГОСТ, ДСТУ, ТУ та ін. нормативними документами, які висувають вимоги до якості продукції.

Водночас Головний конструктор та технолог певного виду продукції обирає вид технічного контролю якості, який може складатись із декількох видів, що доповнюють один одного (залежно від низки факторів виробничого процесу).

Обсяг вхідного контролю, програму випробувань згідно з ГОСТ 16504* [9] або лабораторних досліджень щодо якості матеріалів також установлює начальник конструкторського відділу разом із Головним конструктором та технологом виробу залежно від стану супровідних документів на продукцію, ступеня її відповідальності та результатів оцінювання постачальників матеріалів.

Слід зазначити, що начальник відділу технічного контролю якості відповідає за досягнення мети вхідного контролю і підтримку методики її проведення в актуальному стані. При цьому фахівці відділу технічного контролю якості відповідають за контроль, вимірювання та об'єктивність оцінювання якості продукції, несуть відповідальність за організацію робіт щодо проведення вхідного контролю продукції. Відділ технічного забезпечення передає продукцію, яка надійшла на підприємство, до відділу контролю разом із супроводжувальною документацією: копією видаткової накладної; копією сертифіката або паспорта якості; паспортами на комплектувальні вироби.

Під час приймання продукції фахівці контролю якості продукції перевіряють таке: наявність супроводжувальної документації; стан упаковки; правильність маркування; зовнішній вигляд і стан поверхні; геометричні розміри виробів та деталей, товщину покриттів, якість малярного покриття та інші параметри на відповідність конструкторській документації (далі – КД).

Слід зазначити, що згідно з ГОСТ 8.002-86* [7], для визначення геометричних розмірів, параметрів продукції використовують тільки повірені засоби вимірювальної техніки та керуються ДСТУ, ТУ, СТП та іншими нормативними документами, що регламентують відповідність якості для кожного її виду ДСТУ 3651.0-97 [5].

Згідно з ГОСТ 2.124-85* [6], за необхідності застосування купівельних виробів зі зміною номіналу (аналогів), а саме: використання в режимах і умовах, що розширюють сферу їх застосування; необхідності доопрацювання купівельних виробів для встановлення в нові розроблення (які не пов'язані з погіршенням основних технічних параметрів покупних виробів), застосування їх можливе тільки з дозволу Головного конструктора виробу після узгодження з організацією Замовника. Підприємство, що дає дозвіл на застосування таких покупних виробів, є відповідальним за правильність та обґрунтування виданого дозволу.

У процесі виробництва останнім часом зафіксовано зростання випадків постачання неякісної продукції на підприємство. Коли Покупець отримує товар від Постачальника, то здійснює поверхневий огляд Товару, ставить свій підпис на видатковій накладній, проте згодом Покупець виявляє факт браку (невідповідність до вимог якості) отриманого Товару (тобто приховані недоліки). Прихованими недоліками визнаються ті, які не були виявлені під час звичайної для цього виду продукції перевірки та які були виявлені лише у процесі обробки, підготовки до монтажу, в процесі монтажу, під час використання та зберігання продукції, а подеколи й під час випробувань. Часто трапляються випадки постачання неякісної продукції у вигляді готових деталей, виготовлених контрагентами на підприємствах України. Ці фактори сприяють збільшенню навантаження на персонал технічного контролю якості виробів та робітників у зв'язку з доопрацюванням неякісної продукції. Крім того, слід зазначити, що підприємство часто витрачає додаткові непередбачені матеріальні ресурси на вхідний контроль продукції, що надходить для виробництва спецтехніки, які пов`язані в доопрацюванням виробів від контрагентів та придбанням НТД на її виробництво.

Тому для гарантованого забезпечення якості, надійності і безпеки спецтехніки, яку виробляє підприємство, потрібно підвищити технічний рівень і вдосконалити організаційні форми вхідного контролю продукції.

Запропоновану вдосконалену методику процедури вхідного контролю під час виготовлення спецтехніки представлено на рисунку 2.

На купівельну продукцію та матеріали, які надходять із супровідною документацією, де зазначено повний обсяг випробувань, фахівці з відділу контролю технічної якості порівнюють дані супровідного документа з НТД та контролюють геометричні розміри і зовнішній вигляд. Запропоновано металопрокат, що надходить на виробництво, окрім перевірки супровідних документів, контролю геометричних розмірів та візуального огляду (на відсутність поверхневих дефектів), за необхідності (за додатковою вказівкою Головного конструктора та технолога) піддавати вимірюванням твердості згідно з чинними вимогами НТД, а в окремих випадках варто проводити хімічний аналіз для підтвердження марки та складу металів на зразках для випробування.

У випадках, коли в сертифікаті якості не вистачає деяких даних про металопрокат або (у винят-

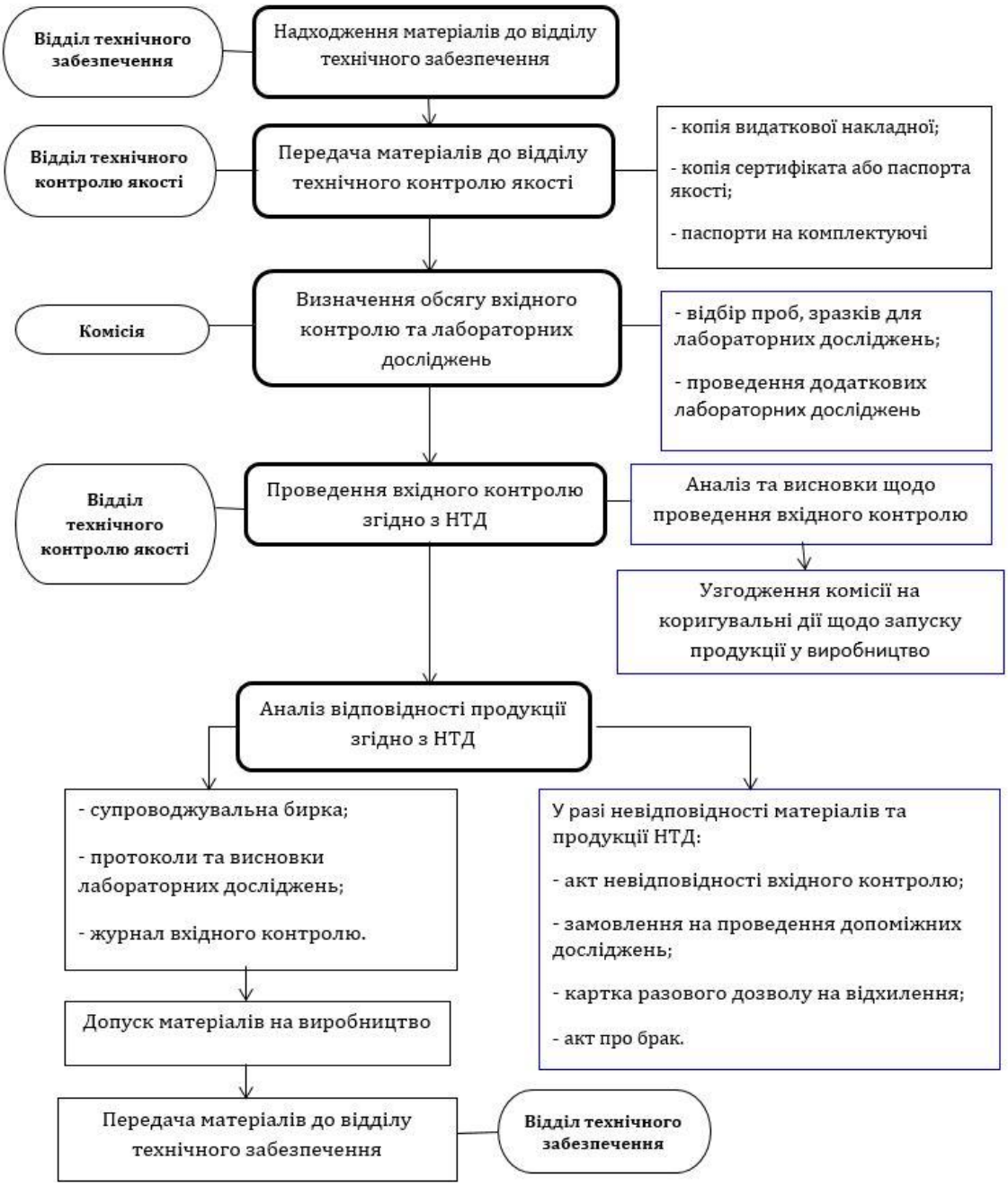


Рис. 2. Удосконалена методика процедури вхідного контролю

кових випадках) коли сертифікат відсутній, створюють комісію у складі Головного конструктора, технолога, представника виробничого відділу, фахівця технічного контролю якості, Замовника (за необхідності), яка призначає додаткові випробування і лабораторні дослідження для визначення властивостей матеріалу, які мають відповідати вимогам КД.

Вимірювання твердості та будь-які інші механічні випробування металопрокату проводяться фахівцями виробничого відділу разом із представниками відділу технічного контролю якості (на підставі замовлення на проведення допоміжних досліджень).

Результати випробувань і лабораторних досліджень оформлюють у вигляді протоколів випробувань або актів хімічного аналізу. Протоколи та акти зберігають у відділі технічного контролю якості.

Якщо матеріали, комплектувальні та деталі відповідають НТД, то представники відділу технічного контролю якості реєструють їх у журналі вхідного контролю та виписують супроводжувальну бирку, яка є підставою для допуску матеріалу у виробництво. Якщо ж на вхідному контролі виявлено невідповідність або відхилення матеріалів від НТД чи супроводжувальної документації, то представники відділу технічного контролю якості складають протокол, у якому перелічено відхилення, виявлені в процесі контролю. Скликається комісія в складі Головного конструктора, технолога, представника виробничого відділу, фахівця технічного контролю якості, Замовника (за необхідності), яка вирішує придатність цього матеріалу для запуску у виробництво з відхиленням (карткою разового дозволу на відхил, де вказують параметри невідповідностей), яка оформлюється разом із супроводжувальною биркою. Остаточне рішення щодо продукції, яка не відповідає НТД, ухвалює комісія. Рішення комісії оформлюється протоколом (актом) невідповідності вхідного контролю. При цьому можуть бути такі варіанти рішень: використання матеріалів із відхиленням (картка разового дозволу на відхилення); доопрацювання в умовах підприємства (односторонній або двосторонній протокол із представником постачальника на доопрацювання із визначенням вартості доробок); акт про брак; повернення продукції постачальнику.

Матеріал, що не пройшов вхідний контроль (дефектна продукція) ГОСТ 15895* [8] ізолюють від інших матеріалів та зберігають на складі разом із актом про брак до вживання коригувальних заходів або повертають постачальнику на підставі невідповідності.

Начальник відділу технічного контролю якості разом із начальником відділу технічного забезпечення координують дії претензійної роботи на підприємстві. За інформування постачальника про невідповідність поставленої продукції, виклик представника постачальника та/або виробника (за необхідності) та за контроль повернення невідповідної (дефектної) продукції відповідає начальник відділу технічного забезпечення. За вирішення фінансових питань відшкодування браку та питань, які стосуються погашення заборгованості постачальників під час повернення або доопрацювання невідповідної продукції, відповідає фінансово-економічний відділ. За виправлення розбіжностей із постачальниками та представлення підприємства в арбітражному суді відповідає юридичний сектор. За підготовку технічного рішення про можливість доопрацювання або використання продукції з установленим відхиленням від вимог НТД відповідає Головний конструктор виробу.

Висновки. Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити висновок, що вхідний контроль має забезпечувати реалізацію встановлених вимог, правил, процедур і стандартів у частині матеріальних ресурсів, спрямованих на забезпечення відповідності купівельних матеріалів або товарів установленим стандартам. Також це контроль, який здійснюється безпосередньо під час проведення робіт із виготовлення продукції на інших підприємствах України (підприємствах-контрагентах), який також належить до вхідного контролю. Практика свідчить, що найвища якість досягається за умов збалансованого колективного підходу всіх підрозділів підприємства до випуску продукту. При цьому доцільним є проведення аналізу взаємодії структур усередині підприємства, що описує спільну роботу підрозділів підприємства і зворотні зв’язки, що виникають у процесі цієї роботи.

Отже, вхідний контроль матеріалів і комплектувальних виробів є необхідним елементом удосконалення системи управління якістю під час розроблення і виготовлення спецтехніки, що вимагає його ретельного опрацювання під час формування загальної моделі системи управління якістю підприємства. Запропоновано вдосконалення процесу контролю якістю вхідної продукції та впровадження його в управління якістю виробництва підприємства, що дозволить посилити конкурентоспроможність виробів.

Список літератури:

1. Ансофф И. Стратегическое управление / Пер. с англ. И пред. Л.И. Евенко. Москва. Экономика. 1989. 519 с.

2. Глічев А.В. Повна схема механізму управління якістю продукції. *Стандарти і якість*. 2002. № 5. С. 53–54.

3. Гумеров А.В. Совершенствование системы входного контроля качества промышленного предприятия. *Актуальные вопросы экономических наук* : материалы Междунар. науч. конф. (октябрь 2011 г.). С. 88–90.

4. ДСТУ ISO 9001:2018 «Система управління якістю. Вимоги».

5. ДСТУ 3651.0-97 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення назви та позначення».

6. ГОСТ 2.124-85 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). «Порядок применения покупных изделий».

7. ГОСТ 8.002-86 «Государственная система единства измерений. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения».

8. ГОСТ 15895-77 «Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения».

9. ГОСТ 16504 Система государственных испытаний продукции. «Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».

10. ГОСТ 24297-87 «Входной контроль продукции. Основные положения».

11. Фомічев С.К., Старостіка А.А., Скрябіна Н.І. Основи управління якістю : навчальний посібник. Київ : МАУП, 2000. 196 с.

12. Шаповал М.І. Менеджмент якості : навчальний посібник. Київ, 2007. 471 с.

Kuzmenko T.M. THE ROLE OF INCOMING VERIFICATION IN QUALITY CONTROL MANAGEMENT OF THE PRODUCTION WHEN PRODUCING SPECIAL EQUIPMENT

There was considered in the article whether the organization of incoming verification in the conditions of unit and small-scale production is appropriate. Unit production (the production of a prototype) in the process of which the parameters and indicators of the product are specified in real operating conditions, and all the shortcomings are identified, requires a more thorough inspection of the purchased materials and components. Therefore, in the process of special equipment manufacturing, the incoming verification is one of the most important and required compulsory elements of quality control management which prevents the company of defective materials supply, identifies defective products at the early stages and prevents the launching of materials and components that do not meet the requirements of regulatory and technical documentation and contracts for their supply. The main purpose of the incoming verification is to ensure the quality, reliability and safety of the special equipment which was produced by the enterprise manufacturer. The main task of the incoming verification procedure for this specificity of production is the necessity to improve the organizational forms of the incoming verification of the production thereof.

The refined version of the organization of conducting and drawing up of the incoming verification results of raw materials and components used for the development, production, operation and repair of products was analyzed in the article.

On the basis of the analysis the upgraded version of the organization and conducting of the incoming verification which accurately defines functional duties of the personnel and responsibility of the heads of the structural subdivisions of the enterprise manufacturer is offered. That makes it possible to control the quality of the products at the enterprise level, which is set at the marketing stage, specified in the design documentation at the development stage, materialized and used (sold) at the production stage.

Key words: *incoming verification, unit production, small-scale production, quality system, quality control management model.*

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 519.61
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/03

Андреєва Т.В.
Національний авіаційний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ПРУЖНОЇ СТІЙКОЇ КОЛОНИ, НАВАНТАЖЕНОЇ ЗВЕРХУ

У статті подається короткий огляд задачі оптимізації форми пружної стійкої колони, навантаженої зверху поздовжньою силою P. Колона розглядається зі змінними, але геометрично подібними й однаково орієнтованими поперечними перерізами. Ця конструкція часто використовується при побудові більш складних механічних конструкцій літальних апаратів. І тому, оптимізуючи форму механічних конструкцій, можна значно знизити вагу літальних апаратів. А як уже добре відомо, проблема мінімізації ваги є критичною при проектуванні безпілотних літальних апаратів.

Після цього представлена онтологія задачі (предметної галузі), а також онтологія методів оптимізації форми пружного тіла (а саме колони) з погляду втрати стійкості при повздовжньому навантаженні з акцентом на методи недиференційованої оптимізації, запропоновані академіком Н.З. Шором. В онтології робиться акцент на субградієнтні методи. Ці методи дають нам змогу вирішувати ситуації, у яких виникають проблеми із застосовністю класичних диференціальних методів. Особлива увага відводиться r-алгоритмам (субградієнтні методи з розтягненням простору в напрямі різниці двох послідовних субградієнтів).

Наведені також елементи онтології інтервального аналізу для розрахунку допусків при посадці колони, ураховуючи різні способи закріплення її кінців: шарнір – шарнір, жорстке кріплення – шарнір, жорстке кріплення – вільний кінець, жорстке кріплення – жорстке кріплення. Під онтологією розуміється «формальна специфікація концептуалізації». Теоретико-категоріальне представлення онтології дає компактне представлення предметної галузі й розширює можливі методи вирішення проблеми оптимізації.

Ключові слова: *стійка колона, форма пружного тіла, задача оптимізації, методи оптимізації, субградієнтні методи, недиференційована оптимізація, онтологія проблеми.*

Постановка проблеми. У зв'язку з розвитком машинобудування, авіації та ракетної техніки в сучасних умовах висуваються підвищені вимоги до ефективного використання матеріальних ресурсів, які забезпечуються за рахунок зниження матеріаломісткості кінцевої продукції зі збереженням її функціональності. Одними з найбільш використовуваних механічних конструкцій при створенні літальних апаратів є колони. Саме тому доцільним є дослідження, що стосується оптимізації форми стійкої колони, навантаженої зверху поздовжньою силою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Це питання не нове, його дослідження розпочалося ще з робіт Ейлера та Лагранжа, але й зараз продовжує викликати інтерес у науці. Автор статті в роботі спирається на дослідження Н. Ольхоффа й С. Расмунссена, які виявили, що проблеми оптимізації фігури можна звести до проблем недиференційованої оптимізації [2]. Також на роботи академіка Н.З. Шора, який займався питаннями недиференційованої оптимізації форми тіл, що витримують максимальне навантаження, і запропонував декілька методів оптимізації [3]. Науковий керівник автора Н.М. Глазунов розпочав досліджувати можливість застосування r-алгоритмів до вирішення задачі оптимізації пружних тіл [4]. Автор статті продовжив дослідження в цьому ж напрямі.

Постановка завдання. У статті автор представляє частину своєї роботи, яка стосується онтології задачі й онтології методів недиференційованої оптимізації. Ці методи дають змогу нам вирішувати ситуації, у яких виникають проблеми із застосовністю класичних диференціальних методів. Також додається онтологія інтер-

вального аналізу для обчислення допусків при посадці колони, ураховуючи різні способи закріплення її кінців.

Виклад основного матеріалу дослідження. Постановка задачі. Розглянемо колону зі змінними, але геометрично подібними й однаково орієнтованими поперечними перерізами, навантажену поздовжньою силою P. Утрата стійкості колони описується відомим рівнянням Бернуллі-Ейлера:

$$\left(EIy''\right)'' + Py'' = 0\,,\ 0 < x < L\,, \qquad (1)$$

де *y(x)* – функція прогину (бокове відхилення колони в т. *x*); *L* – довжина колони; *E*-модуль Юнга.

$I\left(x\right) = kA^{\alpha}\left(x\right)$ – момент інерції фіксованого перерізу стосовно осі z, перпендикулярної до площини прогину, $A\left(x\right)$ – площа поперечного перерізу колони. Формула для $I\left(x\right)$ береться з таблиці залежно від форми поперечного перерізу тіла.

Розглянемо випадок круглого поперечного перерізу, тоді

$$I\left(x\right) = \frac{1}{4}\pi R^4\left(x\right) = (\pi R^2)^2 \cdot \frac{1}{4\pi} = A^2\left(x\right)\cdot\frac{1}{4\pi} \ \Rightarrow\ k = \frac{1}{4\pi},\ \alpha = 2\,.$$

Об'єм колони описується інтегралом

$$V = \int_0^L A\left(x\right)dx. \qquad (2)$$

Для зручності введемо безрозмірні величини

$$x^0 = \frac{x}{L}, \qquad y^0 = \frac{y}{L},$$

$$a\left(x^0\right) = \frac{A\left(Lx^0\right)L}{V}, \quad \lambda = \frac{PL^{2+\alpha}}{EkV^{\alpha}} = \frac{4\pi PL^4}{EV^2}\,.$$

Тоді (1)–(2) матимуть вигляд (верхній індекс «0» у змінних x^0, y^0 тут і нижче опускаємо):

$$(a^2\left(x\right)y'')'' + \lambda y'' = 0 \quad (-\frac{1}{2} < x < \frac{1}{2}) \qquad (3)$$

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} a\left(x\right)dx = 1. \qquad (4)$$

Залежно від способу закріплення кінців колони можливі різні граничні умови. Наприклад, якщо розглянути випадок, коли один кінець колони жорстко закріплений, а інший – вільний. Тоді граничні умови матимуть вигляд:

$$y\left(-\frac{1}{2}\right) = y'\left(-\frac{1}{2}\right) = 0,\ \left(a^2y''\right)_{x=\frac{1}{2}} = (a^2y''+\lambda y)'_{x=\frac{1}{2}} = 0. \quad (5)$$

Задача оптимізації полягає в знаходженні функції площі поперечного перерізу $a\left(x\right) \geq 0$, максимізуючій критичну силу втрати стійкості (мінімальне власне значення λ_0 задачі (3), (5)) і задовольняючій умові сталості об'єму (4) [1, с. 46–47].

Онтологія задачі й методів її розв'язання. Побудуємо онтологію задачі й методів оптимізації форми пружного тіла з погляду втрати стійкості навантаження з акцентом на методи оптимізації, запропоновані академіком Н.З. Шором. Також додамо онтологію інтервального аналізу для обчислення допусків при посадці колони.

Під онтологією розуміємо «формальну специфікацію концептуалізації» [5, с. 199]. Побудуємо елементарні поняття й концепції предметної галузі, елементарні правила та відносини між поняттями. Ми використовуємо такі відносини між поняттями:

v вище поняття
н нижче поняття
а асоціативний зв'язок
с синонім

ПРУЖНЕ ТІЛО
в – ТІЛО
н – КОЛОНА
СТЕРЖЕНЬ
БАЛКА
ПЛАСТИНА

КОЛОНА
в – ПРУЖНЕ ТІЛО
н – КОЛОНА ПОСТІЙНОГО ПЕРЕРІЗУ
КОЛОНА ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ
а – НАВАНТАЖЕНА КОЛОНА
ВИГИН КОЛОНИ

НАВАНТАЖЕНА КОЛОНА
а – КОЛОНА
НАВАНТАЖЕННЯ

НАВАНТАЖЕННЯ
н – НАВАНТАЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНЕ
НАВАНТАЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЄ
КОНСЕРВАТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ
НЕКОНСЕРВАТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ
КРИТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ
а – ЗГИНАЛЬНИЙ МОМЕНТ

НАВАНТАЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЄ
в – НАВАНТАЖЕННЯ
с – СТИСКАЮЧА СИЛА

КРИТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ
в – НАВАНТАЖЕННЯ
с – КРИТИЧНА СИЛА
а – УТРАТА СТІЙКОСТІ КОЛОНИ

УМОВА ВТРАТИ СТІЙКОСТІ КОЛОНИ
а – РІВНЯННЯ ПРУЖНОЇ ЛІНІЇ
РІВНЯННЯ ВИКРИВЛЕННЯ СТЕРЖНЯ ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ

РІВНЯННЯ ПРУЖНОЇ ЛІНІЇ
с – $EJ\dfrac{d^2y}{dx^2} = -Py$

а – ФУНКЦІЯ ВИГИНУ ($y(x)$)
МОДУЛЬ ЮНГА (E)

РІВНЯННЯ ВИКРИВЛЕННЯ СТЕРЖНЯ ПІД ДІЄЮ ВЛАСНОЇ ВАГИ

С – $EJ\frac{d^3y}{dx^3} + q(l\text{-}x)\frac{dy}{dx} = 0$

а – ФУНКЦІЯ ВИГИНУ ($y(x)$)
МОДУЛЬ ЮНГА (E)
МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ СТЕРЖНЯ (J)
ВАГА ОДИНИЦІ ДОВЖИНИ СТЕРЖНЯ (q)
СТИСКАЮЧА СИЛА У НИЖНЬОГО КІНЦЯ СТЕРЖНЯ (ql)

ЗАКРІПЛЕННЯ КОЛОН

с – ГРАНИЧНІ УМОВИ
н – ШАРНІР-ШАРНІР
ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ШАРНІР
ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ВІЛЬНИЙ КІНЕЦЬ
ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ – ЖОРСТКЕ КРІПЛЕННЯ

МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

н – СУБГРАДІЕНТНІ МЕТОДИ
а – ШОР Н.З.

СУБГРАДІЕНТНІ МЕТОДИ

в – МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
н – R-АЛГОРИТМИ

R-АЛГОРИТМИ

в – МЕТОДИ НЕДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
а – РОЗТЯГНЕННЯ ПРОСТОРУ
РІЗНИЦЯ ДВОХ ПОСЛІДОВНИХ СУБГРАДІЄНТІВ

ІНТЕРВАЛЬНИЙ АНАЛІЗ

с – ІНТЕРВАЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ
ІНТЕРВАЛЬНА МАТЕМАТИКА
ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА
в – ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МАТЕМАТИКА
а – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА

н – ДІЙСНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА
РАЦІОНАЛЬНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА
КОМПЛЕКСНА ІНТЕРВАЛЬНА АРИФМЕТИКА

ІНТЕРВАЛ

с – ІНТЕРВАЛЬНЕ ЧИСЛО
ЗАМКНЕНИЙ ДІЙСНИЙ ІНТЕРВАЛ
н – ЗНАКОПОСТІЙНИЙ ІНТЕРВАЛ
ЗНАКОЗМІННИЙ ІНТЕРВАЛ
ВИРОДЖЕНИЙ ІНТЕРВАЛ
а – АРИФМЕТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ВИРОДЖЕНИЙ ІНТЕРВАЛ

с – ТОЧКОВИЙ ІНТЕРВАЛ
ЧИСЛО
в – ІНТЕРВАЛ

АРИФМЕТИЧНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

н – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ
УНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

н – ДОДАВАННЯ ІНТЕРВАЛІВ
ВІДНІМАННЯ ІНТЕРВАЛІВ
МНОЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ
ДІЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

ДОДАВАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

с – $[a,b] + [c,d] = [a + c, b + d]$
в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ВІДНІМАННЯ ІНТЕРВАЛІВ

с – $[a,b] - [c,d] = [a - d, b - c]$
в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

МНОЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

с – $[a,b] \times [c,d] = [\min(ac, ad, bc, bd), \max(ac, ad, bc, bd)]$
в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

ДІЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ

с – $[a,b]/[c,d] = [\min(a/c, a/d, b/c, b/d), \max(a/c, a/d, b/c, b/d)]$
в – БІНАРНІ ОПЕРАЦІЇ НАД ІНТЕРВАЛАМИ

МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

н – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРІ
МЕТОДИ ЗВУЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ БЕЗЛІЧ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
а – ІНТЕРВАЛЬНЕ РОЗШИРЕННЯ
ІНТЕРВАЛЬНА ОЦІНКА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРІ

в – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
н – ПРЯМІ МЕТОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ
ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ПРОГОНКИ
ІНТЕРВАЛЬНІ ІТЕРАЦІЙНІ МЕТОДИ ДЛЯ СЛАР

ПРЯМІ МЕТОДИ ДЛЯ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ

в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ В ЛІНІЙНІЙ АЛГЕБРІ
н – ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ГАУСА

МЕТОДИ ЗВУЖЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ, ЩО МІСТЯТЬ БЕЗЛІЧ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ

в – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
н – МЕТОД СКЕЛБОУ
МЕТОД ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ІНТЕРВАЛЬНОЇ АРИФМЕТИКИ
МЕТОД ОБЧИСЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕСТАНДАРТНОЇ АРИФМЕТИКИ

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЛІНІЙНИХ АЛГЕБРАЇЧНИХ РІВНЯНЬ
в – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
н – МЕТОД МУРА
АНАЛОГ МЕТОДУ ЧЕБИШЕВА
МЕТОД ХАНСЕНА
МЕТОД КРАВЧИКА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
в – МЕТОДИ ІНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛІЗУ
н – ЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
НЕЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОШІ
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЗДР
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ЧАСТИННИМИ ПОХІДНИМИ ТА ІНТЕРВАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

ЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
н – МЕТОДИ МУРА
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ S-ГО ПОРЯДКУ ТИПУ РУНГЕ-КУТТА
ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ ТИПУ АДАМСА
ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ПРЯМОКУТНИКІВ
ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ ТРАПЕЦІЙ
ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКУ НА ОСНОВІ КВАДРАТУРНОЇ ФОРМУЛИ «ТРЬОХ ВОСЬМИХ»
МЕТОД, ЗАСНОВАНИЙ НА ЗАСТОСУВАННІ ФОРМУЛИ СІМПСОНА

НЕЯВНІ МЕТОДИ ДЛЯ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
н – АНАЛОГ НЕЯВНОГО МЕТОДУ ЕЙЛЕРА
НЕЯВНИЙ ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ДРУГОГО ПОРЯДКУ
НЕЯВНІ ІНТЕРВАЛЬНО-АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ БІЛЬШ ВИСОКИХ ПОРЯДКІВ
НЕЯВНИЙ МЕТОД НА ОСНОВІ ФОРМУЛИ СІМПСОНА

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОШІ
в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
н – МЕТОД КРЮКЕБЕРГА
МЕТОД БАУХА
ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ РІВНЯННЯ БАУХА
ІНТЕРВАЛЬНИЙ МЕТОД ДЛЯ РІВНЯННЯ $y' = f(y)$ НА ОСНОВІ ТЕОРЕМИ ЧАПЛИГІНА
МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯННЯ $y' = f(x, y)$

ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЗДР
в – ІНТЕРВАЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ
н – АНАЛОГ МЕТОДІВ СКІНЧЕННИХ РІЗНИЦЬ
МЕТОД ОЛІВЕЙРА

Висновки. Коротко розглянута проблема оптимізації форми стійкої колони, що входить до складу механічних конструкцій літальних апаратів. Подані онтології задачі та методів оптимізації форми стійкої колони, навантаженої зверху, з акцентом на методи недиференційованої оптимізації. Також представлені елементи онтології інтервального аналізу для розрахунку допусків при посадці колони. Це, у свою чергу, дає нам компактне представлення предметної галузі й розширює можливі методи вирішення проблеми оптимізації.

Список літератури:

1. Сейранян А.П. Задача Лагранжа о наивыгоднейшем очертании колонны. *Успехи механики.* Москва, 2003. № 2. С. 45–96.
2. Olhoff N., Rasmussen S. On single and bimodal optimum buckling loads of clamped columns. *Int. Journ. Solids Struct.* United Kingdom, 1977. Vol. 13. № 7. P. 605–614.
3. Shor N.Z. Nondifferentiable optimization and polynomial problems. Boston : Kluwer Acad. Publ., 1998. 394 p.
4. Glazunov N. Nondifferential Optimization and Shapes of Elastic Bodies. *Modelare Matematica, Optimization si Technologii Informationale:* Materiale Conf. Intern. (Chisinau, 25 mar. 2014). Chisinau : Evrica, 2014. Vol. 2. P. 109–116.
5. Gruber T. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition.* USA, 1993. Vol. 5. № 2. P. 199–220.

Andreieva T.V. SHAPE OPTIMIZATION OF THE ELASTIC STABLE COLUMN, THAT LOADED ON THE TOP

The article gives a short overview of the shape optimization problem of an elastic stable column, that loaded on the top by the longitudinal force P. The column is considered with variable, but geometrically similar and equally oriented cross sections. This design is often used in the construction of more complex mechanical structures of aircraft. Therefore, by optimization the shape of mechanical structures, you can significantly reduce the weight of aircraft. And as is well known, the problem of weight minimization is critical in the design of unmanned aerial vehicles.

After that, the ontology of the problem (subject area) is presented, as well as the ontology of methods for optimization the shape of an elastic body (namely, columns) in terms of loss of stability under longitudinal loading with emphasis on methods of undifferentiated optimization proposed by Academician N.Z. Shor. The ontology emphasizes subgradient methods. These methods allow us to solve situations in which there are problems with the applicability of classical differential methods. Particular attention is paid to r-algorithms (subgradient methods with space stretching in the direction of the difference of two consecutive subgradients).

The elements of the ontology of interval analysis for calculating the tolerances when landing a column are also given, taking into account different ways of fixing its ends: hinge – hinge, rigid fastening – hinge, rigid fastening – free end, rigid fastening – rigid fastening. Ontology means "formal specification of conceptualization". Theoretical-categorical representation of ontology gives a compact representation of the subject area and expands the possible methods of solving the optimization problem.

Key words: *stable column, elastic body shape, optimization problem, optimization methods, subgradient methods, undifferentiated optimization, problem ontology.*

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.25:621.039:661.654
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/04

Козоровська К.А.
Одеський національний політехнічний університет

Беглов К.В.
Одеський національний політехнічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ БОРНОЇ КИСЛОТИ В ПЕРШОМУ КОНТУРІ АЕС ЯК НЕЛІНІЙНОГО ОБ'ЄКТА

Концентрація борної кислоти як об'єкт регулювання має різні статичні та динамічні властивості під час нанесення керівного впливу з різними знаками. Тому виникає завдання плавного регулювання потужності енергоблоків атомної електростанції (далі – АЕС). Одним із методів регулювання є зміна концентрації борної кислоти в теплоносії першого контура АЕС. Протягом добового циклу в енергосистемі є невідповідність між виробленням і споживанням електричної енергії, а сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми дуже мала, тому актуальною є адаптація дієвих енергоблоків АЕС до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління енергоблоку потужністю в маневрених режимах. Хоча обладнання першого контура і допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю, всі АЕС із ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні. Раніше було запропоновано нові алгоритми управління потужністю енергоблоку за компромісно-комбінованійою програмою регулювання. Одним з елементів зазначеної системи регулювання є регулятор потужності енергоблоку, який ураховує нелінійні властивості об'єкта регулювання та покращити якість перехідних процесів під час зміни потужності енергоблоку АЕС у маневровому режимі. Усі АЕС із ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблоку на заданому рівні, хоча обладнання першого контура допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю. Ще одним елементом зазначеної системи регулювання є адаптивний регулятор потужності, який впливає на реактор зміною концентрації рідкого поглинача. Таким чином, розглянемо в статті властивості зазначеного регулятора.

Ключові слова: *енергоблок АЕС, борне регулювання, нелінійна модель, маневрування, потужність, адаптивний регулятор.*

Постановка проблеми. Одним із методів управління потужністю реактора типу водо-водяного енергетичного реактора (далі – ВВЕР) є борне регулювання. Натепер борне регулювання використовується для компенсації надлишкової реактивності ядерного палива, яке завантажується до реактора на початку його експлуатації. Унаслідок цього борне регулювання енерговиділення виконується дискретно та під час оперативного регулювання потужності не використовується. Однією з причин цього факту є нелінійні властивості об'єкта керування. Це належить як до контура керування концентрацією борної кислоті в теплоносії як частині системи керування потужністю ядерного реактора, так і до контура керування потужністю енергоблоку в цілому. Нелінійність об'єкта керування полягає у тому, що коефіцієнт передання та постійна часу об'єкта керування залежить від величини та знаку керівного впливу. Тому на атомній електростанції (далі – АЕС) штатні регулятори концентрації борної кислоти та потужності не забезпечують якісного керування цих технологічних параметрів. Звідси виникає завдання синтезу автоматизованої системи регулювання, яка враховує цей вид нелінійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Майже за десять років проведено досить багато досліджень стосовно можливостей керування потужністю енергоблоку АЕС для реалізації

маневрового режиму експлуатації, зокрема досліджувались як властивості об'єкта керування, так і синтез різноманітних алгоритмів керування.

Так, однією з перших робіт, присвячених дослідженню властивостей дільниці концентрації борної кислоти в теплоносії першого контура реакторної установки з ВВЕР-1000, є робота Р.Б. Медведєва, О.В. Сангінової [1]. У ній наведено експериментальні залежності, які стали в подальшому основою для розроблення нелінійної математичної моделі. Також було обґрунтовано можливість застосування безперервного керування концентрацією борної кислоти.

Роботи К.В. Беглова, О.О. Волошкіної, О.А. Плахотнюка, К.В. Чорнофостової [2–3] присвячено подальшому розвитку математичної моделі ділянки концентрації борної кислоти в теплоносії першого контура, а також дослідженню автоматизованих систем керування із застосуванням типових регуляторів із пропорційно-інтегральним (далі – ПІ) законом керування.

У роботах К.В. Беглова, Н.І. Кисельової, Я.С. Погрібного, Д.В. Давидченка, О.В. Добаріної [4–6] наведено дослідження систем регулювання потужності енергоблоку під час роботи останнього в умовах маневрового режиму. Маневрування в цих дослідженнях виконується за допомогою борного регулювання. У роботі К.В. Беглова, О.В. Добаріної [6] проведено порівняння між собою різних програм керування та наведено основні показники якості перехідних процесів. Показано, що штатна АСР у загальному випадку виконує регулювання, але в деяких випадках відхилення керованої величини мають досить великі значення. У роботі К.В. Беглова, Д.В. Давидченка [5] розглянуто синтез нечіткого регулятора. Якість перехідних процесів у цьому разі задовольняє умови експлуатації АЕС, але сам алгоритм не може бути використаний в АЕС за умов сертифікації алгоритмів керування.

Пошук допустимих для АЕС алгоритмів керування привів до аналізу робот В.А. Бейнаровича [7] і [8]. У них розглядаються адаптивні системі керування для умов змінення коефіцієнтів передання та постійних часу об'єкта керування. Тобто цей алгоритм придатний саме для керування концентрації борної кислоти в першому контурі АЕС.

На базі вищевказаних робіт досліджено адаптивну систему регулювання, коли змінюється коефіцієнт передання. Результати дослідження було наведено в роботі К.А. Козоровської, Р.А. Газгірєєва, К.В. Беглова [9]. Якість перехідних процесів у загальному випадку задовільна, але на початку роботи системи адаптації відхилення керованої величини сягали недопустимих значень.

Постановка завдання. Мета роботи – синтезувати автоматизовану систему керування концентрацією борної кислоти в теплоносії першого контуру для нелінійного об'єкта, у якого постійна часу є змінним параметром. Пропонується застосувати адаптивний алгоритм керування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для автоматичного управління об'єктами зі змінною постійною часу можна будувати адаптивні системи з еталонною моделлю за структурою, що складається з адаптивної частини А, звичайного регулятора 6 і каналу зворотного зв'язку 7 (рис. 1) [8].

Адаптивна частина А складається з таких частин:

1 – об'єкт керування (ОК) із змінною постійною часу $T_v(t)$;

2 – коригувальна ланка;

3 – еталонна модель 3 ОК з бажаною постійною часу T_m ;

4 – ланка узгодження виходу ОК $y(t)$ с виходом Z_m еталонної моделі,

5 – блок адаптації коригувальної ланки.

Контур адаптації охоплює частину основної системи управління, утворюючи додатковий негативний зворотний зв'язок через блок 5, здійснюючи синтез управління u_r, що забезпечує за $\alpha(t) = 0$ рівність процесів на виходах ОК 1 і еталонної моделі 3.

Зміна постійної часу $T_V = 1/\omega_V$ об'єкта управління еквівалентна наявності «блукального» полюса ω_V в передавальної функції об'єкта управління і завдання контура адаптації полягає у створенні рухомого нуля, що забезпечує компенсацію переміщень «блукального» полюса. Це завдання вирішується зміною коефіцієнта передання верхньої гілки коригувальної ланки 2 під час зміни вихідного сигналу $m(t)$ блоку адаптації 5. За рис. 1 передавальну функцію ланки 2 за каналом $r(t) - u_r(t)$ можна записати у вигляді $W_2(s) = \dfrac{s+m}{s+\omega_m}$. Тоді отримаємо

$$Z(s) = \frac{k(s+m)}{(s+\omega_m)(s+\omega_v)C_m(s)} \cdot r(s)$$

$$Z_m(s) = \frac{k}{(s+\omega_m)C_m(s)} \cdot r(s)$$

При $m(t) = \omega_v(t)$ значення $\alpha(t) = 0$ і в системі йде необхідний сталий режим $y(t)$. Під час зміни ω_V виникає неузгодженість $\alpha(t) \neq 0$ і $m(t)$ почне змінюватися до $\alpha(t) = 0$ за іншого значення $m(t)$.

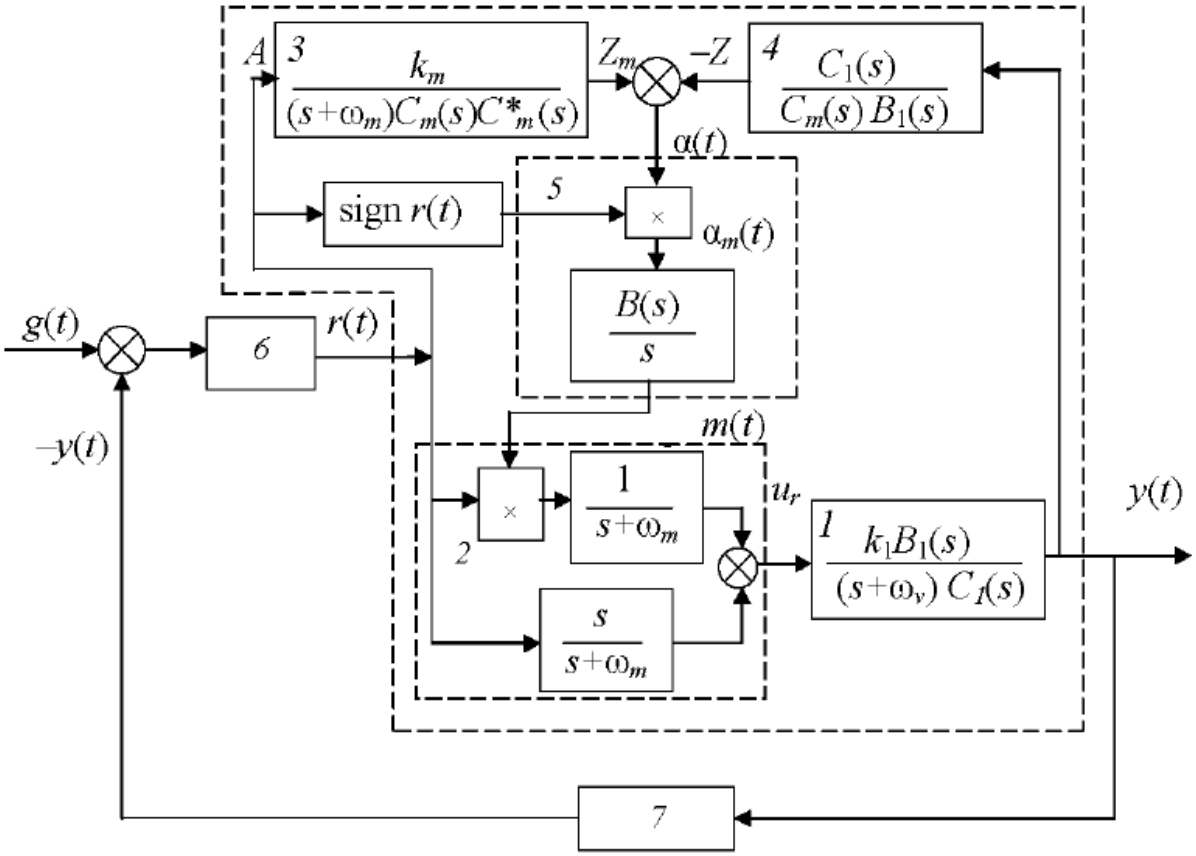


Рис. 1. Структурна схема адаптивних САУ об'єктами управління зі змінною постійною часу

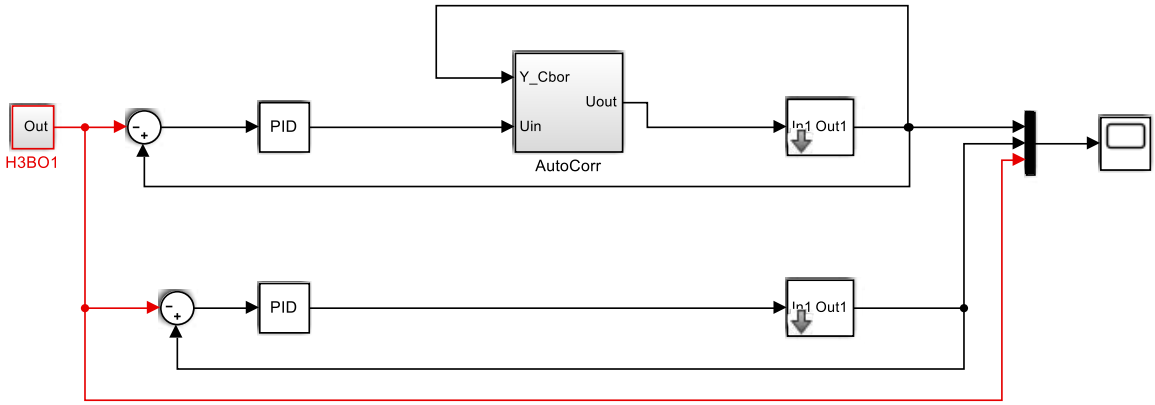


Рис. 2. Схема моделювання автоматичної системи керування концентрації борної кислоти

Результати досліджень. Розглянуту адаптивну систему автоматичного керування з еталонною моделлю реалізовано в пакеті Matlab для підтримки концентрації борної кислоти в теплоносії першого контура енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. Як було зазначено, об'єкт регулювання має змінні коефіцієнти передання $k(u)$ та постійну часу $T(u)$. Схема моделювання показана на рисунках 2 та 3.

На рисунку наведено імітаційну модель АСК, яка дозволяє порівняти штатну систему керування (нижня гілка) та запропоновану адаптивну систему керування (верхня гілка). Блок адаптації AutoCorr розташований між штатним регулятором та об'єктом керування. Схему моделювання блоку адаптації наведено на рисунку 3.

На основі середніх значень коефіцієнтів об'єкта керування, які отримані в роботах [2] і [3], було взято такі властивості еталонної моделі: постійна часу T = 1000 с; коефіцієнт передання k = 28.

Таким чином, передавальні функції блоку адаптації мають вигляд:

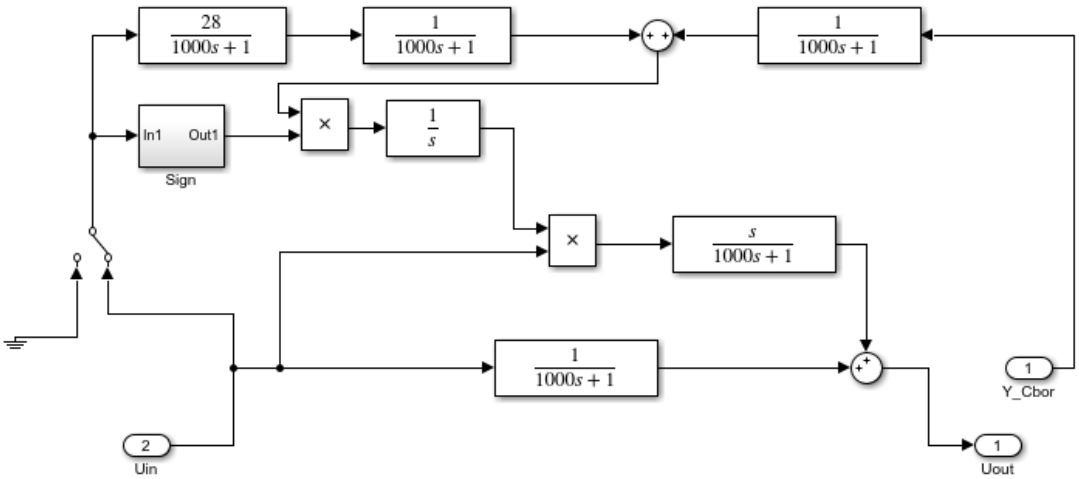


Рис. 3. Схема моделювання САУ концентрації борної кислоти з адаптивним регулятором

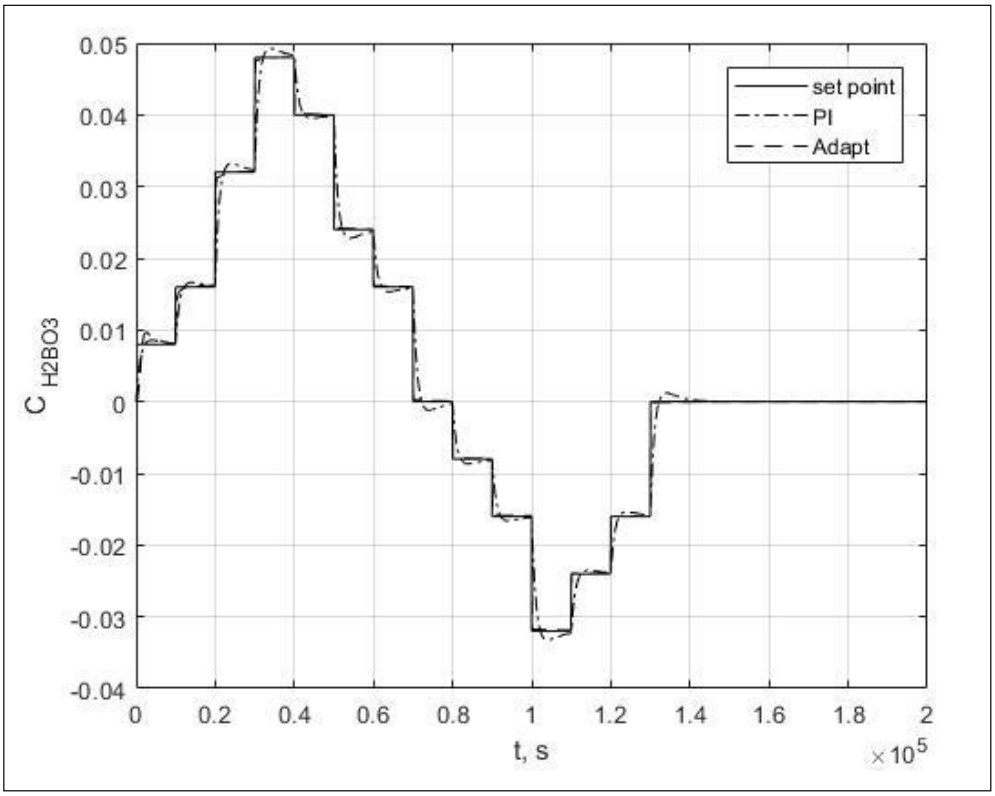


Рис. 4. Перехідний процес регулювання концентрації борної кислоти

Ланка 3 – $W_3(s) = \dfrac{28}{1000s+1} \cdot \dfrac{1}{1000s+1}$

Ланка 4 – $W_4(s) = \dfrac{1}{1000s+1}$

Ланка 2 – $W_2(s) = \dfrac{s+1}{1000s+1}$

Як указано в [8], коли порядок моделі $C_m(s)$ є більшим ніж перший, доцільно обирати $B(s)=h$. У першому наближенні було взято h=1.

У процесі дослідження АСК використано налаштування регулятора, отримані в [2]. Перехідний процес регулювання в АСК без використання адаптації та з використанням адаптивного регулятора показано на рисунках 4 та 5.

На рисунку лінія, що відповідає перехідному процесу в АСК з адаптивним регулятором, майже збігається з лінією, що відповідає завданню. Тому на рисунку 5 наведено фрагмент того ж графіка, але в діапазоні часу від 20000 с до 60000 с.

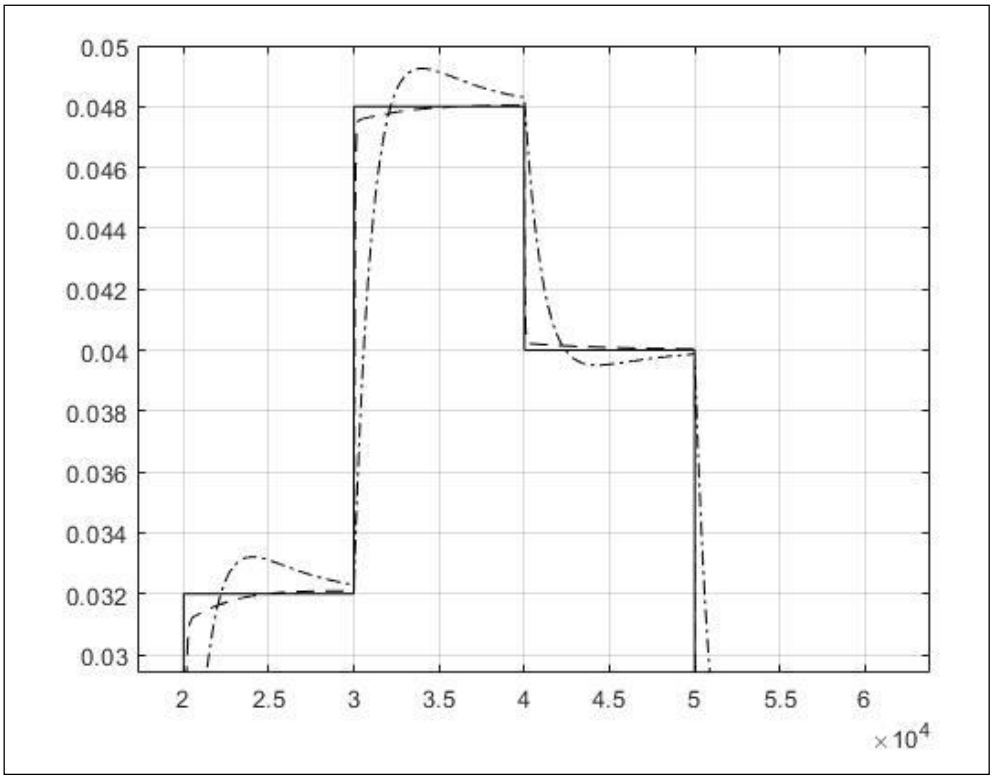


Рис. 5. Фрагмент перехідного процесу регулювання концентрації борної кислоти: – завдання, –. – штатний ПІ-регулятор, – - – адаптивний регулятор

Цей відрізок був обраний тому, що саме під час зміни знаку керівного впливу, як показано в роботі [9], спостерігалось максимальне відхилення керованої величини. Під час використання нового алгоритму адаптації якість перехідного процесу повністю задовольняє вимоги, пред'явлені на АЕС.

Висновки. Із точки зору керування дільниці концентрації борної кислоти в першому контурі енергоблоку АЕС із реактором ВВЕР-1000 є нелінійним об'єктом, властивості якого залежать від величини та знаку керівного впливу. Для керування таким об'єктом запропоновано АСК з адаптивним регулятором, що значно краще підтримує керовану величину порівняно зі штатною АСК з ПІ-регулятором, а саме: перерегулювання відсутнє, процес аперіодичний, час регулювання вдвічі менший. Таким чином, адаптивний регулятор більш точно підтримує керовану величину, більш точно відповідає завданню.

Список літератури:

1. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2002. № 2 (22). С. 22.

2. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Праці Одеського політехнічного університету*, 2015. Вип. 2(36). 7 с.

3. Чорнофостова К.В., Беглов К.В. Моделювання зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського,* 2020. Том 31 (70). № 2. 6 с.

4. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. *Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського». Серія : Технічні науки,* 2018. Вип. 29(68). Ч. 1. № 3. С. 134–140.

5. Давидченко Д.В., Беглов К.В. Исследование нечеткого регулятора мощности энергоблока АЭС. *Вестник Херсонского национального технического университета.* 2018. № 3-2 (66). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-nechetkogo-regulyatora-moschnosti-energobloka-aes.

6. Добаріна О.В., Беглов К.В. Дослідження системи регулювання потужності енергоблока АЕС при зміненні програми регулювання. *Вестник херсонского национального технического университета.* 2019. № 2 (69), С. 54–60.

7. Бейнарович В.А. Инвариантные самонастраивающиеся системы автоматического управления. Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2008. № 1 (17). С. 61–64.

8. Бейнарович В.А. Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью. *Доклады ТУСУР*. 2010. № 1 (21). Ч. 1. С. 67–69.

9. Козоровська К.А., Газгірєєв Р.А., Беглов К.В. Дослідження АСР концентрації борної кислоти (БК) у першому контурі АЕС під час використання самоналагоджувального регулятора. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*, 2019. Т. 30 (69). № 2. 5 с.

Kozorovska K.A., Behlov K.V. INVESTIGATION OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR THE CONCENTRATION OF BORIC ACID IN THE FIRST CIRCUIT OF A NUCLEAR POWER PLANT AS NONLINEAR OBJECT

The concentration of boric acid, as an object of regulation, has different static and dynamic properties when applying a control effect with different signs. Therefore, there is a problem of smooth regulation of the power of NPP power units. One of the control methods is to change the concentration of boric acid (BC) in the coolant of the primary circuit of the NPP. During the daily cycle, in the power system, there is a discrepancy between the production and consumption of electric energy, and the total share of installations intended to regulate the load of the power system is very small, so it is relevant to adapt existing NPP power units to new specific conditions by creating an automated control system for the power unit's capacity in maneuverable modes. Although the primary circuit equipment allows operation in power maneuvering modes, all nuclear power plants with VVER-1000 are operated in the power unit power stabilization mode at a given level. Earlier, new algorithms for controlling the power unit's capacity were proposed under a compromise-combined control program. One of the elements of this control system is the power unit power regulator, which takes into account the nonlinear properties of the control object and improves the quality of transients when changing the power of the NPP power unit in shunting mode. All nuclear power plants with VVER-1000 are operated in the power unit power stabilization mode at a given level, although the primary circuit equipment allows operation in power maneuvering modes. Earlier, new algorithms for controlling the power unit's capacity were proposed under a compromise-combined control program. One of the elements of this control system is an adaptive power regulator, which acts on the reactor by changing the concentration of the liquid absorber. Thus, we will consider the properties of the specified regulator in the article.

Key words: *NPP power unit, boron regulation, nonlinear model, maneuvering, power, adaptive controller.*

УДК 62-5:620.4
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/05

Максимова О.Б.
Інститут Військово-Морських Сил
Національного університету «Одеська морська академія»

Мінчев Д.С.
Одеський національний політехнічний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ МІСТА В УМОВАХ НАЯВНОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ

У роботі досліджуються імітаційні моделі системи теплопостачання міста об'єкта в умовах використання альтернативних енергетичних потоків, що відрізняються різною вартістю. Імітаційна модель складається з математичної моделі теплових процесів окремої квартири і багатоквартирного дому, математичних моделей устаткування систем теплопостачання і моделей процесів теплопостачання від різних джерел теплової енергії. Удосконалено математичну імітаційну модель системи теплопостачання міського району, споживача тепла при випадкових збуреннях, яка визначає його структуру, розглядається збурення фізичної природи температури навколишнього середовища і зміна вартості енергетичних джерел. Така структура визначається множиною технічних засобів, які розглядаються на базі рішення нестаціонарної задачі теплопередачі, що дає можливість формувати поточну модель залежно від збурень і різних витрат фінансових ресурсів. Розв'язання поставленої задачі відбувається за рахунок підвищення ефективності системи теплопостачання міста за рахунок розробки імітаційної моделі системи, що функціонує в умовах наявності альтернативних енергетичних потоків. Основна ідея розв'язання поставленої задачі полягає в тому, що до споживача підключається різні джерела енергопостачання, що збільшує кількість можливих комбінацій. Наявність альтернатив дозволить забезпечити необхідну теплову потужність шляхом комбінації наявного обладнання і досягти мети з мінімальними витратами.

Розроблена імітаційна модель транспортної системи дала можливість використовувати її в розподілених системах теплопостачання для забезпечення економічно доцільного процесу доставки теплоносія від джерела теплової енергії до споживача з урахуванням теплових і фізичних втрат теплоносія. Це дозволить надалі керувати структурою ціни енергопостачання.

Ключові слова: *імітаційна модель, система теплопостачання, збурення, змінна технічної структури, альтернативні джерела енергії.*

Постановка проблеми. Основна вимога до моделей, що розробляються, – обчислювальна простота. Як показали дослідження [1, с. 70], спроби точного моделювання температурних полів, або використання таких алгоритмів розв'язання задач, як динамічне програмування або генетичні алгоритми, призводять до суттєвого зростання обчислювальної складності вирішуваних завдань. Як наслідок, рішення виходять або на малих інтервалах часу, або з великою похибкою.

Для імітаційного моделювання міста доцільно виділити такі елементи: квартира, будинок, джерело теплової енергії, система теплопостачання.

Модель будинку повинна враховувати процеси теплообміну між окремими квартирами і всього будинку з навколишнім середовищем, а також моделювати зміни параметрів теплоносія, що надходить в будинок від різних теплових джерел.

Завдання моделей джерел теплової енергії – імітація процесу нагріву теплоносія з урахуванням можливих фізичних і теплових втрат, а також управління процесом підтримки заданої температури теплоносія з урахуванням температурного графіка.

Модель системи опалення набуває особливої важливості під час розгляду розподілених систем, таких як, наприклад, районні котельні. В цьому разі стають істотними витрати на транспортування теплоносія, а також теплові та фізичні втрати теплоносія в магістральних трубопроводах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження, пов'язані з імітаційним моделюванням теплопостачання сучасних міст і міських районів, останнім часом популярні в усьому світі [2, с. 378; 3, с. 41]. Вони спрямовані як на вдосконалення існуючих моделей, так і на розробку

нових підходів в моделюванні технологій отримання теплової енергії [4, с. 36; 5, с. 22]. Доцільність дослідження можливих моделей джерел і споживачів теплової енергії, а також методів підвищення ефективності процесів теплопостачання продемонстровані в [6, с. 892; 7, с. 172; 8, с. 3749; 9, с. 185].

Постановка завдання. Метою статті є підвищення ефективності системи теплопостачання міста за рахунок розробки імітаційної моделі системи, що функціонує в умовах наявності альтернативних енергетичних потоків.

Досягнення мети здійснюється розробкою імітаційних моделей:

– теплових процесів окремої квартири;

– теплових процесів багатоквартирного будинку;

– обладнання систем теплопостачання;

– процесів теплопостачання від різних джерел теплової енергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо імітаційні моделі елементів і процесів системи. Моделювання процесу опалення квартири засноване на визначенні коефіцієнта тепловіддачі радіатору α_p, його площі S_p, температури теплоносія $t_p^{вх}$ на вході, витраті теплоносія G_p і температурі повітря $t_к$. Кількість теплоти, що надійшла в квартиру, визначалося як:

$$Q_p = \alpha_p S_p (t_p^{вх} - t_к)\Delta\tau \qquad (1)$$

Величина Q_p визначає зміну температури повітря. Математична модель радіатору була доповнена шляхом введення коефіцієнту ξ, що імітує роботу керуючого вентиля на вхідному патрубку радіатора. Величина ξ приймає значення від 0, що відповідає закритій тепловій арматурі і відсутності витрат теплоносія в радіаторі, до 1, що відповідає повністю відкритій тепловій арматурі і номінальній витраті теплоносія. З урахуванням коефіцієнту вираз (1) приймає вид:

$$Q_p = \xi\alpha_p S_p (t_p^{вх} - t_к)\Delta\tau$$

При цьому витрата теплоносія через опалювальний прилад визначається як:

$$G_p = \xi G_p^{ном}$$

де $G_p^{ном}$ – номінальна витрата теплоносія.

Підтримання температури повітря в квартирі зводиться до визначення значення коефіцієнту, що відповідає зміні положення вентиля на вхідному патрубку приладу опалення.

Відповідно до діючих норм на вентиляцію було визначена зміна температури в квартирі, зумовлена припливом зовнішнього повітря. При цьому була використана модель зміни температури навколишнього середовища, взята з [1, с. 69].

Основними розрахунковими виразами були:

– зміна температури t тіла масою m при підводі / відводі деякої кількості теплоти

$$Q:\ t = t + \frac{Q}{mC_p}; \qquad (2)$$

– температура суміші двох середовищ з масами і початковими температурами

$$t_1,\ t_2:\ t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}. \qquad (3)$$

Враховуючи досвід попередніх досліджень з використанням моделювання температурного поля будівель [1, с. 71; 10, с. 54], було вирішено максимально спростити обчислювальну задачу і розглядати моделювання процесу теплопередачі через стіни, підлогу і стелю кожної квартири як нестаціонарну одновимірну задачу теплопередачі через плоску стінку. Відповідно тривимірне температурне поле всього будинку було замінено окремими одновимірними полями огороджувальних конструкцій.

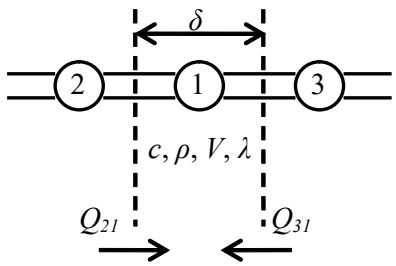


Рис. 1. Розбиття і числова сітка для нестаціонарної одновимірної задачі

Об'єкт розбивається на елементарні об'єми $V = \delta \times \delta \times 1 = \delta^2$ (рис. 1). Вважаючи, що питома теплоємність і коефіцієнт теплопровідності в межах елементарної ділянки постійні, для кожного елемента складається рівняння теплового балансу і визначається нове значення температури через кінцевий приріст часу $\Delta\tau$. У разі одновимірної нестаціонарної задачі (рис. 1) рівняння теплового балансу прийме вид:

$$Q_{21} + Q_{31} = \frac{c\rho V}{\Delta\tau}\left(t_1' - t_1\right).$$

Вирішуючи останнє рівняння щодо невідомої температури, отримуємо

$$t_1' = \frac{\lambda\Delta\tau}{c\rho V}\left(t_2 + t_3 + \frac{t_1}{\frac{\lambda\Delta\tau}{c\rho V}} - 2t_1\right)$$

Цей підхід застосуємо і для вирішення завдання теплопередачі. Припустимо, що між елементами 2 та 1 (рис. 1) здійснюється теплопередача з коефіцієнтом теплопередачі α, а через елементи 3 та 1 – теплопровідність, тоді температура t_1' буде визначатися за виразом

$$t_1' = t_1 + \frac{\alpha\Delta\tau}{c\rho\delta}\left(t_2 - t_1\right) + \frac{\lambda\Delta\tau}{c\rho\delta^2}(t_3 - t_1)\,. \qquad (4)$$

Під час вирішення завдання підтримання в квартирах заданої температури слід врахувати той факт, що температура теплоносія $t_{тн}$ у системі опалення залежить від температури навколишнього середовища $t_{ос}$ та температурного графіка. Цю залежність апроксимували виразом:

$$t_{тн} = (-0{,}0228 t_{тн}^{ном} + 0{,}509) t_{ос} + 0{,}5914 t_{тн}^{ном} + 9{,}12$$

де $t_{тн}^{ном}$ – максимальна температура теплоносія в трубопроводі, що подає.

Цей вираз також дозволяє отримати необхідне значення температури теплоносія в вузлових точках довільної системи опалення (на вході / виході котлів, теплових пунктів тощо) залежно від температурного графіка, що використовується, і температури навколишнього середовища.

Розглянемо модель теплових процесів у багатоквартирному будинку. Розроблена імітаційна модель квартири є елементарною коміркою, з яких формується довільне будівля. Як середньостатистичний був вибраний багатоквартирний 9-ти поверховий житловий будинок на 72 квартири. Планування будинку представлено на рис. 2.

Теплові процеси, що відбуваються в окремій квартирі, впливають на температурні поля всіх стін підлоги і стелі і, як наслідок, впливають на температури повітря в сусідніх квартирах, а також визначають величину втрат тепла в навколишнє середовище. Розроблена модель дозволяє задавати теплофізичні параметри кожної стіни окремо і таким чином імітувати різні матеріали і конструкції стін.

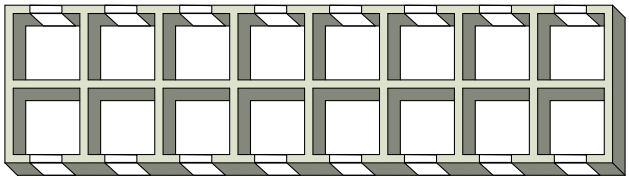


Рис. 2. Планування будинку

Можливість індивідуальної зміни витрат теплоносія в кожній квартирі визначила необхідність моделювання гідравлічної системи будинку. Спрощена схема гідравлічної системи показана на рис 3.

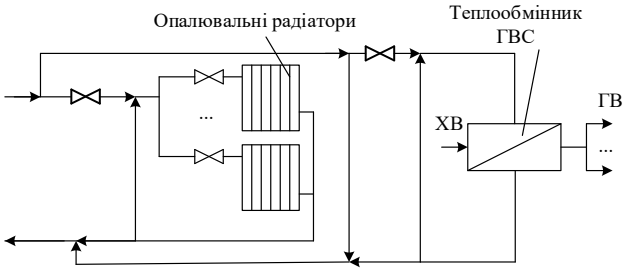


Рис. 3. Спрощена схема гідравлічної системи будинку

Розрахунок витрат теплоносія в різних потоках гідравлічної мережі виконувався за умови дотримання закону Кірхгофа [11, с. 126]:

$$\sum_i G_i = const\,,$$

де G_i – витрати теплоносія в одному вузлі гідравлічної мережі.

У разі змішування декількох потоків теплоносія з різними температурами температура суміші визначалася як:

$$t_{см} = \frac{\sum_i t_i G_i \Delta\tau}{\sum_i G_i \Delta\tau}$$

Завдання теплового пункту – забезпечити в системі опалення будинку температуру теплоносія відповідно до температурного графіка. Для цього на ТП встановлений відповідний регулятор, а задане значення температури визначається за (4).

Розглянемо моделі обладнання систем теплопостачання. В рамках цього дослідження були розглянуті такі джерела теплової енергії, як газовий котел, АГВ і теплонасосна установка.

Дослідження показали, що з погляду системи теплопостачання досить моделювати кількість генерованої теплової енергії як функції ККД котла:

$$Q = G_г R \tau$$

де $G_г$ – витрата газу, м^3/с; R – питома теплота згоряння, Дж/м^3.

Для вирішення завдання опалення, не виходячи з температурного графіка, визначалося необхідне значення температури теплоносія на виході котла. Кількість споживаного газу враховувалося у відповідному лічильнику. Теплотворна здатність газу і ККД котла визначали кількість корисної теплоти, що йде на нагрів теплоносія.

Відмінність моделі АГВ від котлів полягала в тому, що в АГВ міститься значна кількість води, яка акумулює тепло. У цьому разі температура суміші прямої і зворотної води в АГВ спочатку

знаходилась за виразом (3), а далі визначалося, наскільки температура зміниться з підведення теплоти від спаленого газу (2).

В основу моделі ТНУ була покладена залежність коефіцієнту трансформації енергії для ідеального циклу Карно [12, с. 154]:

$$K_{тр} = \frac{T_o}{T_o - T_{oc}}$$

де T_o – температурний потенціал тепла, що відводиться в систему опалення, *К*; T_{oc} – температура навколишнього середовища, *К*.

Реальний коефіцієнт трансформації менше ідеального і визначається ступенем термодинамічної досконалості компресора і незворотними втратами процесу:

$$K'_{тр} = \frac{T_o}{T_o - T_{oc}} h$$

Для вирішення завдання охолодження реальний коефіцієнт трансформації визначається як:

$$K'_{тр} = \frac{T_{oc}}{T_{oc} - T_o} h$$

Подальший розрахунок аналогічний розрахунку, що виконується для котлів. Одержуване / утилізоване тепло в ТНУ йде на зміну температури зворотної води в разі опалення, або холодної мережевої води – в разі ГВС.

Розглянемо моделі процесів теплопостачання від різних джерел теплової енергії. Якщо у разі з індивідуальними втратами джерела теплової енергії на транспортування теплоносія можна знехтувати, то для розподілених систем опалення це неприйнятно.

Чим більше розподілена система, тим більше довжина магістральних трубопроводів, більше кількість теплових пунктів, більше кількість різної арматури. Все це призводить до того, що в процесі експлуатації відбуваються постійні втрати теплоносія, пов'язані не тільки з технологічними потребами, а й зі зношуванням обладнання. Також велика протяжність трубопроводів призводить до більшого рівня теплових втрат. Всі ці фізичні і теплові втрати визначають вартість теплової енергії для кінцевого споживача. Тому для систем опалення, заснованих на різного виду котельнях, необхідно було додатково розробити моделі систем транспортування теплоносія.

Найбільшу складністю має модель систем опалення, що використовує районні котельні.

У рамках цього дослідження була розглянута система теплопостачання міського району, яка складається з 200 будинків. З котельні виходить 8 магістральних трубопроводів, які розподіляють теплоносій по різних напрямах. Діаметр труб становить 300 мм. У кожному трубопроводі на відстані 300 м один від одного розташовані 5 центральних теплових пунктів. Від кожного ЦТП йде один магістральний трубопровід діаметром 100 мм. До нього підключено 5 будинків на відстані 100 м один від одного.

Кожна ділянка магістрального трубопроводу характеризується фізичними і тепловими втратами теплоносія. Гранично допустиме значення теплових втрат в магістральних трубопроводах отримано через апроксимацію табличних даних для коефіцієнта лінійних втрат:

$$\alpha_{лин} = \beta \frac{(0,0012D + 0,1841)T + 0,0394D - 0,7873}{168}, \quad \text{Дж/(м·К)} \qquad (5)$$

де D – діаметр трубопроводу, мм; T – температурний перепад між теплоносієм і навколишнім середовищем, *К*; β – додатковий множник.

З погіршенням ізоляції рівень теплових втрат в трубопроводах збільшується. Величина β в (5) призначена для імітації цієї зміни стану ізоляції. Значення $\beta = 1$ відповідає нормованому рівню втрат.

Нормоване значення фізичних втрат теплоносія складає 5% від маси води, що знаходиться в гідравлічній системі. Для цієї теплової мережі лінійний коефіцієнт фізичних втрат $\phi = \beta \cdot 0,00008$ кг/м. Як і у разі з тепловими втратами додатковий коефіцієнт β дозволяє імітувати зміну фізичних втрат, пов'язаних з погіршенням стану трубопроводу. $\beta = 1$ відповідає ідеальному стану трубопроводу.

Для компенсації фізичних втрат у котельні передбачено додавання в систему холодної мережевої води.

Для вирішення завдання управління, в кожному ЦТП передбачений регулятор, що підтримує на виході температуру ЦТП відповідно до температурного графіка. Управління здійснюється шляхом підмішування в «обратку» гарячого теплоносія.

У загальному випадку в кожному ЦТП відбувається змішання двох потоків теплоносія: прямого гарячого потоку від котельні і зворотного потоку від споживача. На рис. 4 представлена гідравлічна схема ділянки теплової мережі. Цифрами позначені точки, в яких проводиться розрахунок витрат і температур теплоносія. Сам розрахунок складається з двох частин: в першій визначаються витрати теплоносія, в другій – температури.

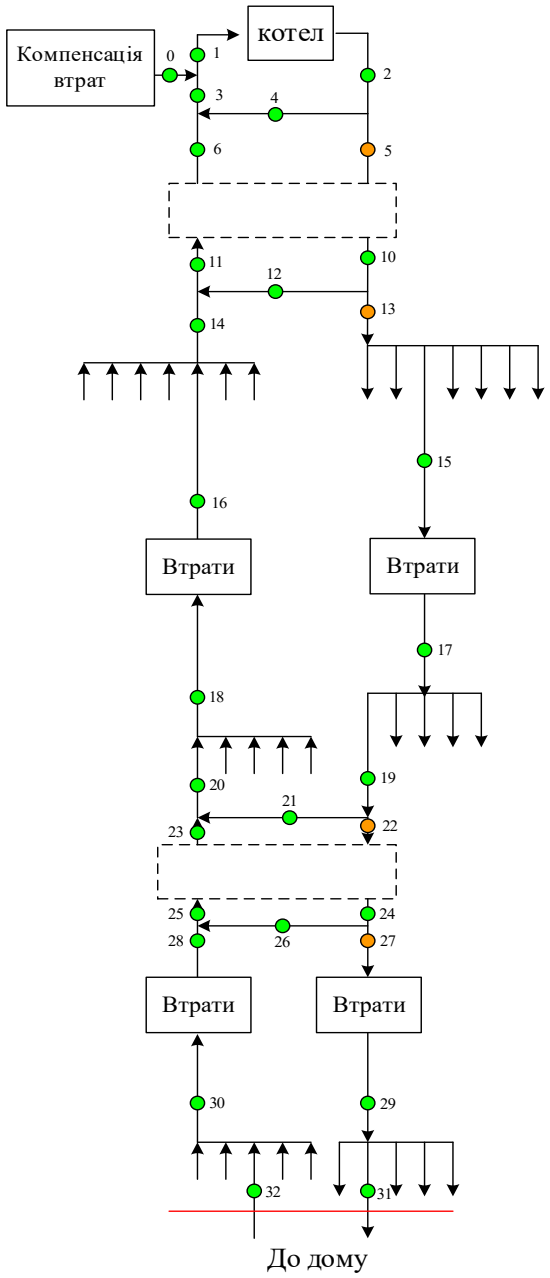


Рис. 4. Гідравлічна схема ділянки теплової мережі

У точках 5, 13, 22 і 27 розташовані регулятори витрати. Для простоти розрахунків було прийнято, що вони регулюють ступінь відкриття ψ відповідної теплової арматури. 0 відповідає «повністю закрита» тепловій арматурі, а 1 – «повністю відкрита». Поточна витрата визначається як добуток максимальної витрати на показник відкриття.

Витрати теплоносія в точках 2, 10, 24 є номінальними значеннями та розраховуються заздалегідь.

Послідовність розрахунків наступна:

$G_5 = G_2\psi_5$, $G_4 = G_2 - G_5$, $G_{13} = G_{10}\psi_{10}$, $G_{12} = G_{10} - G_{13}$, $G_{15} = G_{13}/8$, $G_{17} = G_{15} - 0.00008L$,

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 15 – 17.

$G_{19} = G_{17}/5$, $G_{22} = G_{19}\psi_{19}$, $G_{21} = G_{19} - G_{22}$, $G_{27} = G_{24}\psi_{27}$, $G_{26} = G_{24} - G_{27}$, $G_{29} = G_{27} - 0.00008L$,

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 27 – 29.

$G_{31} = G_{29}/5$, $G_{30} = 5G_{31}$, $G_{28} = G_{30} - 0.00008L$,

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 30–28.

$G_{25} = G_{26} + G_{28}$, $G_{23} = G_{22} - G_{27} + G_{28}$, $G_{20} = G_{23} + G_{21}$, $G_{18} = 5G_{20}$, $G_{16} = G_{18} - 0.00008L$,

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 18–16.

$G_{14} = 8G_{16}$, $G_{11} = G_{12} + G_{14}$, $G_6 = G_5 - G_{13} + G_{14}$, $G_3 = G_6 + G_4$, $G_0 = G_2 - G_3$.

Далі слідує розрахунок температур.

$$T_2 = T_1 + \frac{N\eta}{G_2 C_p}.$$

де N – потужність котла; η – КПД котла; C_p – теплоємність теплоносія.

$$T_{10} = \frac{G_5 T_2 + 200T_{10} + G_{11}T_{11}}{G_5 + 200 + G_{11}},$$

$$T_{17} = T_{10} - \frac{\alpha_{лин}(T_{10} - T_{oc})L}{G_{15}C_p},$$

де T_{oc} – температура навколишнього середовища; L – довжина ділянки трубопроводу між точками 15 – 17.

$$T_{24} = \frac{G_{22}T_{17} + 200T_{24} + G_{25}T_{25}}{G_{22} + 200 + G_{25}},$$

$$T_{29} = T_{24} - \frac{\alpha_{лин}(T_{24} - T_{oc})L}{G_{27}C_p}$$

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 27 – 29.

$$T_{28} = T_{in} - \frac{\alpha_{лин}(T_{in} - T_{oc})L}{G_{30}C_p}$$

де T_{in} – температура на виході з будівлі; L – довжина ділянки трубопроводу між точками 30 – 28.

$$T_{25} = \frac{G_{26}T_{24} + G_{28}T_{28}}{G_{25}}; \; T_{20} = \frac{G_{23}T_{24} + G_{21}T_{17}}{G_{20}};$$

$$T_{16} = T_{20} - \frac{\alpha_{лин}(T_{20} - T_{oc})L}{G_{18}C_p}$$

де L – довжина ділянки трубопроводу між точками 18–16.

$$T_{11} = \frac{G_{12}T_{10} + G_{14}T_{16}}{G_{11}}; \; T_3 = \frac{G_6T_{10} + G_4T_2}{G_3};$$

$$T_1 = \frac{G_3T_3 + G_0T_{хв}}{G_1}.$$

де $T_{хв}$ – температура мережевої води, що використовується для підживлення котла.

Проведений розрахунок дозволяє також оцінити тепловий ККД системи.

$$\eta_{сис} = \eta_1\eta_2\eta_3\eta_4\eta, \quad (6)$$

де η_1 – ККД ділянка трубопроводу між точками 15–17; η_2 – ККД ділянка трубопроводу між точками 27–29; η_3 – ККД ділянка трубопроводу між точками 30–28; η_4 – ККД ділянка трубопроводу між точками 18–16.

$$\eta_1 = \frac{G_{17}T_{17}}{G_{15}T_{15}},\ \eta_2 = \frac{G_{29}T_{29}}{G_{27}T_{27}},\ \eta_3 = \frac{G_{28}T_{28}}{G_{30}T_{30}},\ \eta_4 = \frac{G_{16}T_{16}}{G_{18}T_{18}}.$$

Слід також зазначити, що оцінка теплового ККД системи по (6) в перехідному режимі може давати істотну похибку.

Таким чином, запропонована модель транспортної системи теплоносія міського району дозволяє визначити параметри теплоносія в будь-якій точці системи з урахуванням теплових і фізичних втрат, як при вирішенні завдання опалення, так і при гарячому водопостачанні. Варіюючи кількість трубопроводів і ЦТП можна адаптувати цю модель для будь-яких розподілених систем опалення будь то модульні котельні, призначені для опалення групи будинків, або дахові котельні.

Проведемо обговорення результатів дослідження. Аналіз таблиці 1 показав, що вартість теплової енергії для відповідних джерел змінюється в істотних межах. Спільне вплив таких чинників, як залежність вартості електроенергії від часу доби, вже спожитої кількості, а також істотний діапазон зміни температурного коефіцієнту перетворення тепла у теплового насосу, призводять до того, що для ТНУ діапазон зміни вартості теплової енергії набагато більше, ніж в інших джерелах.

Слід також враховувати високий знос сучасних теплових мереж в містах України. В деяких містах знос теплових мереж такий, що до 50% теплової енергії не надходить до споживача.

Розглянемо для прикладу магістральний теплоізольований трубопровід з діаметром умовного проходу 300 мм, розташований на відкритому повітрі [13, с. 144]. Приймемо температуру теплоносія рівною 100 °С. Згідно з СНиП 41-03-2003 нормативні теплові витрати такого трубопроводу складають 76 Вт/м (80,7 Вт/м^2). При підземній канальній і безканальній прокладці цього ж трубопроводу ці величини відповідно становлять 105 Вт/м (111 Вт/м^2) та 157 Вт/м (166,6 Вт/м^2).

Приймемо, що житловий масив складається з типових 9-поверхових будинків на 72 квартири із середнім рівнем теплових втрат 204 кВт. У такому житловому масиві для підключення одного будинку потрібно в середньому 100 м трубопроводу. Вартість одиниці теплової енергії, одержуваної на котельні, передусім визначається вартістю газу, що спалюється. Витрати на електроенергію, необхідну для приводів насосів, свідомо не розглядаються, тому що вони тільки збільшують собівартість теплової енергії. Приймемо, що теплові втрати в трубопроводі відповідають нормативним. Тоді залежність собівартості тепла S (для діючих тарифів на газ) від кількості підключених будинків N в системі централізованого опалення набуде вигляду, показаного на рис. 5а. Ефективність такої системи теплопостачання при забезпеченні теплом міського району з 200 будинків із сумарним тепловим навантаженням 70 МВт становить 92,6%.

Повне намокання ізоляції на основі мінеральної вати призводить до збільшення теплових втрат в 11 разів. Численні перевірки стану теплових мереж у різних містах свідчать про те, що фактичні теплові втрати в десятки і сотні разів перевищують нормативні.

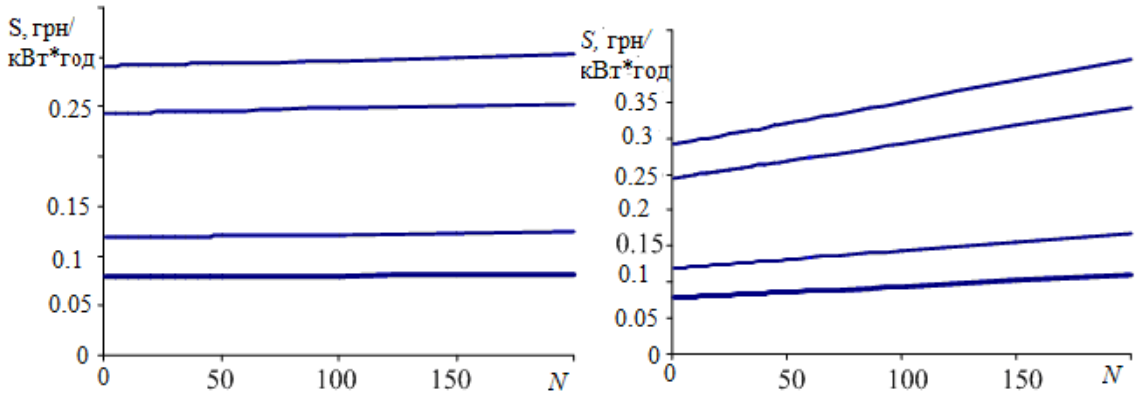
Згідно з [14, с. 129] нормоване значення фізичних втрат теплоносія не повинне перевищувати 0,0025 кг/(год*м). Фактичний стан трубопроводів такий, що ці втрати істотно вищі і за практичними даними можуть досягати значення 0,01 кг/(год*м).

Аналіз показує, що централізоване опалення в містах зі зношеними тепловими мережами вже не може конкурувати з низькоефективними побутовими газовими котлами.

Таблиця 1

Результати аналізу оцінки вартості теплової енергії від різних джерел

Теплове джерело	Мінімальна вартість теплової енергії, грн. / кВт*год	Максимальна вартість теплової енергії, грн. / кВт*год
Централізоване опалювання	0,066	0,423
Децентралізоване газове опалювання	0,067	0,25
Індивідуальне опалювання тепловим насосом	0,01	1,242



а *б*

Рис. 5. Залежність собівартості *S* від *N*: при рівні теплових втрат, що відповідають нормам (а); при середньому зносі трубопроводу (б)

Очевидно, що при розрахунку повної собівартості теплової енергії, з урахуванням капітальних і експлуатаційних витрат, її значення будуть вище. У той же час отримані результати свідчать про широкий потенціал оптимізації процесу теплопостачання міських районів.

Сьогодні в середньостатистичній квартирі є різні альтернативні джерела теплової енергії. Перебої з гарячою водою призвели до того, що в якості резерву споживачі встановлюють електричні бойлери. Для компенсації низької температури теплоносія в системі централізованого опалення купуються різного виду масляні радіатори та тепловентилятори. Останнім часом широко використовуються кондиціонери з можливістю опалення та спеціальні теплові насоси.

Кожне нове джерело, що підключається до споживача, збільшує кількість можливих комбінацій. При цьому кожному джерелу окремо не обов'язково повністю закривати потребу в тепловій енергії. Наявність альтернатив дозволить забезпечити необхідну теплову потужність шляхом оптимальної комбінації наявного обладнання і досягти мети з мінімальними витратами.

Висновки. Розроблено імітаційну модель багатоквартирного висотного будинку, яка дозволяє обчислити зміни температур повітря в *i*-ій квартирі і параметри теплоносія в будь-якій точці гідравлічної системи опалення. Імітаційна модель заснована на узагальненій *i*-ой квартирі, в якій визначаються витрати на підігрів приточного повітря в системі вентиляції, тепловтрати через будівельні конструкції і гаряче водопостачання.

Розроблено імітаційні моделі промислового і індивідуального газових котлів, опалювальних приладів і промислової та індивідуальної теплонасосної установки. Для розрахунку теплових процесів між квартирами, а також між будинком і навколишнім середовищем був використаний математичний апарат для моделювання нестаціонарних процесів теплообміну і теплопередачі.

Розроблено імітаційну модель транспортної системи, яка використовується в розподілених системах теплопостачання для забезпечення процесу доставки теплоносія від джерела теплової енергії до споживача з урахуванням теплових і фізичних втрат теплоносія.

Список літератури:

1. Давыдов В.О., Максимова О.Б. Компьютерное моделирование тепловых режимов жилых помещений. *Тр. Одес. политехн. ун-та*. 2009. Вып. 1 (31). С. 67–72.

2. Jiang X.S., Jing Z.X., Li Y.Z., Wu Q.H., Tang W.H. Modelling and operation optimization of an integrated energy based direct district water-heating system. *Energy*. 2014. Vol. 64. pp. 375-388.

3. Verda V., Guelpa E., Kona F., Lo Russo S. Reduction of primary energy needs in urban areas trough optimal planning of district heating and heat pump installations. *Energy*. 2012. № 48(1). pp. 40–46.

4. Kozlov S.A. Energy conservation in heat supply systems. Tyazheloe *Mashinostroenie*. 1996. № 1. pp. 36–37.

5. Verda V., Baccino G., Sciacovelli A., Lo Russo S. Impact of district heating and groundwater heat pump systems on the primary energy needs in urban areas. *APPLIED THERMAL ENGINEERING. Elsevier*. 2012. Vol. 9. pp. 18–26.

6. Shu, H.W. Lin D. M., Li X. L., Zhu Y. X. Energy-Saving Judgment of Electric-Driven Seawater Source Heat Pump District Heating System over Boiler House District Heating System. *Energy and Buildings*. 2010. Vol. 42. No. 6. pp. 889–895.

7. Chen, C.M., Zhang Y.F., Ma L.J. Assessment for Central Heating Systems with Different Heat Sources: A Case Study. *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 48. pp. 168–174.

8. Hepbaslia A., Balta M.T. A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings. 2007. Vol. 42. pp. 3747–3756.

9. Verda V., Borchiellini R., Calì M. A thermoeconomic approach for the analysis of district heating systems. *The International Journal of Applied Thermodynamics.* 2001. Vol. 4, No. 4. pp. 183–190.

10. Максимова О.Б., Давыдов, В.О., Бабич С.В. Управление системой теплоснабжения с изменяемой структурой технических средств. *Проблемы управления и информатики: междун. науч.-техн. журн.* 2014. № 3. С. 50–60.

11. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. Москва : Наука, 1985. 280 с.

12. Васильев Г.П. Теплоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография. Москва : Издательский дом «Граница», 2006. 176 с.

13. Бабич С.В., Давыдов В.О. Анализ экономической эффективности систем теплоснабжения городских районов. *Праці Одес. політехн. ун-та.* 2014. Вип. 1(43). С. 141–147.

14. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий: методические указания. 4-е изд. Москва : АКХ им. Памфилова. 2002. 129 с.

Maksymova O.B., Minchev D.S. DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE CITY HEAT SUPPLY SYSTEM IN THE CONDITIONS OF ALTERNATIVE ENERGY FLOWS

The paper investigates simulation models of the heat supply system of the city of the object in the conditions of using alternative energy flows, which differ in different cost. The simulation model consists of a mathematical model of thermal processes of a separate apartment and apartment building, mathematical models of heat supply system equipment, and models of heat supply processes from different sources of thermal energy. The mathematical simulation model of the city district heat supply system, heat consumer in case of accidental disturbances, which determines its structure, is improved, both disturbances of physical nature, ambient temperature, and change of cost of energy sources are considered. This structure is determined by a set of technical means, which are considered on the basis of solving a non-stationary problem of heat transfer, which makes it possible to form a current model depending on the disturbances and different costs of financial resources. The solution to this problem is to increase the efficiency of the city's heat supply system by developing a simulation model of the system, which operates in the presence of alternative energy flows. The basic idea of solving this problem is to connect different power sources to the consumer, which increases the number of possible combinations. The availability of alternatives will provide the required heat capacity through a combination of existing equipment, and achieve the goal at minimal cost.

The developed simulation model of the transport system made it possible to use it in distributed heat supply systems to ensure a cost-effective process of delivering the coolant from the heat source to the consumer, taking into account heat and physical losses of the coolant. This will further manage the price structure of energy supply.

Key words: *simulation model, heat supply system, perturbation, technical structure variable, alternative energy sources.*

УДК 681.51:658.7
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/06

Штепа Є.П.
Одеська національна академія харчових технологій

ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ З БІРОТАТИВНИМ СИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ

У статті наведені приклади класичного рішення для потужних вітроелектроустановок за такими схемами: асинхронний генератор із короткозамкнутим ротором; асинхронний генератор із фазним ротором; асинхронізвоний синхронний генератор подвійного живлення; синхронний генератор із збудженням від постійних магнітів або електромагнітним збудженням.

У статті також розглянуто питання принципу дії вітроелектростанції з біротативним генератором відповідно до авторського свідоцтва на корисну модель України № 94321. У такого генератора статор і ротор обертаються в підшипниках, ротор обертається енергією вітру, а статор – допоміжною системою «генератор – двигун». Напрям обертання залежно від енергії вітру: у разі зменшення енергії вітру статор обертається системою «генератор – двигун» проти напрямку обертання статора, у разі збільшенні енергії вітру статор обертається за напрямком обертання ротора. Швидкість обертання статора виміряно спеціальними датчиками частоти для підтримання частоти струму незалежно від швидкості вітру. Проаналізовані різні системи управління біротативною електричною машиною. Наведена схема вітроелектростата з біротативним генератором.

Розглянуто використання біротативної машини для вентиляторів головного провітрювання шахт, компресорів, вуглесосів; електропривід підйомної установки з біротативним двигуном.

У статті наведено для біротативного генератора графіки частоти обертання ротора залежно від моменту навантаження. Також наведено схему розподілу потужності біротативного генератора між двигуном і генератором постійного струму.

Наведена електрична схема системи «генератор – двигун» із паралельною передачею потужності з датчиками контролю частоти струму біротативного генератора, за даними яких здійснюється управління двигуном і генератором постійного струму для підтримання частоти струму 50 герців незалежно від сили.

Ключові слова: *вітроелектростанція, біротативний генератор, енергетична діаграма, система управління, механічні характеристики.*

Постановка проблеми. Класичне рішення для потужних вітроелектроустановок [1, с. 27] (до 7 МВт) таке: первинний перетворювач енергії вітру на механічну енергію (вітряк) – перетворювач параметрів механічної енергії (мультиплікатор) – перетворювач механічної енергії на електричну (генератор).

Існує декілька схем вітрових електростанцій:

1. Асинхронний генератор з короткозамкнутим ротором (рис. 1).

Основними недоліками даного технічного рішення є: відносно низький ККД; фіксована робоча частота обертання вітряка, що є причиною недовикористання його енергетичних можливостей, а наявність мультиплікатора знижує надійність і підвищує вартість установки.

2. Асинхронний генератор із фазним ротором (рис. 2).

На збудження за значного розузгодження частот витрачається відчутна частка електроенергії, що виробляється. Наявність ковзаючих контактів і мультиплікатора також знижує надійність установки порівняно з попередніми.

3. Асинхронізований синхронний генератор (машини подвійного живлення) (рис. 3).

4. Синхронний генератор зі збудженням від постійних магнітів або електромагнітним збудженням (рис. 4).

Наведені схеми роботи повітряних електростанцій мають складну конструкцію, що потребує значної кількості складних елементів.

Є приклади [2, с. 125–129] використання біротативної синхронної машини в режимі двигуна в гірничій промисловості для регульованого електропривода вентиляторів головного провітрювання шахт, компресорів, вуглесосів, а також шахтних підйомних установок.

У роботі [3, с. 29–32] розглянута система управління швидкістю вентилятора за системою «генератор – двигун» (далі – Г-Д) з біротативним синхронним двигуном (рис. 5). У такій системі регулювання швидкості вентилятора здійсню-

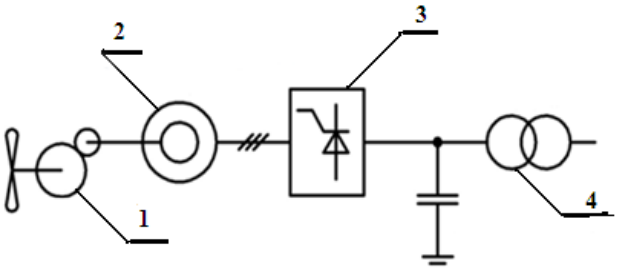


Рис. 1. Асинхронний генератор із короткозамкненим ротором: 1 – мультиплікатор; 2 – асинхронний генератор; 3 – блок управління; 4 – трансформатор

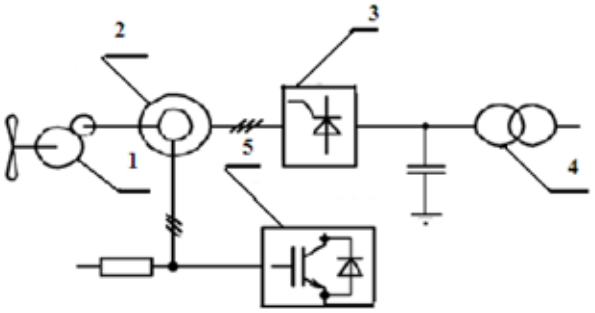


Рис. 2. Асинхронний генератор з фазним ротором: 1 – мультиплікатор; 2 – асинхронний генератор; 3 – блок управління; 4 – трансформатор; 5 – блок збудження

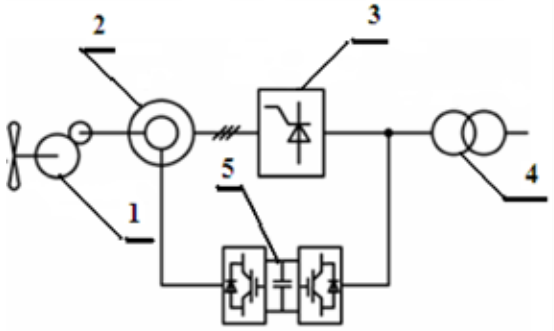


Рис. 3. Асинхронізований синхронний генератор: 1 – мультиплікатор; 2 – асинхронний генератор; 3 – блок управління; 4 – трансформатор; 5 – перетворювач частоти

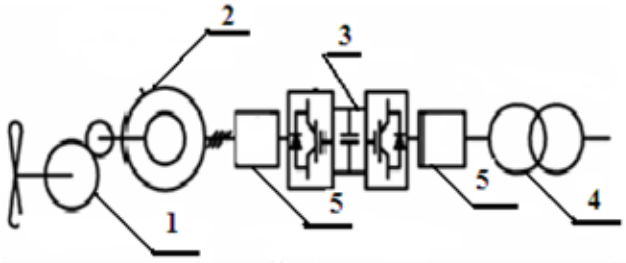


Рис. 4. Синхронний генератор із збудженням від постійних магнітів: 1 – мультиплікатор; 2 – синхронний генератор; 3 – перетворювач частоти; 4 – трансформатор; 5 – фільтр

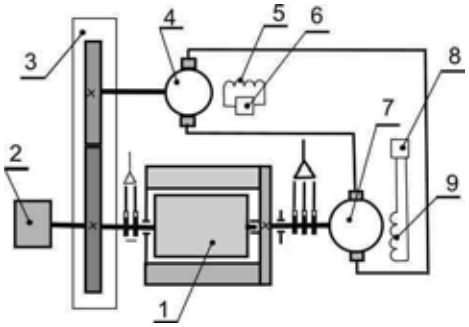


Рис. 5. Біротативний електропривід: 1 – допоміжний двигун; 2 – редуктор; 3 – біротативний двигун; 4 – статор; 5 – ротор; 6 – робоча машина

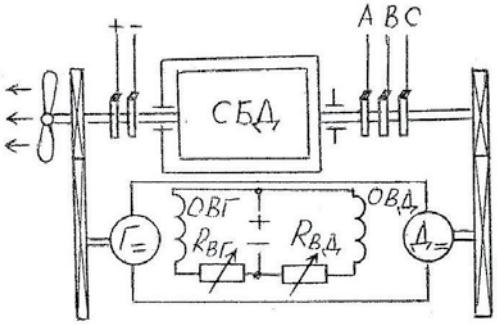


Рис. 6. Електропривід робочої машини з біротативним двигуном

ється регулюванням струму збудження машин постійного струму реостатами $R_{вг}$ і $R_{вд.}$

У роботі [4, с. 46] розглянуто електропривід (рис. 6), що складається із синхронного біротативного двигуна 3, який приводить у дію робочу машину 6 через редуктор 2, до якого приєднано машину постійного струму 1, що може працювати в режимі двигуна або генератора. Якірне коло цієї машини постійного струму з'єднано з якорем другої машини постійного струму, що також може працювати в режимі генератора або двигуна залежно від напрямку регулювання швидкості ротора.

У роботі [5, с. 1–4] розглянуто автоматизований електропривід (рис. 7), що складається із синхронного біротативного двигуна 1, який приводить у дію робочу машину 2 через редуктор 3, до якого приєднано машину постійного струму 4, що може працювати в режимі двигуна або генератора. Якірне коло цієї машини постійного струму з'єднано з якорем другої машини постійного струму 7, що також може працювати в режимі

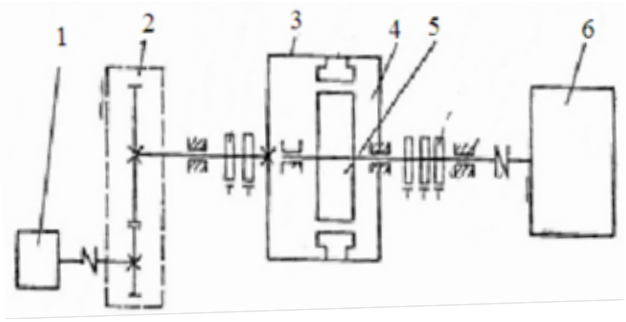


Рис. 7. Біротативний електропривод:
1 – допоміжний двигун; 2 – редуктор;
3 – біротативний двигун; 4 – статор; 5 – ротор;
6 – робоча машина

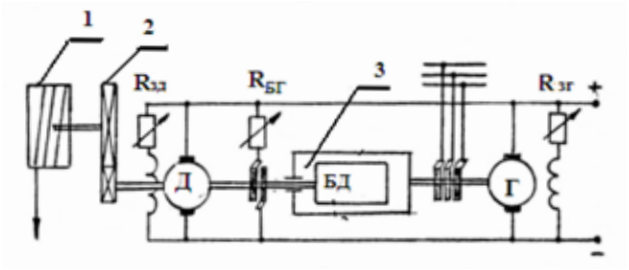


Рис. 8. Електропривід підйомної установки
з біротативним двигуном

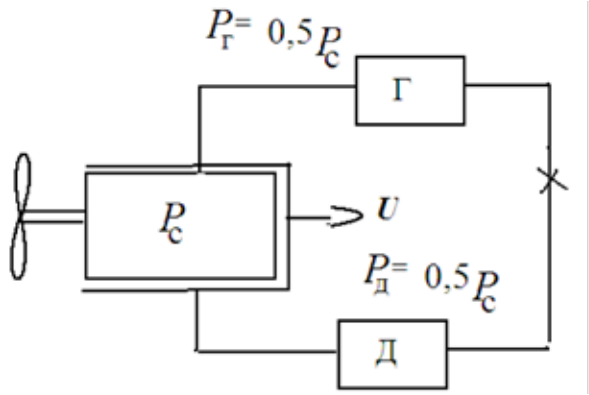


Рис. 9. Розподіл потужностей

генератора або двигуна залежно від напрямку регулювання швидкості ротора.

У разі відсутності збудження 5 машини 4 статор обертається із синхронною частотою і ротор нерухомий. У разі поступового збільшення регулятором 6 струму збудження 5 ротор поступово регулює струм збудження 9 двигуна 7.

У роботі [6, с. 49–55] розглянуто електропривід підйомної установки 1 з редуктором 2 і біротативним двигуном 3 (рис. 8). У схемі позначено реостати: $R_{зд}$ – у колі збудження двигуна постійного струму Д, $R_{БГ}$ – у колі збудження синхронного біротативного генератора, $R_{зг}$ – у колі збудження генератора постійного струму Г.

Канатоведучий шків 1 підйомної машини з'єднаний через редуктор 2 з валом якоря двигуна постійного струму М, а також з індуктором біротативного синхронного двигуна 3. Статор приєднаний до трифазної мережі через контактні кільця. До вала статора приєднано генератор постійного струму Г. Кола якоря двигуна Д і якоря генератора Г з'єднані послідовно.

У такій системі має місце паралельна передача потужностей системою постійного струму Г-Д. Додатковий обертаючий момент буде передаватися паралельним каналом через загальний вал ротора біротативного двигуна БД та двигуна постійного струму Д, який вибирають приблизно рівним половинній потужності від потужності біротативного двигуна.

Щоб уникнути його перевантажень, пусковий момент установки не повинен перевищувати 1,4 номінального (наприклад, у багатоканатні підйомні установки, вентилятори). Таку систему електроприводу зазвичай застосовують для агрегатів, де пусковий момент не перевищує значення 2,8–3,0, що характерно для машин постійного струму.

Номінальним приймають такий режим біротативного двигуна, коли швидкість обертання його ротора зменшується до 0,5 від синхронної.

Уповільнення електроприводу здійснюється поступовим зменшенням струму в обмотці збудження генератора. Для реверсування необхідно ротор зупинити, а потім розігнати в зворотну сторону. З огляду на момент інерції доцільно для скорочення часу застосовувати електродинамічне гальмування.

Встановлена потужність електричних машин в описаній системі електроприводу (рис. 9), що складається з потужності біротативного двигуна *Рс*, потужності двигуна постійного струму *Рд* = 0,5*Рс,* потужності генератора постійного струму $P_г = 0{,}5Pc$, тобто дорівнює 3*Рс*, що на одну електричну машину потужністю Рс менше порівняно із дводвигуновим електродвигуном за звичайною системою Г-Д.

Графіки (рис. 10) представляють механічні характеристики електропривода.

Крива 1 на механічних характеристиках електропривода ілюструє перерозподіл навантаження між синхронним біротатівним двигуном і допоміжним двигуном Д. Похилі паралельні прямі 3 представляють механічні характеристики системи Г-Д за різних напруг генератора Г ($U_1 < U_2 < U_3$). Момент навантаження M_C прийнятий постійним і відображений вертикальною лінією 2. Похила

пряма 4 являє собою спільну механічну характеристику біротативного двигуна і двигуна Д. Для її побудови через точку А проводять горизонтальну пряму до перетину з лінією моменту навантаження в точці В. Потім через точки А і В проводять сумісну механічну характеристику.

У роботах [7, с. 49–55; 8, с. 32–34] розглянуто конструктивні особливості біротативних генераторів асинхронних і синхронних.

Постановка завдання. Пропонується значно простіша конструкція вітроелектростанції з біротативним синхронним генератором [5, с. 1–4], тобто із синхронним генератором, у якого статор і ротор обертаються в підшипниках.

Біротативна машина (рис. 11) має статор 4, що обертається в підшипниках 1. Трифазна напруга джерела живлення до обмотки статора приєднується через три контактні кільця за допомогою щіток 3. Напруга струму збудження приєднується до обмотки ротора через два контактні кільця за допомогою щіток 5. Вал ротора 6 обертається в підшипниках 2.

Використання біротативного синхронного генератора дає можливість запропонувати вітроелектростанцію, що відрізняється від описаних вище.

Виклад основного матеріалу дослідження. Роботоздатність вітроелектростанції була перевірена на дослідній моделі з використанням біротативного синхронного генератора, виготовленого на базі генератора МСА-72-4 потужністю 15 кВт, з номінальним струмом 22 А лінійною напругою 380 В за частоти обертання 1 500 об/хв.

Особливістю вітроелектростанції є використання біротативного синхронного генератора (рис. 12), який має статор 1 і ротор 2. Вал 3 ротора 2, що обертається в підшипниках 4, з'єднано з вітроколесом 5. Вал 16 статора 1, що обертається в підшипниках 17, з'єднано з валом двигуна постійного струму 13 [5, с. 1–4].

Якір двигуна 13 з'єднано з якорем генератора 9. Вал генератора 9 з'єднано з вихідним валом 8 редуктора 7. Трифазна напруга, що виробляється біротативним синхронним генератором, знімається через три контактні кільця за допомогою щіток 15. Обмотка збудження біротативного синхронного генератора приєднана до регулятора струму збудження 11 через два контактні кільця за допомогою щіток 6. Величина струму збудження синхронного біротативного генератора визначається датчиком 12 частоти і напруги синхронного біротативного генератора. Регулятори 10 і 14 регулюють струми збудження генератора 9 і двигуна 13.

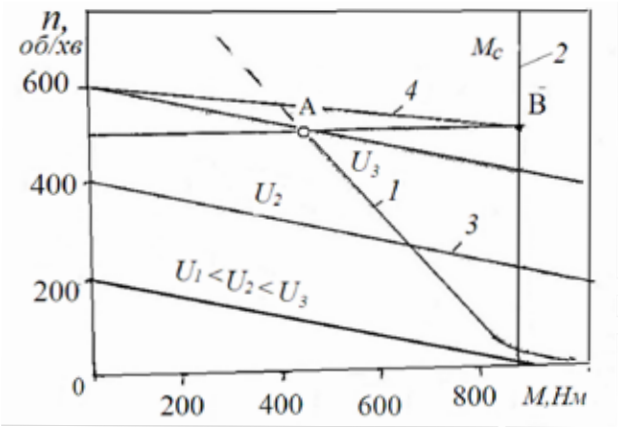


Рис. 10. Механічні характеристики

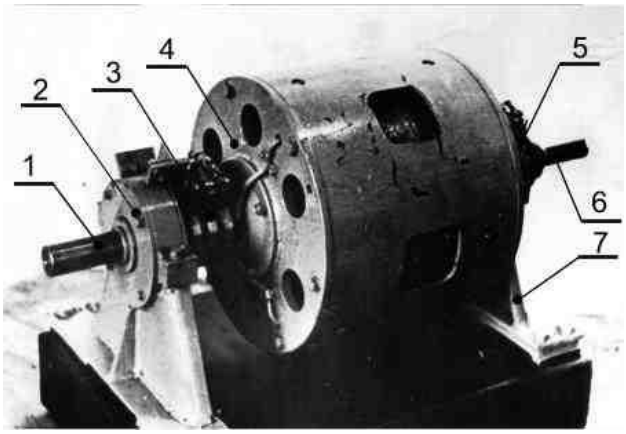


Рис. 11. Біротативна машина

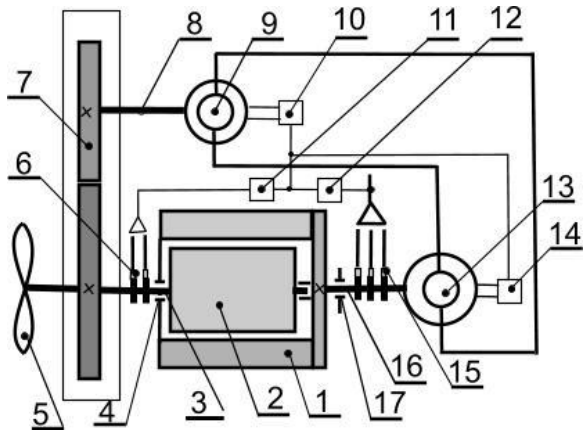


Рис. 12. Схема вітроелектростанції

Відомо, що частота струму генератора прямо пропорційна частоті обертання магнітного поля n_0, що створюється обмоткою збудження ротора:

$$n_0 = \frac{60f}{p}, \qquad (1)$$

де f – частота струму; p – число пар полюсів генератора.

Якщо частота обертання ротора $n_{рот}$ така, що відповідає частоті струму f = 50 Гц, то статор повинен бути нерухомим, тобто його частота обертання $n_{ст}$ = 0. У разі зменшення швидкості вітру зменшується частота обертання ротора генератора $n_{рот}$, що відповідно зменшує частоту обертання магнітного поля статора n_0, через що зменшується частота струму мережі f.

Тому статор треба обертати в напрямку, протилежному напрямку обертання ротора, з такою частотою $n_{ст}$, щоб

$$n_{рот} + n_{ст} = n_0 = const. \quad (2)$$

У разі збільшення швидкості вітру збільшується частота обертання ротора генератора $n_{рот}$, що приведе до збільшення частоти струму, тому статор треба обертати в напрямку, погодженому з напрямком обертання ротора, з такою частотою $n_{ст}$, щоб $n_{рот} - n_{ст} = n_0 = const.$

У разі збільшення швидкості вітру двигун постійного струму 13 обертає статор 1 погоджено з напрямком обертання ротора 2 біротативного синхронного генератора, а в разі зменшення – навпаки. Регулювання швидкості обертання двигуна постійного струму здійснюється регулюванням струмів в обмотках збудження генератора 9 і двигуна 13 регуляторами 10 і 14. Напрямок регулювання частоти обертання визначається датчиком частоти і напруги 12, а величина напруги – регулюванням струму збудження біротативного синхронного генератора регулятором 11.

Експериментальні дослідження проводились на установці, аналогічній наведеній на рис. 13.

Висновки. Роботоздатність вітроелектростанції була перевірена на дослідній моделі з використанням біротативного синхронного генератора потужністю 15 кВт. Обертання ротора генератора здійснювалося двигуном постійного струму, що імітував різну швидкість вітру.

Із графіків видно (рис. 13), що в разі збільшення частоти обертання ротора $n_{рот}$, тобто збільшення швидкості вітру, частота обертання статора $n_{ст}$ зменшується.

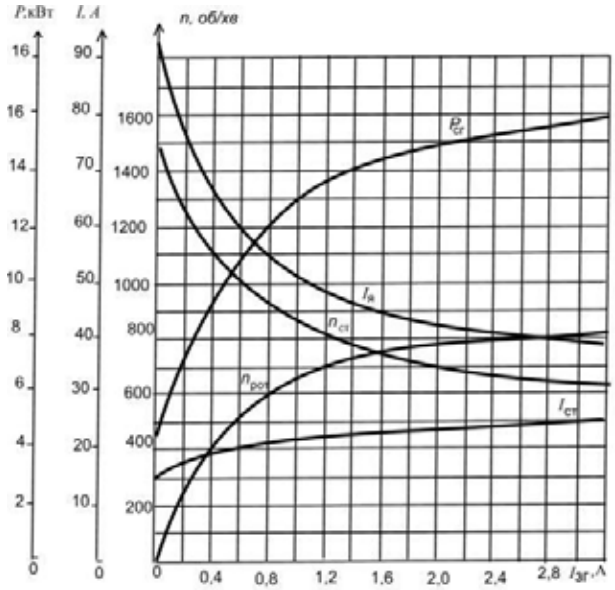


Рис. 13. Експериментальні дослідження

Оскільки біротативний синхронний генератор чотириполюсний, то частота обертання його магнітного поля, згідно з формулою (1), дорівнює n_0 = 1 500 об/хв. За частоти обертання ротора 2 $n_{рот}$ = 750 об/хв частота обертання статора також $n_{ст}$ = 750 об/хв, що відповідає формулі (2).

У разі зменшення швидкості вітру частота обертання ротора 2 $n_{рот}$ зменшується, а частота обертання статора 1 $n_{ст}$ відповідно збільшується. На графіках також показано, що зі збільшенням частоти обертання ротора $n_{рот}$ потужність біротативного $P_{ст}$ синхронного генератора і його струм $I_{ст}$ також збільшуються, а струм якоря $I_я$ генератора постійного струму, від якого живиться двигун постійного струму, що регулює частоту обертання статора, відповідно зменшується. Регулювання частоти і напруги визначається датчиками 11, 12.

Отже, наведенні експериментальні дослідження показали роботоздатність розглянутої схеми вітроелектростанції.

Список літератури:

1. Беляков П.Ю., Панов Р.М. Анализ эффективности современных цепей преобразования энергии в ветроэлектрических установках большой мощности альтернативная энергетика. 2011. № 4. С. 27–34.

2. Берловский В.М., Штепа Е.П., Богопольский Б.Х. Регулируемый синхронный биротативый электропривод. *Горный журнал.* 1967. № 1. С. 125–129.

3. Берловский В.М., Штепа Е.П. Симстама Г-Д с параллельной передачей мощности для шахтных подъемных установок. *Электротехника.* 1965. № 6. С. 29–32.

4. Штепа Е.П. Автоматизований електропривід із синхронним біротативним двигуном. *Информационные технологии и автоматизация :* сборник докладов участников VI Всеукраинской научно-практической конференции. 2013. С. 46.

5. Штепа Є.П. Вітроелектростанція: Патент № 94321 Україна : МПК F03D 1/02/ заявник ; патентовласник Одеська нац. акад. харчових технологій. U201405454; заявлено 22.05.14. С. 1–4.

6. Бояр-Сазонович С.П., Штепа Е.П. Биротативные электрические машины переменного тока в генераторном и двигательном режимах. *Техническая электродинамика.* 1993. № 6. С. 49–55.

7. Бояр-Сазонович С.П. Биротативный асинхронный генератор. *Электроэнергетика и электрификация.* 1982. № 2. С. 51–52.

8. Бояр-Сазонович С.П. Биротативный синхронный генератор. *Электроэнергетика и электрификация.* 1987. № 2/13. С. 32–34.

Shtepa E.P. WIND POWER PLANT WITH BIROTATIVE SYNCHRONOUS GENERATOR

The article gives examples of the classic solution for the powerful wind turbines according to the following schemes: asynchronous generator with short-circuited rotor; asynchronous generator with phase rotor; asynchronous synchronous dual power generator; synchronous generator with excitation from permanent magnets or electromagnetic excitation.

The article also considers the principle of operation of a wind power plant with a birotative generator in accordance with the Austrian certificate for a utility model of Ukraine № 94321. In such a generator, the stator and rotor rotate in bearings, where the rotor rotates with wind energy, and the stator with an auxiliary system generator-engine (system G-D). Direction of rotation depending on wind energy: when the wind energy decreases the stator system GD rotates against the direction of rotation of the stator and vice versa: when the wind energy increases the stator rotates in the direction of rotor rotation.

Various control systems of birotaivny electric machine are analyzed. The scheme of wind power with birotate generator is given.

The use of a birotative machine for fans of the main ventilation of mines, compressors, coal pumps is considered; electric lifting machine with birotative motor.

The article presents for the birotative generator a graph of the dependence of the rotor speed depending on the load moment. Also the scheme of distribution of power of the birotative generator between the engine and the generator of a direct current is resulted.

The electric scheme of system GD with parallel transfer of power with sensors of control of frequency of current of the birotatianny generator according to which control of the motor and the generator of a direct current for maintenance of current frequency of 50 Hz irrespective of force is resulted is resulted.

Key words: *wind power plant, birotative generator, energy diagram, control system, mechanical characteristics.*

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 662.749
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/07

Тесленко О.І.
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКТІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянуто особливості методичного підходу до розподілу технологічної енергоємності між окремими видами продукції багатопродуктових виробництв на прикладі процесу коксування кам'яного вугілля в чорній металургії. Для визначення розподілу енерговитрат та енергоємності окремих продуктів багатопродуктового коксохімічного виробництва було застосовано два методичні підходи, засновані на законі Гесса та його наслідках. Перший метод використовує вагові показники та показники теплотворної здатності вихідних речовин і продуктів технологічного процесу коксування кам'яного вугілля. Другий метод базується на вагових показниках та ентальпії вихідних речовин і продуктів цього процесу з урахуванням технологічних втрат у навколишнє середовище. Отримані результати визначення паливної складової частини технологічної енергоємності продуктів коксування кам'яного вугілля показали теоретичну та практичну можливість використання закону Гесса та його наслідків для визначення розподілу технологічної енергоємності між окремими продуктами багатопродуктового виробництва. Наведені результати розрахунків енергоємності окремо для коксу, коксового газу та хімічних продуктів коксування. Результати розрахунків демонструють невелику відносну розбіжність між показниками за двома методами при визначенні цієї складової частини технологічної енергоємності для коксу (приблизно 1,5%), однак для коксового газу розбіжність досягає 8,5%. Суттєві відносні розбіжності спостерігаються для хімічних продуктів коксування: бензолу сирого (26,3%), аміаку (35,5%), крім сірководню (7,4%) та смоли безводної (0,26%), що можна пояснити малою сумарною часткою цих речовин у тепловому балансі (менше 3,5%) і прийнятими припущеннями щодо нехтуванням тепловим ефектом термохімічної реакції коксування при складанні теплового балансу із застосуванням першого методу (за теплотворною здатністю). Запропоновані методичні підходи можуть бути застосовані при визначенні складників технологічної енергоємності окремих видів продукції багатопродуктового виробництва нафтопродуктів.

Ключові слова: *енергоємність, багатопродуктове виробництво, кокс, коксовий газ, хімічні продукти.*

Постановка проблеми. Україна входить до провідних виробників чавуну та сталі у світі. Вугільний кокс є головним енергоносієм доменного виробництва чавуну. У 2015 р. в Україні обсяги виробництва коксу (з напівкоксом) становили 11,6 млн т і за прогнозом фахівців досягнуть 16,0 млн т у 2040 р. [1, с. 16].

Коксування вугілля – технологічний процес термічної переробки переважно кам'яного вугілля, що полягає в його нагріванні до 1000–1100°С без доступу повітря (окислювача) у спеціальних коксових печах і витримки за цієї температури, внаслідок чого кам'яне вугілля піролізно розкладається з утворенням твердого вуглецевого залишку – коксу та супутніх продуктів: коксового газу, кам'яновугільної смоли, сирого бензолу, аміаку, сірководню тощо. Основним цільовим продуктом цього технологічного процесу є кокс, що використовується головним чином як хімічна речовина для відновлення заліза і паливо в доменному виробництві чавуну. Коксовий газ використовується як паливо, а хімічні продукти – як сировина для подальшої переробки у хімічній промисловості. Таким чином, коксохімічне виробництво належить до багатопродуктових технологічних процесів.

За даними «Укркоксу» [2], у 2019 р. виробництво основних видів коксохімічної продукції

в Україні становило: коксу валового 6%-ої вологості – 10 млн 26,9 тис. т (зокрема металургійного коксу – 8 млн 587,6 тис. т), кам'яновугільної смоли – 420,9 тис. т, сирого бензолу – 92,8 тис. т, сульфату амонію (за 100% вмістом азоту) – 32,5 тис. т, сірчаної кислоти – 27,4 тис. т. У 2019 р. на коксування коксохімічних підприємств надійшло 13,9 млн т вугілля, із них 3,5 млн т (25% загального використання) – вугілля внутрішнього видобутку в Україні, 10,4 млн т (75%) – імпортоване вугілля. Вугілля на підприємства поставлялися з Російської Федерації, Казахстану, США, Канади, Польщі, Чехії, Австралії та Індонезії.

У 2019 р. коксохімічні підприємства України мали такий обсяг виробництва кам'яновугільного коксу для потреб чорної металургії [3]: Авдіївський КХЗ – 3,2 млн т; «ArcelorMittal Кривий Ріг» – 2,8 млн т; «Азовсталь» – 1,36 млн т; «Южкокс» – млн т; ДКХЗ – 0,564 млн т; «Дніпрококс» – 0,530 млн т; «Запоріжкокс» – 0,947 млн т; Харківський КХЗ – 0,037 млн т.

Коксохімічне виробництво є високоенерговитратним. Тільки витрати теплової енергії на обігрів коксових печей (основного технологічного процесу коксування кам'яного вугілля), які становлять приблизно 9% теплоти згорання вугілля, що коксується [4, с. 7], в Україні у 2015 р. досягали майже 1 млн т у.п. Така ситуація зумовлює необхідність визначення впливу енергозберігаючих заходів щодо зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів на зміну енергоємності окремих продуктів такого багатопродуктивного виробництва, як коксування кам'яного вугілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій у визначенні технологічної енергоємності продукції чорної металургії показав, що ряд виробництв, які становлять окремі ланки технологічного ланцюга, належать до багатопродуктових. Це, зокрема, коксохімічне виробництво, в якому кінцева продукція розподіляється за ознаками призначення щонайменше на два і більше видів. У діючих методиках і розробках [5–9] не надано роз'яснення щодо розподілу технологічної енергоємності багатопродуктових виробництв за їхніми окремими видами продукції.

Постановка завдання. Метою статті є розв'язання задачі розподілу енерговитрат за багатопродуктового коксохімічного виробництва (коксування кам'яного вугілля) для подальшого визначення енергоємності кожного продукту окремо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретичними передумовами використаного у дослідженні методичного підходу розподілу повної технологічної енергоємності багатопродуктових виробництв за їхніми окремими видами продукції є закон Гесса (основний закон термохімії, що є прямим наслідком першого початку термодинаміки стосовно хімічних реакцій), який формулюється таким чином: тепловий ефект хімічної реакції, що проводиться за ізобарно-ізотермічних або ізохорно-ізотермічних умов, залежить тільки від виду та стану вихідних речовин і продуктів реакції та не залежить від шляху її протікання. Закон Гесса ґрунтується на базовому положенні термодинаміки: ентальпія є функцією стану системи та не залежить від того, яким чином ця система утворилася.

За цим законом тепловий ефект Q термохімічної реакції не залежить від шляху реакції, від відношення вихідних речовин до продуктів реакції, а визначається різницею ентальпій продуктів і вихідних речовин:

$$Q = \Delta H = \Sigma Hj\ прод - \Sigma Hi\ вих.реч., \quad (1)$$

де $\Sigma Hj\ прод$ – сума ентальпій всіх j продуктів хімічної реакції; $\Sigma Hi\ вих.реч.$ – сума ентальпій всіх i вихідних речовин.

При розробці запропонованого методичного підходу був також використаний один із наслідків із закону Гесса, а саме: тепловий ефект хімічної реакції (Q) дорівнює різниці сум теплоти згоряння (Q_3) вихідних речовин (i) і продуктів реакції (j), помножених на відповідні стехіометричні коефіцієнти (v_i, v_j):

$$Q = \Sigma (v_j \cdot Q_3 j)\ прод - \Sigma (v_i \cdot Q_3\ i)\ вих.реч. \quad (2)$$

Ця обставина дозволяє, користуючись табличними значеннями теплоти згоряння речовин, розрахувати теплоту реакції, не вдаючись до експерименту. Якщо початковий і кінцевий стани хімічної реакції (реакцій) збігаються, то їхній тепловий ефект дорівнює нулю. Піролізний процес виробництва коксу та супутніх хімічних продуктів відповідає таким умовам закону Гесса.

Тепловий баланс процесу коксування вугілля в коксових печах засновано на законі збереження енергії та його наслідку – рівнянні вихідної (витратної) та кінцевої (продуктової) частин цього балансу. Використовуючи закон Гесса та його наслідки, можна скласти тепловий баланс процесу коксування вугілля в коксових печах двома способами: по ентальпії або по теплоті згоряння (теплотворній здатності) вихідного вугілля у шихті та кінцевих продуктів коксового виробництва.

Тепловий ефект для зазвичай використовуваного вугілля у шихті відносно незначний (до 4 ккал/кг шихти), що становить приблизно 1% теплоти, витраченої на коксування, і несуттєво впливає на витрату теплоти на коксування. Несуттєвість теплового ефекту коксування для малометаморфозних вугілля та шихти, які використовуються на коксохімічних заводах України, дозволяють у практичних розрахунках приймати його рівним нулю [4, с. 48].

У цьому дослідженні розподілу енерговитрат і визначення енергоємності окремих продуктів багатопродуктового коксохімічного виробництва було застосовано два методологічні підходи, засновані на законі Гесса та його наслідках:

– метод 1, який використовує вагові показники та показники теплотворної здатності вихідних речовин і продуктів технологічного процесу коксування кам'яного вугілля;

– метод 2, який базується на вагових показниках та ентальпії (вмісту теплоти) вихідних речовин і продуктів цього процесу з урахуванням технологічних втрат у навколишнє середовище.

Особливості обох методів і теплового балансу процесу коксування в коксових печах зумовлюють підвищене значення достовірності складення матеріального балансу.

Як розрахункова одиниця масового балансу у розрахунках була прийнята одиниця маси шихти, що завантажується в коксову піч, яка зазвичай дорівнює одній тонні вологого та зольного вугілля.

Послідовність розрахункового дослідження розподілення енергоємності процесу коксування кам'яного вугілля при виробництві доменного коксу за обома методами передбачала виконання кількох етапів, таких як:

– підготовка вихідних даних за теоретичними й емпіричними залежностями, у які входять дані технічного (склад шихти за марками вугілля від шахт і збагачувальних фабрик, зокрема вологість, зольність, вміст сірки) й елементарного аналізу вихідної вугільної шихти; вихід продуктів коксування (коксу, бензолу, смоли, аміаку, сірководню, а також коксового газу та його елементарного аналізу), усередненими результатами аналізу з довідників та інших літературних джерел [4; 10]:

– складання матеріального балансу процесу коксування в коксових печах за довідниковими даними з літературних джерел. У дослідженні для зменшення впливу достовірності складання масового балансу на результати розрахунку енергоємності кінцевих продуктів використовувалися єдині для обох методів показники масового балансу та загальні вагові характеристики вихідних речовин і кінцевих продуктів процесу коксування, наведені у [4, с. 113, 114];

– складання теплового балансу коксування в коксових печах: а) за теплотворною здатністю вихідних речовин та продуктів коксування з використанням інформації, наведеної у [4, с. 118], б) за ентальпією вихідних речовин і продуктів коксування з урахуванням технологічних втрат у навколишнє середовище з використанням інформації, наведеної у [4, с. 134];

– визначення розподілення витрат теплової енергії продуктів коксування за їх теплотворною здатністю у відсотках для методу 1 та за їх ентальпією (теплотою) для методу 2, у якому всі технологічні втрати теплової енергії при обігріві коксових печей були розподілені поміж продуктами коксування їх частки в тепловому балансі;

– визначення питомої енергоємності продуктів коксування за витратами енергоносіїв на обігрів коксових печей при коксуванні вугілля та їхніми ваговими (масовими) показниками.

Результати визначення питомої технологічної енергоємності (складова частина обігріву) для окремих видів продукції коксування за витратами енергоносіїв на обігрів коксових печей при коксуванні вугілля представлені в табл. 1 для розрахунків за методом 1 (за теплотворною здатністю вихідних речовин і кінцевих продуктів) і в табл. 2 для розрахунків за методом 2 (за ентальпією вихідних речовин і продуктів та з урахуванням втрат теплової енергії в навколишнє середовище).

Із використанням двох методів складання теплових балансів (перший – за теплотворною здатністю вихідних речовин і вироблених продуктів, а другий – за їх ентальпією з урахуванням технологічних втрат) визначено паливну складову частину технологічної енергоємності (на обігрів коксових печей) кожного із продуктів коксування вугілля, як багатопродуктового виробництва. Отримані результати демонструють невелику відносну розбіжність між показниками при визначені цієї складової частини технологічної енергоємності для коксу (приблизно 1,5%), однак для коксового газу розбіжність досягає 8,5%, що можна пояснити урахуванням використання частини коксового газу (продукту) для обігріву коксових печей під час процесу коксування при застосуванні другого методу. Суттєві відносні розбіжності спостерігаються для хімічних продуктів коксування: бензолу сирого (26,3%), аміаку (35,5%), крім сірководню (7,4%) та смоли безводної (0,26%), що можна пояснити

Таблиця 1

Зведені матеріальний і тепловий (за теплотворною здатністю) баланси та питома енергоємність продуктів коксування вугілля (метод 1)

№	Вид продукту / сировини	Маса, кг	Частка у матеріальному балансі,%	Теплотворна здатність, ккал/кг	Теплота згорання, ккал	Частка у тепловому балансі,%	Розподіл теплоти обігріву коксових печей*, кг у.п.	Питома енергоємність (складова частина обігріву), кг у.п/т
1	Прибуткова частина							
1.1	Суха шихта	917,4	91,74	7 172	7 172 000	100,0		
1.2	Вологість шихти	82,6	8,26	0	0	0		
1.4	Тепловий ефект коксування				0	0		
1.5	Загалом	1 000,0	100,00		7 172 000	100,0		
2	Витратна частина							
2.1	Кокс валовий	716,6	71,66	7 377	5 286 358	73,71	67,97	90,88
2.2	Газ коксовий	128,1	12,81	11 068	1 417 839	19,77	18,23	144,70
2.3	Бензол сирий	10,5	1,05	10 168	106 764	1,49	1,37	103,76
2.4	Смола безводна	31,1	3,11	9 300	289 230	4,03	3,72	114,48
2.5	Аміак 100%	2,8	0,28	5 177	14 496	0,20	0,19	93,22
2.6	Сірко-водень	5,2	0,52	4 045	21 034	0,29	0,27	47,89
2.7	Волога шихти	82,6	8,26		0	0,00	0	
2.8	Піролітична вода	23,0	2,30		0	0,00	0	
2.9	Нев'язка	0,1	0,01		36 279	0,51	0,47	
2.10	Загалом	1000,0	100,00		7 172 000	100,00	88,35*	

* – витрати теплової енергії на обігрів коксових печей відповідно до п. 1 табл. 2

малою сумарною часткою цих речовин у тепловому балансі (менше 3,5%) і прийнятими припущеннями щодо нехтуванням тепловим ефектом термохімічної реакції коксування при складанні теплового балансу із застосуванням першого методу (за теплотворною здатністю).

З огляду на наведені розбіжності та той факт, що тепловий баланс, складений за ентальпією вихідних речовин і продуктів коксування, має більшу достовірність і значний обсяг показників для обрахування, можна рекомендувати попереднє визначення енергоємності окремих видів продуктів виконувати згідно з методом за теплотворною здатністю, а уточнення – з використанням методу за ентальпією вихідних речовин і продуктів коксування.

За розподіленням витрат теплової енергії поміж продуктами коксування вугілля можна обраховувати використання теплових вторинних енергетичних ресурсів (ТВЕР) технологічного процесу [11, с. 17]:

– загальні ТВЕР для всіх продуктів коксування: при утилізації теплоти відхідних газів, які утворилися при спалюванні палива для обігріву коксових печей (опалювального коксового газу та прямого (неочищеного від хімічних продуктів) коксового газу, який фільтрується до системи обігріву). Теплота відхідних димових газів, що утворилися при спалюванні палива для обігріву коксових печей і зазвичай скидаються в атмосферне повітря через димову трубу, досягає 14% теплоти згоряння газу для обігріву коксових печей (п. 2.8 та п. 2.9 табл. 2);

– окремі ТВЕР для деяких продуктів коксування:

а) для коксу при утилізації фізичної теплоти розжареного коксу із застосуванням технології сухого гасіння коксу із виробництвом теплової та / або електричної енергії. Фізична теплота розжареного коксу досягає 44% теплоти згоряння газу для обігріву коксових печей (п. 2.1 табл. 2);

б) для інших продуктів при утилізації фізичної теплоти цих продуктів із застосуванням первинних і вторинних охолоджувачів коксового газу для отримання теплової енергії. Фізична теплота гарячого коксового газу на виході з коксових печей досягає 13% теплоти згоряння газу

Таблиця 2

Тепловий баланс (за ентальпією) та питома енергоємність продуктів коксування вугілля (метод 2)

№	Складові частини теплового балансу	Теплова енергія			Питома енергоємність (складова частина обігріву), кг у.п/т т
		ккал	%	перерозподіл, ккал	
1	Прибуткова частина	618 442	100,00		
1.1	Теплота згорання опалювального газу на обігрів коксових батарей	590 595	95,49		
1.2	Ентальпія опалювального газу	2 355	0,38		
1.3	Ентальпія повітря, що надається для згорання опалювального газу	4 696	0,76		
1.4	Ентальпія шихти, яка завантажується у камеру коксування	6 377	1,03		
1.5	Теплота згорання прямого (неочищеного) коксового газу, що фільтрується до системи обігріву	13 087	2,12		
1.6	Ентальпія прямого коксового газу, який перетікає з камери коксування у систему обігріву	1 171	0,19		
1.7	Ентальпія повітря, що надається для згорання прямого газу	102	0,02		
1.8	Нев'язка балансу	59	0,01		
2	Витратна частина	618 442	100,00		
	Теплота продуктів			618 442	
2.1	Ентальпія розжареного коксу	270 047	43,67	448 803	89,47
2.2	Теплота нагріву коксового газу	80 542	13,02	133 769	149,18
2.3	Теплота нагріву бензолу сирого	4 376	0,71	7 298	99,29
2.4	Теплота нагріву смоли безводної	15 015	2,43	24 985	114,77
2.5	Теплота нагріву аміаку (100%)	1 209	0,19	1 917	97,81
2.6	Теплота нагріву сірководню	989	0,16	1 670	45,87
	Теплота технологічних втрат				
2.7	Теплота випаровування вологи	99 451	16,08		
2.8	Теплота, що відходить із продуктами згорання опалювального газу	84 865	13,72		
2.9	Теплота, яка відходить із продуктами згорання прямого газу	1 858	0,30		
2.10	Теплота, втрачена внаслідок недопалу опалювального та прямого газів	0	0,00		
2.11	Теплота згорання й ентальпія газу, втрачена при вивантаженні коксу	6 180	1,00		
2.12	Теплові втрати у навколишнє середовище	53 910	8,72		

для обігріву коксових печей (п. 2.2 табл. 2), а фізична теплота інших хімічних продуктів на виході з коксових печей досягає 4% відповідно (п. 2.3–2.6 табл. 2).

У табл. 3 наведені результати розрахунку впливу застосування утилізації теплоти продуктів на енергоємність окремих продуктів коксування кам'яного вугілля в коксових печах.

Аналіз впливу застосування розглянутих технологій утилізації теплоти продуктів на енергоємність окремих продуктів коксування дозволяє прогнозувати показники енергоефективності технологічного процесу коксування кам'яного вугілля за впровадження енергозберігаючих технологій із використанням теплових вторинних енергетичних ресурсів.

Висновки. Отримані результати визначення паливної складової частини технологічної енергоємності продуктів коксування кам'яного вугілля показали теоретичну та практичну можливість

Таблиця 3

Вплив застосування утилізації теплоти продуктів на енергоємність окремих продуктів коксування кам'яного вугілля

№	Продукт коксування кам'яного вугілля	Енергоємність продукту (паливна складова частина), кг у.п/т, за умов застосування утилізації теплоти продуктів				
		без застосування	продуктів згорання	розжареного коксу	коксового газу	хімічних продуктів
1	Кокс валовий	89,47	79,44	58,21		
2	Газ коксовий	149,18	132,45		133,64	
3	Бензол сирий	99,29	88,15			96,52
4	Смола безводна	114,77	101,90			111,56
5	Аміак 100%	97,81	86,84			95,08
6	Сірководень	45,87	40,73			44,59

використання закону Гесса та його наслідків для визначення розподілу технологічної енергоємності між окремими продуктами багатопродуктового виробництва – коксування вугілля.

Використані методичні підходи можуть бути застосовані при визначенні складників технологічної енергоємності окремих видів продукції багатопродуктового виробництва нафтопродуктів.

Список літератури:

1. Маляренко О.Є., Станиціна В.В., Куц Г.О. Прогнозування попиту на паливно-енергетичні ресурси для енергоємних видів продукції з урахуванням потенціалу енергозбереження до 2040 р. *Проблеми загальної енергетики.* 2019. № 2 (57). С. 13–20.
2. Украинские коксохимзаводы сократили производство металлургического кокса на 6%. Укррудпром. 12 августа 2020 г. URL: http://ukrrudprom.com/news/Ukrainskie_koksohimzavodi_sokratili_proizvodstvo_metallurgichesk.html.
3. У 2019 р. виробництво коксу в Україні знизилося на 7,1%. GMK center. 20 січня 2020 р. URL: https://gmk.center/ua/news/u-2019-roci-virobnictvo-koksu-v-ukraini-znizilosya-na-7-1/.
4. Ханин И.М., Обуховский Я.М., Юшин В.В., Яремчук В.А. Методы расчета материального и теплового балансов коксовых печей. Москва : Металлургия, 1972. 160 с.
5. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт, послуг. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 11 с.
6. ГОСТ Р 51750-2001 Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказания услуг в технологических энергетических системах. Москва : ИПК Изд-во стандартов. 27 с.
7. Лисиенко Н.Г., Щелоков Я.М., Розин С.Е., Дружинина О.Г., Пареньков А.Е. Энергетический анализ, методика и базовое информационное обеспечение. Екатеринбург : Изд. УГТУ-УПИ. 2001. 97 с.
8. Грищенко С.Г., Сталинский Д.В., Литвиненко В.Г. Применение метода сквозной энергоемкости для анализа затрат энергоресурсов ГМК. *Горнорудная и металлургическая промышленность.* 2009. № 1. С. 110–114.
9. Станиціна В.В. Аналіз методів визначення показників енергетичної ефективності. *Scientific Journal «ScienceRise».* 2015. № 10/2 (15). С. 27–31.
10. Довідник коксохіміка. Т. 2. Виробництво коксу / за ред. Рудики В.І., Зінгермана Ю.Ю. Харків : Видавничий дім «ІНЖЕК», 2014. 728 с.
11. ДСТУ 4370:2011 Енергозбереження. Коксохімічне виробництво. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання. На заміну ДСТУ 4370:2005. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 93 с.

Teslenko O.I. THE PECULIARITIES OF DETERMINATION OF SEPARATE COMPONENTS OF TECHNOLOGICAL ENERGY INTENSITY OF COKE CHEMICAL INDUSTRY PRODUCTS

The peculiarities of the methodical approach to the distribution of technological energy intensity between separate kinds of products of multi-product industries on the example of the process of coking coal in ferrous metallurgy are considered. To determine the distribution of energy consumption and energy intensity of individual products of multi-product coke industry two methodological approaches were used, based on Hess's law and its consequences. The first method uses weights and calorific value of raw materials and products of the process of coking coal. The second method is based on the weights and enthalpy of the materials and products of this process, taking into account technological losses to the environment. The obtained results of determining the fuel component of technological energy intensity of coal coking products showed the theoretical and practical possibility of using Hess's law and its consequences to determine the distribution of technological energy intensity between individual products of multi-product industry. The results of energy intensity calculations separately for coke, coke oven gas and chemical products are presented. The results of the calculations show a small relative discrepancy between the indicators by the two methods in determining this component of technological energy intensity for coke (approximately 1.5%). However, for coke oven gas the difference reaches up to 8.5%. Significant relative differences are observed for chemical coking products: crude benzene (26.3%), ammonia (35.5%), except for hydrogen sulfide (7.4%) and anhydrous resin (0.26%), which can be explained by a small total share of these substances in the heat balance (less than 3.5%) and the accepted assumptions regarding the neglect of the thermal effect of the thermochemical coking reaction when compiling the heat balance using the first method (calorific value).

The proposed methodological approaches can be used to determine the components of technological energy intensity of certain types of products of multi-product industries of petroleum products.

Key words: *energy intensity, multi-product industries, coke, coke oven gas, chemical products.*

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 544.31
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/08

Борисенко О.М.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Логвінков С.М.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Шабанова Г.М.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Остапенко І.А.
ТОВ «Дружківський вогнетривкий завод»

ГЕОМЕТРО-ТОПОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБСОЛІДУСНОЇ БУДОВИ СИСТЕМИ $MgO – FeO – TiO_2$

У статті розраховано та проаналізовано геометро-топологічні характеристики субсолідусної будови системи $MgO – FeO – TiO_2$, а також надано рекомендації щодо раціональних складів вогнетривких матеріалів, що належать до цієї системи. У результаті проведеного термодинамічного аналізу системи $MgO – FeO – TiO_2$ встановлено, що розбиття системи на елементарні трикутники зазнає змін у трьох температурних інтервалах: I – до температури 1115 К, II – у температурному інтервалі 1115 – 1413 К, III – вище температури 1413 К. Розраховано та проаналізовано основні геометро-топологічні характеристики субсолідусної будови системи $MgO – FeO – TiO_2$ та її фаз, що включають площі елементарних трикутників, ступінь їх асиметрії, площі областей, у яких існують фази, ймовірність існування фаз. Установлено, що в концентраційній області системи $MgO – FeO – TiO_2$, яка обмежена елементарним трикутником $MgO – FeO – Mg_2TiO_4$, раціонально розробляти нові види периклазошпінельних вогнетривів із підвищеною термостійкістю. Підвищення термостійкості для таких вогнетривів можна досягти за рахунок організації мікротріщинуватої структури через відмінності коефіцієнтів лінійного розширення периклазу (MgO) і титаномагнієвої шпінелі (Mg_2TiO_4). При цьому слід виключити наявність вільного FeO у складі вихідної шихти. Таким чином, результати субсолідусної будови системи $MgO – FeO – TiO_2$ надають дослідникам важливу інформацію для вибору раціональних технологічних операцій і параметрів проведення процесів синтезу вогнетривких матеріалів у цій системі із заздалегідь заданим фазовим складом.

Ключові слова: *субсолідусна будова, геометро-топологічні характеристики, вогнетривкий матеріал, ульвошпінель, кванділіт.*

Постановка проблеми. Виробництво сучасних вогнетривких матеріалів вимагає впровадження нових технологій без тривалого експериментального підбору складів мас і температурних режимів, тобто актуалізується питання теоретичного прогнозування і цілеспрямованого регулювання фазового складу, структури і властивостей матеріалів. Теоретичні результати досліджень дозволяють модернізувати наявні або створювати нові ефективні технологічні схеми виробництва таких матеріалів. Найбільш повну інформацію про фазові перетворення і термодинамічну стабільність комбінацій фаз (залежно від зміни температури) містять діаграми стану, а для вогнетривких матеріалів найбільш цінною є інформація щодо субсолідусної будови системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У бінарній системі $FeO – TiO_2$ є три термодинамічно стабільні сполуки: ульвошпінель Fe_2TiO_4, ільменіт $FeTiO_3$ та псевдобрукіт $FeTi_2O_5$.

Фазова діаграма системи $MgO – TiO_2$ досліджувалася досить давно. У більш ранніх дослі-

дженнях говорилося про дві сполуки (кванділіт Mg_2TiO_4 і карроіт $MgTi_2O_5$). Пізніше було описано стехіометричну сполуку гейкеліт $MgTiO_3$.

У системі MgO – FeO подвійних сполук не існує, а утворюються безперервні тверді розчини.

Незважаючи на наявні відомості про бінарні підсистеми FeO – TiO_2 [1–3] та MgO – TiO_2 [4–6], що входять до складу трикомпонентної системи MgO – FeO – TiO_2, відомості про повну її будову відсутні, є лише часткові відомості, значна кількість яких має розрахунковий характер [5–8]. Зважаючи на це, актуальним є питання вивчення будови системи MgO – FeO – TiO_2 в області субсолідусу. Потрійних оксидних сполук у досліджуваній системі не виявлено.

Постановка завдання. Мета роботи – розрахувати та проаналізувати геометро-топологічні характеристики субсолідусної будови системи MgO – FeO – TiO_2, а також спрогнозувати раціональні склади вогнетривких матеріалів, що належать до цієї системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. У результаті проведеного термодинамічного аналізу системи MgO – FeO – TiO_2 за методикою [9], авторами встановлено, що розбиття системи на елементарні трикутники зазнає змін у трьох температурних інтервалах:

I – до температури 1115 К співіснують такі комбінації фаз: TiO_2 – $FeTiO_3$, $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$, TiO_2 – $MgTi_2O_5$, $FeTiO_3$ – $MgTiO_3$, $MgTi_2O_5$ – $MgTiO_3$, $FeTiO_3$ – Fe_2TiO_4, $MgTiO_3$ – Fe_2TiO_4, $MgTiO_3$ – Mg_2TiO_4, Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4, Fe_2TiO_4 – FeO, Mg_2TiO_4 – FeO, MgO – FeO, MgO – Mg_2TiO_4. Відповідно, система розбивається на шість елементарних трикутників: 1) TiO_2 – $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$, 2) $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$ – $MgTiO_3$, 3) $FeTiO_3$ – $MgTiO_3$ – Fe_2TiO_4, 4) $MgTiO_3$ – Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4, 5) Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO, 6) MgO – FeO – Mg_2TiO_4;

II – в інтервалі температур 1115 – 1413 К відбувається перебудова коннод, а саме зникає коннода $MgTiO_3$ – Fe_2TiO_4 та з'являється коннода $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4, що вносить відповідні зміни до розбиття системи на елементарні трикутники: 1) TiO_2 – $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$; 2) $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$ – $MgTiO_3$; 3) $MgTiO_3$ – $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4; 4) $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4; 5) Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO; 6) MgO – FeO – Mg_2TiO_4;

III – вище температури 1413 К зміни в термодинамічній фазовій рівновазі системи зумовлені стабільністю псевдобрукіту $FeTi_2O_5$, що вносить такі зміни: зникає коннода TiO_2 – $FeTiO_3$ і додаються конноди: TiO_2 – $FeTi_2O_5$, $FeTi_2O_5$ – $FeTiO_3$, $MgTi_2O_5$ – $FeTi_2O_5$, що розбиває систему на 7 елементарних трикутників: 1) TiO_2 – $MgTi_2O_5$ – $FeTi_2O_5$; 2) $FeTi_2O_5$ – $MgTi_2O_5$ – $FeTiO_3$; 3) $FeTiO_3$ – $MgTi_2O_5$ – $MgTiO_3$; 4) $MgTiO_3$ – $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4; 5) $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4; 6) Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO; 7) MgO – FeO – Mg_2TiO_4.

Результати розбиття системи MgO – FeO – TiO_2 на елементарні трикутники відповідає правилу Курнакова [7]: $X_I = 1 + 5 = 6$; $X_{II} = 1 + 5 = 6$; $X_{III} = 1 + 6 = 7$.

Через відсутність у системі потрійних сполук топологічний графом взаємозв'язку елементарних трикутників у всіх температурних інтервалах є пряма лінія.

Для характеристики субсолідусної будови системи MgO – FeO – TiO_2 зроблено розрахунок довжин коннод (L), результати якого представлено в Табл. 1.

Із Табл. 1 видно, що довжина коннод максимальної та мінімальної (Mg_2TiO_4 – FeO і $MgTi_2O_5$ – $MgTiO_3$ відповідно) зберігаються в усьому температурному інтервалі субсолідусу (MgO – FeO не враховували, оскільки вона збігається зі стороною концентраційного трикутника системи MgO – FeO – TiO_2). Співіснування Mg_2TiO_4 – FeO вказує на наявність протяжної області фаз, що співіснують і що володіють кристалічною структурою кубічного типу.

Основні геометро-топологічні характеристики субсолідної будови системи і її фаз, що включають площі елементарних трикутників, ступінь їх асиметрії (L_{max}/L_{min}), площу областей, у яких існують фази, ймовірність існування фаз у системі MgO – FeO – TiO_2, розраховані за методикою [7], наведено в Табл. 2, 3.

Із представлених результатів видно, що найбільшою площею вирізняється елементарний трикутник MgO – FeO – Mg_2TiO_4 (500). Він також має найменший ступінь асиметрії (2,000) протягом усього температурного інтервалу. Однак наявність FeO обмежує використання його для отримання вогнетривких матеріалів, що пов'язано з можливістю окиснення оксиду заліза в складі цих матеріалів, тобто переходу FeO у Fe_2O_3 зі збільшенням об'єму до 26% і, як наслідок, руйнування цілісності вогнетриву.

Елементарний трикутник Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO (порівняно з іншими елементарними трикутниками (за винятком MgO – FeO – Mg_2TiO_4)) має найбільшу площу (179) і середній ступінь асиметрії (2,426), що вказує на відсутність необхідності в точному дозуванні компонентів і ретельності їх змішування. У цьому трикутнику співіснують такі цінні шпінельні фази, як Fe_2TiO_4

Таблиця 1

Довжини коннод системи $MgO – FeO – TiO_2$

№	Позначення конноди	L, ‰
до температури 1115 К		
1	$MgO – FeO$	1000
2	$Mg_2TiO_4 – FeO$	866
3	$Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4$	585
4	$MgTiO_3 – Fe_2TiO_4$	557
5	$MgO – Mg_2TiO_4$	500
6	$TiO_2 – FeTiO_3$	474
7	$FeTiO_3 – MgTiO_3$	422
8	$FeTiO_3 – MgTi_2O_5$	412
9	$Fe_2TiO_4 – FeO$	357
10	$TiO_2 – MgTi_2O_5$	200
11	$FeTiO_3 – Fe_2TiO_4$	169
12	$MgTiO_3 – Mg_2TiO_4$	167
13	$MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	133
в інтервалі температур 1115 – 1413 К		
1	$MgO – FeO$	1000
2	$Mg_2TiO_4 – FeO$	866
3	$Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4$	585
4	$MgO – Mg_2TiO_4$	500
5	$FeTiO_3 – Mg_2TiO_4$	488
6	$TiO_2 – FeTiO_3$	474
7	$FeTiO_3 – MgTiO_3$	422
8	$FeTiO_3 – MgTi_2O_5$	412
9	$Fe_2TiO_4 – FeO$	357
10	$TiO_2 – MgTi_2O_5$	200
11	$FeTiO_3 – Fe_2TiO_4$	169
12	$MgTiO_3 – Mg_2TiO_4$	167
13	$MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	133
вище температури 1413 К		
1	$MgO – FeO$	1000
2	$Mg_2TiO_4 – FeO$	866
3	$Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4$	585
4	$MgO – Mg_2TiO_4$	500
5	$FeTiO_3 – Mg_2TiO_4$	488
6	$FeTiO_3 – MgTiO_3$	422
7	$MgTi_2O_5 – FeTiO_3$	412
8	$Fe_2TiO_4 – FeO$	357
9	$TiO_2 – FeTi_2O_5$	310
10	$MgTi_2O_5 – FeTi_2O_5$	272
11	$TiO_2 – MgTi_2O_5$	200
12	$FeTiO_3 – Fe_2TiO_4$	169
13	$MgTiO_3 – Mg_2TiO_4$	167
14	$FeTi_2O_5 – FeTiO_3$	164
15	$MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	133

(ульвошпінель) – Mg_2TiO_4 (кванділіт), причому кванділіт має найбільшу ймовірність існування (0,262 до температури 1115 К, а вище цієї температури – 0,281), а ульвошпінель також має

Таблиця 2

Характеристика елементарних трикутників системи $MgO – FeO – TiO_2$

№	Елементарний трикутник	Площа, ‰	Ступінь асиметрії
до температури 1115 К			
1	$TiO_2 – FeTiO_3 – MgTi_2O_5$	95	2,370
2	$FeTiO_3 – MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	63	3,172
3	$FeTiO_3 – MgTiO_3 – Fe_2TiO_4$	56	3,296
4	$MgTiO_3 – Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4$	107	3,502
5	$Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO$	179	2,426
6	$MgO – FeO – Mg_2TiO_4$	500	2,000
∑ max min		1000 500 56	– 3,502 2,000
в інтервалі температур 1115 – 1413 К			
1	$TiO_2 – FeTiO_3 – MgTi_2O_5$	95	2,370
2	$FeTiO_3 – MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	63	3,172
3	$MgTiO_3 – FeTiO_3 – Mg_2TiO_4$	79	2,922
4	$FeTiO_3 – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4$	84	3,462
5	$Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO$	179	2,426
6	$MgO – FeO – Mg_2TiO_4$	500	2,000
∑ max min		1000 500 63	– 3,462 2,000
вище температури 1413 К			
1	$TiO_2 – MgTi_2O_5 – FeTi_2O_5$	62	1,550
2	$FeTi_2O_5 – MgTi_2O_5 – FeTiO_3$	33	2,512
3	$FeTiO_3 – MgTi_2O_5 – MgTiO_3$	63	3,172
4	$MgTiO_3 – FeTiO_3 – Mg_2TiO_4$	79	2,922
5	$FeTiO_3 – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4$	84	3,462
6	$Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO$	179	2,426
7	$MgO – FeO – Mg_2TiO_4$	500	2,000
∑ max min		1000 500 33	– 3,172 1,550

порівняно високий ступінь існування (порівняно з іншими подвійними сполуками системи, виключаючи кванділіт (0,114 до температури 1115 К, а вище цієї температури – 0,087)).

Вище температури 1115 К становить інтерес ще один елементарний трикутник $FeTiO_3 – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4$, який має меншу площу, ніж попередні два, але найбільшу порівняно з іншими (84), хоча має високий ступінь асиметрії, що вказує на необхідність чіткого дотримання всіх технологічних параметрів масопідготовчих операцій. Фази, які входять до його складу, мають найбільшу ймовірність існування, виключаючи вихідні компоненти MgO та FeO (в температурному інтервалі 1115 –

Таблиця 3

Геометро-топологічна характеристика фаз системи MgO – FeO – TiO_2

Сполука	Зі скількома фазами співіснує	У скількох трикутниках існує	Площа існування, Si, ‰	Можливість існування, ω
до температури 1115 К				
MgO	2	1	500	0,167
TiO_2	2	1	95	0,032
FeO	3	2	679	0,226
Mg_2TiO_4	4	3	786	0,262
$MgTiO_3$	4	3	226	0,075
$MgTi_2O_5$	3	2	158	0,053
$FeTiO_3$	4	3	214	0,071
Fe_2TiO_4	4	3	342	0,114
∑ max min			3000 786 95	1,000 0,262 0,032
в інтервалі температур 1115 – 1413 К				
MgO	2	1	500	0,167
TiO_2	2	1	95	0,032
FeO	3	2	679	0,226
Mg_2TiO_4	5	4	842	0,281
$MgTiO_3$	3	2	142	0,047
$MgTi_2O_5$	3	2	158	0,053
$FeTiO_3$	5	4	321	0,107
Fe_2TiO_4	3	2	263	0,087
∑ max min			3000 842 95	1,000 0,281 0,032
вище температури 1413 К				
MgO	2	1	500	0,167
TiO_2	2	1	62	0,021
FeO	3	2	679	0,226
Mg_2TiO_4	5	4	842	0,281
$MgTiO_3$	3	2	142	0,047
$MgTi_2O_5$	4	3	158	0,053
$FeTiO_3$	5	4	259	0,086
Fe_2TiO_4	3	2	263	0,087
$FeTi_2O_5$	3	2	95	0,032
∑ max min			3000 842 62	1,000 0,281 0,021

1413 К: 0,107, 0,281 і 0,087 для $FeTiO_3$, Mg_2TiO_4 і Fe_2TiO_4 відповідно; вище температури 1413 К: 0,086, 0,281 і 0,087 для $FeTiO_3$, Mg_2TiO_4 і Fe_2TiO_4 відповідно).

У концентраційній області системи MgO – FeO – TiO_2, що обмежена елементарним трикутником MgO – FeO – Mg_2TiO_4, раціонально розробляти нові види периклазошпінельних вогнетривів із підвищеною термостійкістю. Підвищення термостійкості для таких вогнетривів можна досягти за рахунок організації мікротріщинуватості структури через відмінності коефіцієнтів лінійного розширення периклазу (MgO) і титаномагнієвої шпінелі (Mg_2TiO_4). При цьому слід виключити наявність вільного FeO у складі вихідної шихти. Цього можна досягти застосуванням реакційноспікаючих зв'язок, у яких FeO перебуває в складі подвійних сполук (ільменіт ($FeTiO_3$) або ульвошпінель (Fe_2TiO_4)). Фактично склад реакційноспікаючих зв'язок повинен належати концентраційним областям, які відповідають елементарним трикутникам $FeTiO_3$ – Mg_2TiO_4 – Fe_2TiO_4 і Fe_2TiO_4 – Mg_2TiO_4 – FeO, а валовий склад шихти для периклазошпінельних вогнетривів – елементарному трикутнику MgO – FeO – Mg_2TiO_4. У такому разі під час випалювання буде формуватися рівноважна комбінація фаз (тверді розчини FeO у MgO і кванділіт). Реакційне спікання буде підтримуватися протіканням твердофазних реакцій:

$$4MgO + 2FeTiO_3 = 2Mg_2TiO_4 + Fe_2TiO_4;$$
$$2MgO + FeTiO_3 = Mg_2TiO_4 + FeO;$$
$$2MgO + Fe_2TiO_4 = Mg_2TiO_4 + 2FeO.$$

Висновки. Таким чином, результати субсолідусної будови системи MgO – FeO – TiO_2 надають дослідникам важливу інформацію для вибору раціональних технологічних операцій і параметрів проведення процесів синтезу вогнетривких матеріалів у цій системі із заздалегідь заданим фазовим складом. Для розроблення нових видів периклазошпінельних вогнетривів із підвищеною термостійкістю раціонально використовувати концентраційну область системи MgO – FeO – TiO_2, яка обмежена елементарним трикутником MgO – FeO – Mg_2TiO_4.

Список літератури:

1. Itaya H., Watanabe T., Hayashi M., Nagata K. Phase diagram of FeO – TiO_2 – SiO_2 – 5 % Al_2O_3 slag (phase diagram of smelting slag of titanium oxide bearing iron sand). *ISIJ Int.* 2014. Vol. 54. No. 5. P. 1067–1073.

2. Xuan C., Nakajima K., Shibata H., Jonsson P.G. Wetting and spreading behavior of liquid iron on single crystal TiO_2 substrate. *Mater Lett.* 2020. Vol. 258. Article No. 126778.

3. Fan H., Chen D., Liu P., Duan H., Huang Y., Long M., Liu T. Structural and transport properties of FeO – TiO_2 system through molecular dynamics simulations. *J. Non-Cryst. Solids*. 2018. Vol. 493. P. 57–64.

4. Ilatovskaia M., Saenko I., Savinykh G., Fabrichnaya O. Experimental study of phase equilibria in the Al_2O_3–MgO–TiO_2 system and thermodynamic assessment of the binary MgO–TiO_2 system. *J. Am. Ceram. Soc*. 2018. Vol. 101. No. 11. P. 5198–5218.

5. Ilatovskaia M., Fabrichnaya O. Thermodynamic assessment of the Al_2O_3–MgO–TiO_2 system. *J. Alloys Compd*. 2019. Vol. 790. P. 1137–1148.

6. Jantzen T., Hack K., Yazhenskikh E., Müller M. Addition of TiO_2 and Ti_2O_3 to the Al_2O_3 – FeO – Fe_2O_3 – MgO system. *Calphad.* 2018. Vol. 62. P. 187–200.

7. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов. Киев : Наукова думка, 1970. 541 с.

8. Pownceby M.I., Fischer-White M.J. Phase equilibria in the systems Fe_2O_3 – MgO – TiO_2 and FeO – MgO – TiO_2 between 1173 and 1473 K, and Fe^{2+} – Mg mixing properties of ilmenite, ferrous-pseudobrookite and ulvöspinel solidsolutions. Contrib Mineral Petrol. 1999. No. 135. P. 198–211.

9. Логвинков С.М. Твердофазные реакции обмена в технологии керамики: монография. Харьков : ХНЭУ, 2013. 248 с.

Borysenko O.M., Logvinkov S.M., Shabanova G.M., Ostapenko I.A.

GEOMETRICAL-TOPOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SUBSOLIDUS STRUCTURE IN THE MgO – FeO – TiO_2 SYSTEM

The article calculates and analyzes the geometrical-topological characteristics of the subsolidus structure in the MgO – FeO – TiO_2 system, as well as predicted rational compositions of refractory materials related to the system under consideration. As a result of the carried out thermodynamic analysis of the MgO – FeO – TiO_2 system, it was found that the division of the system into elementary triangles undergoes changes in three temperature ranges: I – up to a temperature of 1115 K, II – In the temperature range 1115 – 1413 K, III – above a temperature of 1413 K. The main geometrical-topological characteristics of the subsolid structure of the MgO – FeO – TiO2 system and its phases are calculated and analyzed, including the areas of elementary triangles, the degree of their asymmetry, areas of regions in which phases exist, and the probability of phases existence. It has been established that in the concentration range of the MgO – FeO – TiO_2 system, limited by the elementary triangle MgO – FeO – Mg_2TiO_4, it is rational to develop new types of periclase-spinel refractories with increased heat resistance. An increase in heat resistance for such refractories can be achieved by organizing a microcracked structure due to the difference in the linear expansion coefficients of periclase (MgO) and titanium-magnesium spinel (Mg_2TiO_4). In this case, the presence of free FeO in the composition of the initial charge should be excluded. Thus, the results of the subsolidus structure of the MgO – FeO – TiO_2 system provide researchers with important information for choosing rational technological operations and parameters for carrying out the synthesis of refractory materials in this system with a predetermined phase composition.

Key words: *subsolidus structure, geometrical-topological characteristics, refractory material, ulvospinel, quandilite.*

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 614.4-023
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/09

Антоненко А.В.
Київський університет культури

Бровенко Т.В.
Київський національний університет культури і мистецтв

Василенко О.В.
Київський університет культури

Земліна Ю.В.
Київський університет культури

Толок Г.А.
Київський національний університет культури і мистецтв

Криворучко М.Ю.
Київський національний торговельно-економічний університет

Грищенко І.М.
Київський національний університет культури і мистецтв

ТЕХНОЛОГІЯ БОРОШНЯНИХ СТРАВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО БОРОШНА

У статті розглянуто доцільність використання безглютенового борошна в технології борошняних виробів. Розроблено й обґрунтовано технологію вареників «Веселка» із використанням безглютенового борошна. На основі проведених досліджень підтверджено покращення вмісту харчових волокон та інших ессенціальних нутрієнтів. Експериментально доведено, що використання безглютенового борошна позитивно впливає і на органолептичні показники, адже має нейтральний смак. Виявлено можливість і доцільність використання безглютенового борошна в технологіях тіста для вареників, які зможуть споживати люди, хворі на целіакію. Перспективним напрямом є використання компонентних сумішей безглютенових видів борошна з визначеною харчовою цінністю та прогнозованим впливом на якісні показники виробів. У результаті проведених досліджень розроблено технологію страви, яку можна вважати джерелом харчових волокон, незамінних амінокислот, вітамінів B_4 і B_9, а також магнію, заліза та фосфору. На основі визначених якісних показників та коефіцієнтів вагомості розраховано комплексний показник якості вареників «Веселка» з використанням безглютенового борошна та побудовано модель якості. З отриманих даних встановлено, що модель якості демонструє зростання комплексного показника якості дослідного зразка порівняно з контрольним за кожним показником окремо. Вареники «Веселка» є функціональним харчовим продуктом, що сприяє профілактиці захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин, та запобігає виникненню дефіциту вітамінів B_4 і B_9, магнію, заліза та фосфору в організмі людини та можуть бути рекомендовані у раціонах людей, які працюють на токсичних виробництвах та проживають на екологічно забруднених територіях.

Ключові слова: *целіакія, безглютенове борошно, рисове борошно, амарантове борошно, борошно тапіоки, борошняна страва, біологічна цінність.*

Постановка проблеми. Вироби з борошна є невід'ємною частиною української кухні і мають велике значення у раціоні харчування людини. Борошняні страви були здавна поширені в Україні. Готували безліч страв з борошна: затірку, галушки, локшину, варяниці, на Заході – кльоцки, на Поліссі – коми. Для них готували круте тісто (бажано на яйцях) і варили на юшці, молоці, воді. Їли з різними приправами. Звичайно ж, окремої уваги заслуговують вареники. Їх начиняли капустою, картоплею, сиром, гречаною кашею, маком, вареними і товченими сухофруктами, свіжими ягодами, фруктами, а на Полтавщині – ще й вареною квасолею, часом перетертою з калиною, з підсмаженим пшеничним борошном.

Борошняні вироби мають привабливий зовнішній вигляд, гарний смак, легко засвоюються організмом і користуються великим попитом у населення. Вони дуже корисні для людського організму, позаяк містять у собі вуглеводи (крохмаль, цукри і клітковину), білки водорозчинні (альбуміни, глобуліни, проламіни) і нерозчинні у воді (гліадіни та глютеніни), жири, мінеральні речовини (солі кальцію, фосфору, магнію, калію, натрію, заліза, марганцю, міді тощо), а також вітаміни (B_1, B_2, B_6, B_9, PP, холін, біотин, E, каротин). Харчова цінність їх залежить від виду борошна. Доведено, що одним із недоліків пшеничного борошна є білок глютен.

Глютен міститься в чотирьох злаках (пшениці, житі, ячмені і вівсі) та їх похідних. Надмірне вживання продуктів з глютеном підвищує ризик розвитку цілої низки захворювань, серед яких – серцево-судинні захворювання, рак, анемія, остеопороз, ревматоїдний артрит, розсіяний склероз, аутоімунні захворювання, шлунково-кишкові розлади і багато інших. Окрім того, в пшеничному борошні високий глікемічний індекс, що сприяє підвищенню рівня інсуліну, а звідси і збільшення ризику виникнення діабету [1; 3].

Останнім часом збільшується кількість людей з генетично зумовленою непереносимістю глютену (целіакія), які повинні вживати тільки безглютенові продукти. Целіакія (глютенова хвороба) – спадкове аутоімунне захворювання дітей і дорослих, що викликається постійною непереносимістю клейковини, або глютену. Вживання глютену хворими тягне за собою утворення антитіл, внаслідок чого захворювання проявляється у вигляді порушення всмоктувальної функції кишківника та інших недуг, що наступають у результаті запального ушкодження кишечника. Целіакія трапляється у всіх країнах світу. Інша назва цього захворювання – глютенова ентеропатія. Целіакія – найчастіше генетичне захворювання у Європі. В Італії приблизно 1 людина із 250, в Ірландії – 1 з 300 страждають целіакією. Дуже рідко целіакію виявляють у країнах Африки, Японії, Китаю, де перевагу у харчуванні віддають безглютеновим продуктам на основі сорго, проса, рису. За розрахунковими даними, в Україні має бути майже 450 тис. хворих на целіакію [1; 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наш час науковці в галузі харчування більшості країн світу акцентують особливу увагу на виробництві таких продуктів, які здатні підтримувати стан здоров'я споживачів на належному рівні, а також знижувати ризик цілої низки захворювань. Аналіз науково-практичних джерел показав перспективність розробки вареників на основі безглютенового борошна.

На першому етапі було проведено дослідження ціни на безглютенове борошно, що є досить важливим нині. За результатами моніторингу можна стверджувати, що найдорожчими є борошно тапіоки та кокосове (рис. 1).

Вказані види борошна мають різний хімічний склад, різну кількість білку, жиру та крохмалю, пентозанів, цукрів і вони по-різному можуть впливати на реологічні характеристики тіста та якісні показники готових виробів.

Амарантове борошно виготовляють з трав'янистої рослини амаранту, воно має солодкуватий смак з горіховим присмаком. Борошно кремового кольору. Використовують як згущувач для соусів і підлив та у приготуванні тіста. Амарантове борошно є природним джерелом сквалену (C30H50). Сквален – це поліненасичений вуглеводень. Головна властивість сквалену – насичення тканин і органів необхідною кількістю кисню і провітамінами, з яких організм має можливість самостійно «збирати» потрібні йому вітамінні сполуки. Порівняння поживної цінності насіння амаранту з пріоритетними харчовими культурами виявило більш високий вміст білка у амаранту, при цьому він добре збалансований за амінокислотним складом. Дефіцитними амінокислотами зернових рослин є лізин і метіонін, які у насінні амаранту містяться в двоє більшій кількості. Амарантове борошно багате такими мінеральними речовинами, як залізо, кальцій, калій, містить надзвичайно важливі полінасичені жирні кислоти, з яких хотілося б виділити лінолеву, яка в організмі людини не синтезується і повинна надходити з продуктами харчування. З інших сполук відзначимо високий вміст вітамінів B_2, E,

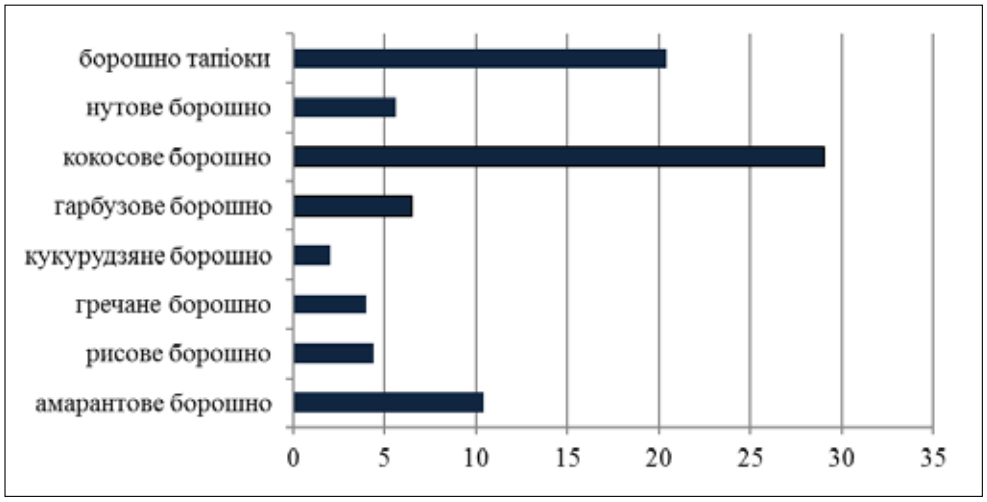


Рис. 1. Вартість безглютенового борошна в Україні на 2020 р., грн /100 г

B_1, вітаміни групи Д, жовчні кислоти, стероїди і фітостероїди.

Борошно тапіоки належить до безглютонового. Борошно майже не містить білків та жирів. Тапіока містить холін, який важливий для нормалізації рівня холестерину в крові, вітаміни групи В (B_1, B_4, B_5, B_6, B_9), що сприяють роботі нервової системи, мінеральні речовини: Ca, K, F, Zn, P.

Відміною особливістю гречаного борошна є високий вміст незамінних амінокислот, причому вміст білка не поступається пшеничному борошну. Наприклад, за вмістом лізину гречка перевищує за ступенем збалансованості просо, пшеницю, жито, за вмістом валіну – наближається до молока, лейцину – до яловичини, фенілаланіну – до молока та яловичини. Такий незначний перелік показує, що білки гречки відрізняються високим ступенем збалансованості за вмістом незамінних амінокислот, мають гарну засвоюваність, що робить гречане борошно особливо цінним дієтичним продуктом. Гречане борошно має високу поживну цінність, смакові властивості, легко засвоюється, широко використовується в технологіях сучасних страв і виробів. Рекомендується у разі аритмії, неврозу, вад серця, поліартритів, гепатиту, ожиріння і лейкозів, підвищує імунітет. За регулярного вживання страв із гречаного борошна з організму виводяться токсини і надлишок жирів, шлаки і солі важких металів. Крім того, гречане борошно відоме своїми властивостями знижувати вміст холестерину, запобігає артриту, захворюванню черевної порожнини, а також допомагає позбутися легкої депресії, піднімаючи рівень допаміну в крові [4].

Використання рису та рисового борошна нині надзвичайно поширене. Завдяки безпеці та користі таке борошно застосовують у виготовленні дитячого харчування. У рисовому борошні містяться залізо, марганець, калій, цинк, магній, селен, вітаміни B_1, B_2, B_4, B_5, B_6, B_9, PP, E, рослинний білок. Таке борошно варто використовувати тим, хто перебуває на безглютеновому харчуванні. Рисове борошно знижує ризик виникнення артриту чи гіпертонії. Але рисове борошно має високий показник глікемічного індексу, що може несприятливо позначитися на контролі рівня цукру в крові і підвищення ризику виникнення діабету [3].

Рисове борошно нейтральне за смаком. Гречане має насичений і дуже характерний аромат і смак, що може знизити органолептичні показники готової страви. Борошно тапіоки надає тісту еластичності, якість, яка практично відсутня в інших безглютенових борошняних інгредієнтах. Але таке борошно є одним із найдорожчих.

Постановка завдання. Хворим на целіакію прописана безглютенова дієта, що потребує розробки харчових продуктів, у тому числі борошняних виробів з використанням безглютенової сировини. До безглютенових видів борошна належать рисове, кукурудзяне, гречане борошно, нутове та ін.

Метою статті є дослідження видів безглютеного борошна та технологічних параметрів з метою розроблення та обґрунтування технології борошняної страви – вареників для людей, хворих на целіакію, визначення їх якості.

Об'єкт дослідження – технологія вареників з використанням безглютенового борошна. Для контролю вибрано вареники з кисломолочним сиром № 672 [6].

Предмет дослідження – борошняні страви (вареники), амарантове борошно, рисове борошно, борошно тапіоки, порошок калини.

Методи дослідження – органолептичні, фізико-хімічні, розрахункові.

Виклад основного матеріалу дослідження. З огляду на наведену інформацію найбільш перспективним напрямом створення безглютенових вареників з покращеним білковим, мінеральним та вітамінним складом є використання суміші безглютенового борошна.

Було вибрано та досліджено хімічний склад рисового, гречаного, амарантового борошна та борошна з тапіоки (табл. 1).

Вивчено технологічні властивості безглютенового борошна і науково обґрунтовано технологію приготування борошняних страв.

Таблиця 1

Хімічний склад безглютенового борошна (г/мг на 100 г)

Показник	Борошно			
	Гречане	Рисове	Тапіокове	Амарантове
Білки, г	13,6	5,9	0,2	15,8
Вуглеводи, г	71,9	80,13	88,7	60,1
Жири, г	1,2	1,4	0,1	7,5
Клітковина, г	2,3	2,4	0,9	0,85
Мінеральні речовини, мг				
Калій	204	76	11,1	215
Кальцій	80	10	20	520
Магній	48	35	1,0	300
Залізо	1,3	0,35	1,58	104
Марганець	–	–	0,11	5
Цинк	–	0,8	0,12	
Вітаміни:				
А	–	–	–	0,10
B_1	0,4	0,138	0,004	0,14
B_2	0,18	0,021	–	0,22
B_4	–	5,8	1,2	–
B_9, мкг	–	4,0	4,0	0,42
РР	2,7	2,6	–	1,0
Е	–	0,11	–	1,8
Енергетична цінність, ккал	326	366	358	426

Складання модельних композицій прісного тіста на основі різних видів борошна проводили з урахуванням розрахунків хімічного складу та органолептичних показників. Модельні композиції було розроблено з різних борошняних сумішей у різному співвідношенні: борошно гречане : борошно рисове, борошно гречане : борошно рисове : борошно амарантове, борошно рисове : борошно амарантове : борошно тапіоки та ін. (табл. 2).

За результатами технологічних досліджень встановлено неможливість приготування прісного тіста з гречаного та рисового борошна, оскільки структура тіста виходить непластичною, не має здатності до формування виробів. Модельні композиції з використанням гречаного борошна мають досить характерний смак і аромат гречки і погано поєднуються із сирною начинкою. Використання борошна тапіоки покращує еластичність тіста, а відповідно і органолептичні показники, але значно підвищує ціну страви.

За даними аналізу проведених наукових досліджень [5] ефективна в'язкість прісного тіста підвищується також у присутності порошку калини. Так, додавання порошку калини у кількості 2% до маси борошна підвищує в'язкість дослідного зразка тіста на 28%.

Стиглі ягоди калини містять до 32% інвертного цукру, до 82 мг % вітаміну С, пектинові речовини (0,92–1,1%), каротин (1,4–2,5 мг %), органічні кислоти, поліфенольні сполуки, зокрема антоціанів до 770 мг %, біофлаваноїдів до 500 мг % та катехінів до 146%.

Для покращення еластичності тіста доцільно до безглютенової борошняної суміші додавати борошно тапіоки та порошок калини. На основі відпрацювань технології тіста раціональним є використання борошна тапіоки у кількості 20% до суміші безглютеновго борошна та порошку калини у кількості 2%. Найкращі органолептичні показники мають вареники на основі модельної композиції № 4 з рисового, амарантового борошна та борошна тапіоки з додаванням порошку калини (табл. 3) [6].

Досліджено вплив рисового, амарантового та тапіокового борошна з використанням

Таблиця 2

Модельні композиції (МК) прісного тіста з різних видів борошна, %

Назва продукту	МК1	МК2	МК3	МК4	МК5	МК 6
Рисове борошно	50	40	30	35	–	35
Гречане борошно	50	–	30	–	35	35
Амарантове борошно	–	30	20	45	45	30
Борошно тапіоки	–	30	20	20	20	–

порошку калини на харчову цінність готової страви. У таблиці 3 наведено вміст основних харчових речовин у варениках із сиром, вироблених згідно з розробленою модельною композицією.

На основі проведених досліджень та технологічних проробок розроблена технологія приготування вареників із сиром «Веселка» з безглютенового борошна.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що використання різних видів борошна дає змогу значно покращити харчову цінність розроблених страв, а саме збільшується вміст клітковини, вітамінів та мінеральних речовин. За даними таблиці 3 можна констатувати, що в дослідному зразку збільшується вміст харчових волокон на 68,4%; мінеральних речовин: заліза – на 3,5 г, калію – на 9,2%; вітамінів: B_9 – на 4,9 мкг, С – на 100%, B_4 на 2,29 мкг.

На основі отриманих даних розраховано модель якості борошняних страв з урахуванням коефіцієнтів вагомості показників, визначених експертним методом. Модель якості безглютенових вареників «Веселка» представлено на (рис. 3).

Рис. 2. Технологічна схема приготування вареників «Веселка»

Таблиця 3

Органолептичні показники тістових модельних композицій

№ композиції	Зовнішній вигляд, вигляд на розрізі	Колір тістового н/ф	Консистенція	Смак	Запах	Загальна оцінка, балів
Коеф. ваг.	0,25	0,15	0,2	0,3	0,1	1,0
Контроль	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
МК1	4,2	4,8	4,4	4,4	4,3	4,4
МК2	4,0	4,8	4,3	4,5	4,2	4,3
МК3	4,2	4,2	4,3	4,4	4,3	4,2
МК4	4,6	4,8	4,6	4,8	4,4	4,6
МК5	4,3	4,2	4,2	4,3	4,2	4,3
МК6	4,0	4,2	4,3	4,2	4,2	4,2

Висновки. У результаті проведених досліджень розроблено технологію вареників, яку можна вважати джерелом харчових волокон, незамінних амінокислот, вітамінів B_4 і B_9, а також магнію, заліза та фосфору. Таким чином, можна зробити висновок, що вареники з використанням безглютенового борошна є функціональним харчовим продуктом, що сприяє профілактиці захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин, та запобігає виникненню дефіциту вітамінів B_4 і B_9, магнію, заліза та фосфору в організмі людини. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок щодо можливості та доцільності застосування безглютенового борошна у виготовленні тіста для вареників, які зможуть споживати здорові люди та діти і дорослі, які хворі на целіакію. Перспективним напрямом є використання компонентних сумішей безглютенових видів борошна з визначеною харчовою цінністю та прогнозованим впливом на якісні показники виробів.

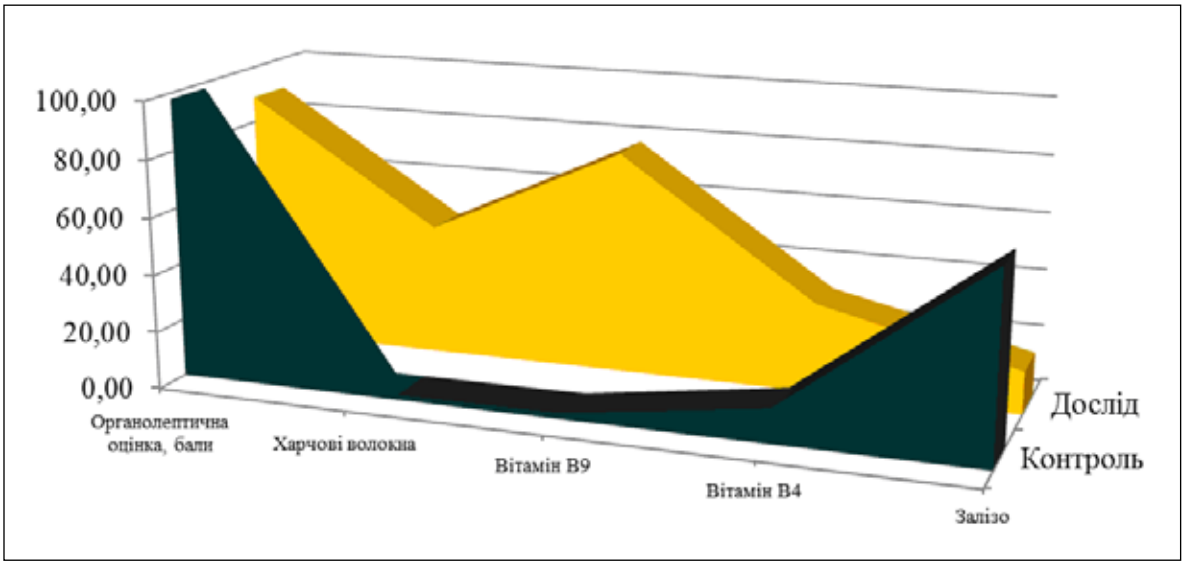


Рис. 3. Модель якості вареників із використанням безглютенового борошна

Таблиця 4

Хімічний склад вареників «Веселка»

Найменування показників, одиниці вимірювання	Контроль	Дослід	Різниця, г	Різниця, %
Білки, мг	15	11,2	-3,8	-25,3
Жири,	9,4	5,6	-3,8	-40,4
Вуглеводи, мг	38,8	72,8	34	87,6
у т.ч. харчових волокон	1,9	3,2	1,3	68,4
Вітаміни				
А, мкг	47,3	47,4	0,1	0,2
B_1, мг	0,1	0,2	0,1	100,0
B_4, мг	0,01	2,3	2,29	$22*10^3$
B_9, мкг	0,01	4,2	4,19	$41*10^3$
РР, мг	0,1	1,4	1,3	$13*10^2$
С, мг	–	1,5	1,5	100
Мінеральні речовини				
Кальцій, мг	29,2	35	5,8	19,9
Калій, мг	340,7	372,1	31,4	9,2
Натрій, мг	25,1	25,3	0,2	0,8
Фосфор, мг	94,1	97,9	3,8	4,0
Залізо, мг	1,2	4,7	3,5	291,7
Магній, мг	20,4	22,2	1,8	8,8
Енергетична цінність, ккал	308	395,4	87,36	28,4

Список літератури:

1. Губська О.Г. Целіакія. Про проблеми діагностики і лікування цієї хвороби в Україні. *Харчова та переробна промисловість.* 2008. № 7. С. 24.

2. Consensus paper. Codex alimentarius-proposal for gluten-free foods CXYNFSDU 98|4.

3. Антоненко А.В. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія / за ред. М.І. Пересічного. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 1116 с.

4. Антоненко А.В. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : монографія / за ред. О.І. Черевка, М.І. Пересічного. Харків : Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. 2017. 591 с.

5. Антоненко А.В. Перспективные тенденции развития науки: техника и технология : монография; Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення : монографія / за ред. И.Я. Львович, А.В. Некрасова. Одеса : Куприенко С.В. 2016. 197 с.

6. Мазаракі А.А., Кравченко М.Ф., Антоненко А.В. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 772 с.

Antonenko A.V., Brovenko T.V., Vasilenko O.V., Zemlina U.V., Tolok G.A., Krivoruchko M.U., Grischenko I.M. **TECHNOLOGY OF FLOUR DISHES USING GLUTEN-FREE FLOUR**

The article considers the feasibility of using gluten-free flour in the technology of flour products. The technology of "Rainbow" dumplings with the use of gluten-free flour has been developed and substantiated. Based on the conducted research, the improvement of the content of dietary fiber and other essential nutrients has been confirmed. It is experimentally proven that the use of gluten-free flour has a positive effect on organoleptic characteristics, because it has a neutral taste. The possibility and expediency of using gluten-free flour in the technology of dough for dumplings, which can be consumed by people with celiac disease, has been identified. A promising direction is the use of component mixtures of gluten-free types of flour with a certain nutritional value and predicted impact on the quality of products. As a result of the research, food technology has been developed, which can be considered a source of dietary fiber, essential amino acids, vitamins B_4 and B_9, as well as magnesium, iron and phosphorus. On the basis of the defined qualitative indicators and weighting factors the complex indicator of quality of dumplings "Rainbow" with use of gluten-free flour is calculated and the quality model is constructed. From the obtained data it is established that the quality model demonstrates the growth of the complex quality indicator of the experimental sample in comparison with the control indicator for each indicator separately. "Rainbow" dumplings are a functional food product that helps prevent diseases associated with metabolic disorders and prevents the deficiency of vitamins B_4 and B_9, magnesium, iron and phosphorus in the human body and can be recommended in the diets of people working on toxic productions and live in ecologically polluted territories.

Key words: *celiac disease, gluten-free flour, rice flour, amaranth flour, tapioca flour, biological value.*

УДК 641.05
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/10

Фролова Н.Е.
Національний університет харчових технологій

Байбак С.В.
Національний університет харчових технологій

Коваленко О.П.
Національний університет харчових технологій

Лукіянишен К.О.
Національний університет харчових технологій

Мухіна А.В.
Національний університет харчових технологій

Кучерявий І.А.
Національний університет харчових технологій

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЧАЙНИХ НАПОЇВ ВІДПОВІДНО ДО ПРИПИСІВ АЮРВЕДИЧНОЇ КУЛІНАРІЇ

Нині мало закладів України готують справжні аюрведичні чаї, а споживачі не завжди розуміють велику корисність цих продуктів для підтримки здоров'я організму.

У статті проаналізовано місце аюрведичних чаїв у харчуванні людини відповідно до індивідуальної конституції, зокрема Вата-доша, Пітта-доша, Капха-доша. Тривале споживання невідповідних конституції напоїв приводить до дисбалансу, за яким домінуюча доша людини виходять із рівноваги настільки, що вона вже не може відчувати своє пракріті, відкрита до хвороб, слабкості, невігластва.

У дослідженнях увагу зосереджено на розробці оригінальних рецептур чайних аюрведичних напоїв із нетрадиційної сировини та зі спеціально підібраними композиціями прянощів. Запропоновано рецептури, до складу яких увійшли композицій прянощів для зниження проявів ефектів дисбалансу Дош за рахунок обґрунтування впливу прянощів на рівновагу Капха-доші, Пітта-доша, Вата-доші. У рецептурах аюрведичних чаїв задіяно пророщене зерно Дагусса (пальчикове просо), сухий корінь імбиру, бутони гвоздики, кора кориці, квіти ромашки, плоди шипшини, мускатного горіха, чорного перцю, які виступають носіями широкого спектру БАР, володіють 6 смаками, а також є джерелами оригінальних ароматичних відтінків.

Для чайного напою з композицією прянощів для балансу Капха-доша найбільш доцільно 0,5 масових часток гвоздики змішувати з 1 масовою часткою сухого кореню імбиру та додавати 2 масові частки подрібненої кори кориці.

Розробки сприятимуть організації здорового харчування людей різних конституцій за аюрведичними приписами, а також забезпечити сучасний ринок напоями здорового харчування, дозволить розширити асортимент страв аюрведичній кулінарії в ресторанних меню, привернуть увагу до Аюрведи, стародавньої науки про здоровий розум, наміри, життя людини.

Ключові слова: *Аюрведа, конституція, доша, Вата, Пітта, Капха, чай, Дагусс, прянощі.*

Постановка проблеми. Аюрведичні приписи базуються на головній парадигмі – харчування людини має відповідати Пракріті або, іншими словами, нашому вродженому стану. Вроджений стан – це те, що закладають батьки, що зумовлює наші природні емоції, схильність до певної їжі, тих чи інших хвороб. Закладаються зовнішні та внутрішні, більш низькі та високі дії та прагнення [1].

Водночас стан, у якому ми перебуваємо в конкретний момент життя, може кардинально відрізнятися від нашого природного балансу. Це стан Вікріті, стан «після народження». Аюрведа має на увазі неминучий «дисбаланс», який приносять у життя людини різні фактори повсякденного життя. Це можуть бути емоційні переживання, такі як страхи, минулі травми, погані емоції, вплив токсинів, нездорової їжі.

Ось чому Аюрведа своїми приписами та рекомендаціями спрямовує людське існування на гармонізацію стану Пракріті та Вікріті, в т. ч. через харчування. Людина, вживаючи індивідуальний щодо тілесної конституції (Доші) раціон харчування, забезпечить надходження в організм здорової енергії, закладеної пракріті, довго залишатиметься молодою [2]. Зрозуміти та максимально використовувати аюрведичні підходи – проблема сучасної людини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кожна людина особлива і має уподобання щодо повсякденних напоїв. Проте ми всі полюбляємо чай за те, що він зігріває нас, коли нам холодно, вгамовує спрагу та наповнює тонізуючою силою організм.

Чай знаходиться на другому місці після води за кількістю рідини, що випивається людиною [3; 4]. Якість чаю визначають основні компоненти, які входять до його складу, а також технологія його переробки [5]. Сучасні наукові пошуки у світі спрямовані на розробку технологій відновлених ароматизованих чаїв і чайних напоїв [6; 7] і вдосконалення технології виробництва купажованого ароматизованого чаю [8; 9]. Має місце й ароматизація чаю ароматними есенціями, переважно комплексами ароматів, до яких входять і синтетичні джерела [10].

Якість чаю значною мірою залежить від речовин, що входять до його складу [11; 12].

У процесі висушування чайного листя під дією високих температур цукри перетворюються на карамелі, які надають не тільки ароматичні властивості, а й формують колір настою (разом із флобафенами та меланоїдиновими сполуками) [13; 14].

За Аюрведою, чаї та трав'яні відвари займають почесне місце. Їх вважають даром божеств, тому що вони мають здатність очищати і зцілювати організм людини [15; 16].

За Аюрведою, правильний вибір аюрведичного чаю допомагає зберігати гармонію і баланс у тілі та розумі, формує та зміцнює тканини тіла, покращуючи стан всього організму [17; 18].

Приписи аюрведичної кулінарії значну увагу приділяють комбінованим чаям [19]. Найкращі комбінації на основі зеленого чаю із прянощами. Корисні властивості має освіжаюча суміш зеленого чаю з імбиром. Зелений чай із лимоном і корицею має тонізуючу дію.

Чай із комбінацією прянощів – масала. Масала чай є популярним сучасним напоєм у кафе та ресторанах. Замовляють його люди, які знаються на вишуканих смаках і цінують натуральні інгредієнти. Також один із секретів популярності чаю масала – його давність, деякі джерела вказують, що він з'явився тисячоліття тому [16; 20].

Постановка завдання. Метою написання статті є розробки магістрів освітньо-професійної програми «Технології аюрведичних харчових продуктів» Національного університету харчових технологій по створенню рецептур чаїв масала з композиціями «зігріваючих» спецій і пророщеним зерном дагусса для профілактики дисбалансу та хвороб людей із конституцією Вата доша, в меню людей конституції Капха доша, з композицією прянощів для виведення з дисбалансу Пітта-доша.

Виклад основного матеріалу дослідження. При розробці технології відварів і використання їх для збагачення чаю чорного в меню людей конституції Капха доша підібрано комбінацію прянощів.

Ефективним методом зниження ефекту Капхи є використання прянощів і спецій із домінуючими смаками – гіркий, терпкий і гострий, але навіть солодкі, тонізуючі та пом'якшувальні прянощі та спеції можуть розріджувати наслідки збільшеної Капха, сприяти зниженню ваги та виведенню токсинів.

Досліджувалися гвоздика сушена (суцвіття), кора кориці, корінь імбиру. Сухий імбир гарячий і щільний, є дієвим стимулюючим і відхаркувальним засобом для зменшення Капхи та посилення Агні.

У табл. 1 наведено вміст БАР у зразках обраних прянощів.

Таблиця 1

Вміст БАР у зразках обраних прянощів

Зразки сировини	Вміст, мг/100 г (±ε)				Загальний вміст фенольних сполук, мг/100 г
	Віт С	рутину	катехіну	таніну	
Імбир сухий (w=6,8)	21,1± 0,8	294,3±1,4	165±1,5	130±1,1	3089,95 ±5,0
Палички кориці	13,2±0,8	1176±1,4	660±1,5	499,2 ±1,1	14497,7 ±5,0
Сухі бутони гвоздики	24,6±0,8	3530±1,4	1980±1,5	1500±1,1	16208,9±5,0

У чайному напої прянощі використовують у вигляді відварів. Відвари готували за аюрведичними приписами – одна частина комбінації прянощів, близько 15 г, на 16 частин води, тобто на чашку (250 см^3). Розчин кип'ятили на слабкому вогні, поки вода не випариться до 1/4 початкового об'єму. Так 4 чашки води із прянощами випаровували до однієї. Відокремлювали від сировини центрифугуванням і фільтруванням на воронці Бюхнера. Зразки заморожували та зберігали у холодильнику.

Було зроблено серію зразків комбінації відварів прянощів – гвоздика (Г) : імбир (Ім) : кориця (К) за співвідношеннями:

Модельний зразок МЗ 1 – Г0,5:Ім1:Корисних речовин, модельний зразок МЗ 2 – Г0,5:Ім2:Корисних речовин, модельний зразок МЗ 3 – Г0,5:ІМ1:К2.

Перспективність композиції оцінювали сенсорним аналізом за обраною баловою шкалою: 5 балів – відмінна якість; 4 бали – добра; 3 – задовільна; 2 – незадовільна; 1 бал – дуже погана. Для кожного з показників визначені коефіцієнти вагомості: зовнішній вигляд продукту – 0,3; колір продукту – 0,2; запах продукту – 0,5; колір настою – 0,6; запах настою – 1,0; смак настою – 1,4; разом – 4,0. Обиралися дескриптори якості за 6 смаками: кислим; гірким; солодким; солоним; пекучим; терпким.

У табл. 2 наведено результати випробовування обраних модельних зразків.

Таблиця 2

Результати випробовування обраних модельних зразків сенсорним аналізом

Показники якості	Чай чорний		
	МЗ1	МЗ2	МЗ3
Зовнішній вигляд	5	4	5
Колір	3	3	4
Запах	5	3	4
Колір настою	5	4	5
Запах настою	4	4	5
Смак настою	4	3	5
Загальна оцінка	26	21	28

Отже, у розробці чайного напою з композицією прянощів для балансу Капха-доша 0,5 масових часток гвоздики змішувати з 1 масовою часткою сухого кореню імбиру та додавати 2 масової частки подрібненої кори кориці.

Така комбінація прянощів разом із чаєм чорним байховим дозволяє знижувати ефект Капха-доша, особливо в осінній і весняний сезони, у ранкові години. Звільняє від сонливості, надмірної стомлюваності. Оптимальна доза композиції відварів не перевищує 3…5%, не дає мутності, може зберігатися в замороженому стані.

З аюрведичних положень відомо, що люди типу Вата-доша дуже легко піддаються зовнішнім впливам, виходять із рівноваги, що досить швидко приводить до розвитку органічних і психологічних порушень. Представникам конституції Вата-доша слід пам'ятати, що споживання холодних напоїв із гірким, терпким смаком негативно впливає на організм, підсилюючи ефект Вата [19].

Для балансу Вата доші було розроблено зігріваючий композиційний чай, до складу якого внесені ромашка, шипшина, лимонна трава, фенхель. Кожна пряність має свій смак: ромашка – гіркуватий, шипшина – кислувато-солодкий, лимона трава – освіжаючий смак, фенхель – солодко-пряний [21].

У табл. 3 надано показники аюрведичної якості обраних прянощів для зігріваючого композиційного чаю при розладах Вата-доші.

У табл. 4 наведено рецептури дослідних зразків зігріваючого композиційного чаю для Вата-доші.

Оцінка обраних дослідних зразків проводилася за 5-бальною шкалою, де визначали такі показники якості, як зовнішній вигляд, колір, запах, смак, консистенція.

На рис. 1 зібрано дослідну інформацію про отримані результати.

Дослідний зразок 4 має кращі показники органолептичного оцінювання: запах, смак, консистенція набрали найбільше балів – 5,0, зовнішній вигляд – 4,8, запах – 4,5. Обрана рецептура зігрі-

Таблиця 3

Аюрведичні характеристики складників зігріваючого композиційного чаю при розладах Вата-доші (В↓)

Інгредієнт	Смак (раса)	Вір'я	Віпак	Дія	Вплив на доші
Ромашка	в'яжучий	охолоджуючий	солодкий	заспокійливий	**В**↓П↓К↓
Шипшина	в'яжучий	зігріваючий	солодкий	важкий	**В**↓П↑К↑
Лимонна трава	солодкий	охолоджуючий	солодкий	легкий	**В**↓П↓К↓
Фенхель	солодкий	охолоджуючий	солодкий	легкий	**В**↓П↓К↓

Примітка: В↓ означає зниження ефекту Вата-доша

Таблиця 4

Рецептура дослідних зразків зігріваючого композиційного чаю для Вата-доші

Сировина	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Ромашка, г	5	5	3	3
Шипшина, г	5	6	3	7
Лимонна трава, г	5	3	8	7
Фенхель, г	5	6	6	3
Разом	20	20	20	20

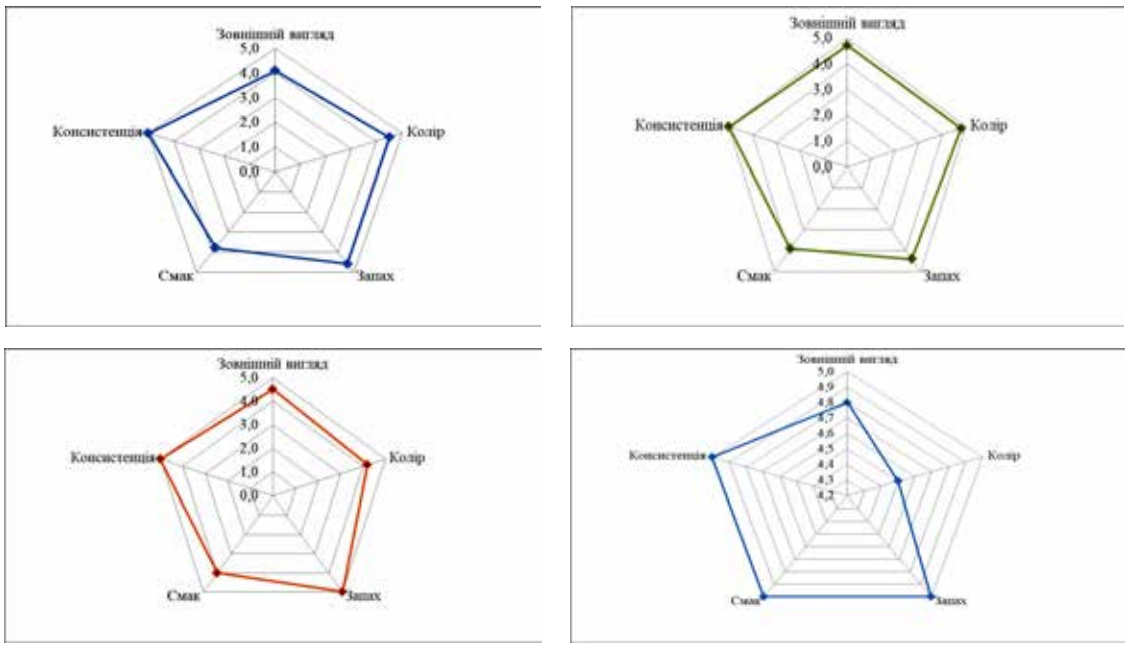


Рис. 1. Результати сенсорного аналізу дослідних зразків композицій прянощів

ваючого чаю розрахована на одну чашку (400 г). Чай Вата можна вживати протягом всього дня – на роботі чи вдома. Напій має солодкуватий, заспокійливий смак. Розроблена ароматна суміш відмінно заспокоює Вата-дошу, особливо у вечірній час, знімає почуття тривоги та занепокоєння.

Розроблено рецептуру зігріваючого чаю на основі композиції чорного байхового чаю (1 частина) та меленого пророщеного зерна дагусса (3 частини) з композицією ароматних спецій для профілактики дисбалансу людей різних конституцій.

Актуальність використання в аюрведичному чаю пророщеного зерна Дагусса зумовлене багатим хімічним складом. Зерно Дагусса (пальчикове просо) рекомендовано для отримання продуктів без глютену або легкозасвоюваної їжі для немовлят [22]. Зерно Дагусса має високу здатність до пророщування, є джерелом широкого комплексу корисних і необхідних речовин у збалансованій легкозасвоюваній формі.

На рис 2. наведено фото зерна Дагусса, яке було пророщено та використано як основу зернового чаю.

Рис. 2. Фото зерна Дагусса до пророщування

На рис. 3 наведено принципову схему пророщування зерна Дагусса з визначеними технологічними параметрами процесу.

Свіже пророщене зерно Дагусса із проростками (солод) сушили на овочевій сушарці при поступовому підвищенні температури повітря від 40 до 60°С. Вологість солоду доводили до 8…10%. Подрібнювали в порошок, розміром часток відповідно до зразків чорного байхового чаю.

Робили комбінацію солоду Дагусса (3 частини) й 1 частини чорного байхового чаю (Чорного чаю

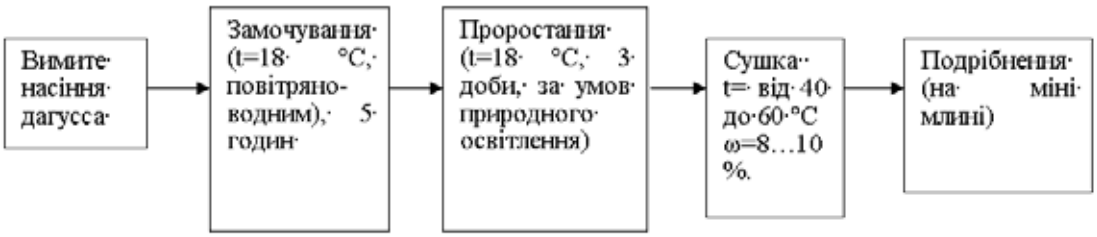


Рис. 3. Принципова схема пророщування зерна Дагусса

«Принцеса Нурі Високогірний»). Зберігали в сухому місці до приготування напою та змішуванням із настоєм спеціально розробленої композиції прянощів – гвоздики, імбиру, кориці, чорного перцю, кардамону, мускатного горіха.

У табл. 5 показана рецептура зігріваючого аюрведичного чаю для людей різних конституцій.

Внесення до рецептури чаю коров'ячого молока дозволить використовувати напій для людей конституції Вата-доша, надати зігріваючого ефекту, покращити травлення, що корисно для людей конституції Капха-доша, збалансувати смаки для балансу Пітта-доша.

Висновки. Аюрведичні чаї за своїм складом є цінними й унікальними продуктами харчування. Нині мало закладів України готують справжні аюрведичні чаї, а споживачі не завжди розуміють велику корисність цих продуктів для підтримки здоров'я організму.

Розширення асортименту аюрведичних чаїв, виготовленими за аюрведичними приписами, дозволить налагодити організацію здорового харчування людей різних конституцій, забезпечити сучасний ринок напоями здорового харчування, привернути увагу споживачів до Аюрведи, рекомендацій до індивідуального харчування, відповідного природній конституції, зокрема типу Вата-доша, Пітта-доша, Капха-доша.

Таблиця 5

Рецептура зернового аюрведичного чаю для людей різних конституцій

Сировина	Витрати сировини, г/250г	Вміст компонентів у напої, %
Пророщене зерно дагусса	15	6
Чай чорний байховий	2	0,8
Молоко коров'яче, 2,5%	100	40
Кориця мелена	1	0,4
Мелений мускатний горіх	2	0,8
Кардамон	2	0,8
Перець чорний мелений	1	0,4
Гвоздика	1	0,4
Корінь імбиру (сушений)	8	3,2

Список літератури:

1. Агниваса, А. Введение в Аюрведу / пер. с англ. Москва : Профит-Стайл, 2011. 160 с.
2. Bode M. Ayurveda in the Twenty-First Century: logic, practice and ethics. *Medical pluralism in contemporary India.* New Delhi : Orient Blackswan, 2012. P. 59–76.
3. Антонова Р.П. Сборник изысканных рецептур XX века для предприятий общественного питания. Москва : ПрофиКС, 2007. 136 с.
4. Скрыпник Т.М. Изучение свойств чая как самого распространенного напитка, употребляемого человеком. *Молодежная наука: вызовы и перспективы.* 2019. С. 76–82.
5. Решетникова О.В., Осипова Т.С, Русакова С.С. Влияние технологических особенностей производства на качественные показатели чая. *V Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика*. 2017. С. 137.
6. Позднякова В.Ф., Сенченко.М.А. Производство холодного черного чая с натуральным заменителем сахара-стевией [stevia rebaudiana Bertoni (L.)]. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии.* 2019. № 7. С. 12.
7. Славиковская М.С. Оценка эффективности капсулирования катехинов чая гидроколлоидами. *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности.* 2019. № 6. С. 78.
8. Михайлютина Д.С., Ольховатов Е.А. Перспективы применения заменителей чая в производстве чайных напитков. *Научное обеспечение агропромышленного комплекса*. 2019. С. 501–504.
9. Іванов С.В. Технологія оздоровчих харчових продуктів : підручник. Київ : НУХТ, 2015. 402 с.
10. Дослідження можливостей поліпшення споживних властивостей чайних напоїв / В.В. Гаврилишин, М.П. Ковальчук, Н.Р. Джурик. *Вісник Львівської комерційної академії.* 2009. С. 16–20.
11. Черноусова О.В., Кривцова А.В., Кучменко Т.А. Определение антиоксидантной активности белого чая. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* 2018. № 1. С. 75.

12. Карцова Л.А. Определение полифенольных антиоксидантов в образцах зеленого чая. Характеристические хроматографические профили. *Аналитика и контроль*. 2019. № 3. С. 377–385.

13. Цюпко Т.Г. Определение суммарного содержания фенольных антиоксидантов в чае с применением разных вариантов метода FRAP. *Аналитика и контроль.* 2019. № 1. 23.1. С. 143–151.

14. Сеидишвили Н.Р. Полезные вещества селекционного чая. *Качество продукции, технологий и образования*. 2017. С. 56.

15. Чай в аюрведе. URL: http://radugamira.org/ru/article?id=3721.

16. Лад В., Фроули Д. Травы и специи. Москва : Саттва, 1998. 301 с.

17. Лад У., Лад В. Аюрведическая кулинария / пер. с англ. Н. Тандон, Москва : Саттва, Профиль, 2011. 320 с.

18. Sarkar P., Lohith K.,, Dhumal C., Traditional and ayurvedic foods of Indian origin. *Journal of Ethnic Foods* 2015. № 3. P. 97–109.

19. Янакананда. Аюрведа – питание и сознание: рецепты и советы для здоровья тела, духа и души / пер. с нем. Москва – Санкт-Петербург : Диля, 2010. 176 с.

20. Морнингстар Амадеа Аюрведическая кулинария для западных стран / пер. с англ. Москва : «Святослав», 2005. 379 с

21. Грищук Н.А. Мир пряностей и специй : справочное пособие. Москва : Амрита-Русь, 2010. 182 с.

22. Дагусса Eleusine Coracana. URL: http://ecosystema.ru/07referats/cultrast/007.htm.

Frolova N.E., Baibak S.V., Kovalenko O.P., Lukiianyshen K.O., Mukhina A.V., Kucheriavyi I.A.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR TEA DRINKS ACCORDING TO THE PRESCRIPTIONS OF AYURVEDIC CUISINE

At present, few Ukrainian establishments prepare real Ayurvedic teas, and consumers do not always understand the great usefulness of these products for maintaining human health.

The article analyzes the place of Ayurvedic teas in human nutrition according to the individual constitution, in particular Vata-dosha, Pitta-dosha, Kapha-dosha. Prolonged consumption of unconstitutional beverages leads to imbalance according to which the dominant dosha of human is out of balance so that she can no longer feel her prakriti, open to disease, weakness, ignorance.

The research focuses on the development of original recipes for Ayurvedic tea drinks from non-traditional raw materials and with specially selected spice compositions. Proposed recipes, which include compositions of spices to reduce the effects of Dosh imbalance by substantiating the effect of spices on the balance of Kapha-dosha, Pitta-dosha, Vata-dosha. The recipes of Ayurvedic teas use germinated Dagus grain, dried ginger root, cloves, cinnamon, chamomile, rose hips, nutmeg, black pepper, which are carriers of a wide range of Biologically Active Compounds, sources of 6 tastes, as well as original aromatic shades.

For a tea drink with a composition of spices for Kapha-dosha balance, it is most expedient to use: 0.5 mass parts of cloves mixed with 1 mass fraction of dried ginger root and add 2 mass fractions of crushed cinnamon bark.

Developments will promote the organization of healthy nutrition of people of different constitutions according to Ayurvedic prescriptions, as well as provide the modern market with healthy food drinks, will expand the range of Ayurvedic dishes in restaurant menus. Draw attention to Ayurveda, the ancient science of common sense, intentions, human life.

Key words: *Ayurveda, constitution, dosha, Vata, Pitta, Kapha, tea, Daguss, spices.*

УДК 637.146
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/11

Ющенко Н.М.
Національний університет харчових технологій

Голя А.В.
Національний університет харчових технологій

Лиса Л.Б.
Національний університет харчових технологій

Галушка С.А.
Національний університет харчових технологій

Кохановська В.П.
Національний університет харчових технологій

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НОВИХ ВИДІВ АЮРВЕДИЧНИХ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНИХ НАПОЇВ

Обґрунтовано перспективність розроблення технології ферментованих молочних напоїв на основі принципів Аюрведи. Перспективним компонентом, що дозволяє цілеспрямовано регулювати властивості харчової продукції відповідно до індивідуальної конституції, є прянощі. Використання прянощів дозволить виробляти ферментовані молочні продукти з оригінальними смаковими якостями без додаткового введення цукру. Вивчено вплив виду прянощів на динаміку показника кислотності під час сквашування та синеретичні властивості згустку. Встановлено, уведення прянощів дещо уповільнює процес сквашування – у середньому на 8–10%, більш низький рівень кислотності мав зразок із додаванням сухого імбиру, що зумовлено компонентним складом пряності, а саме вмістом терпенів ефірної олії. Визначена раціональна кількість кухонної солі – 0,8–1,0%. Зі збільшенням кількості додавання кухонної солі показник титрованої кислотності був дещо нижчим, що пояснюється підвищенням осмотичного тиску рідкої фази в разі додавання солі, а також дегідратуючими властивостями кухонної солі, що порушує нормальний водно-сольовий обмін бактеріальної клітини і тим самим уповільнює її життєдіяльність. Отже, для запобігання порушенню процесу сквашування прянощі та кухонну сіль доцільно вносити у ферментовану суміш. З метою забезпечення належних мікробіологічних показників ферментованих молочних напоїв рекомендовано кухонну сіль додавати після сквашування з попереднім прокалюванням за температури 130–135 °С або у вигляді розсолу з подальшим уведенням структуроутворювального компонента. Прянощі – після ферментації, попередньо піддавши тепловому обробленню в автоклаві в герметичній ємності.

Виробництво ферментованих молочних напоїв із прянощами дозволить розширити асортимент продуктів оздоровчої дії та залучити більш широке коло споживачів.

Ключові слова: *ферментований молочний продукт, аюрведичне харчування, прянощі, сіль кухонна.*

Постановка проблеми. Вимогою сьогодення є наукові дослідження з розроблення нових і удосконалення наявних технологій харчової продукції, спрямовані на покращення якості, урізноманітнення смакової гами, надання їй профілактичних властивостей [1; 2]. Інтерес у створенні продуктів нового покоління викликає залучення принципів харчування за аюрведичною наукою.

Аюрведа, що є однією з найдавніших у світі систем фізичного та духовного оздоровлення, у буквальному перекладі означає «наука про життя» (*Ayur* – «життя», *Veda* – «знання», «наука») [3]. Незважаючи на поважний вік (перші згадки про Аюрведу датуються приблизно 3000 рр. до н. е.), Аюрведа не тільки не втратила актуальності, а й продовжує розвиватись, залучає до своїх лав усе більше прибічників не тільки на Сході, а й у країнах європейського й американського континентів.

Аюрведична наука спрямована на оздоровлення людини, по праву належитьдо найбільш дієвих профілактичних медичних систем. Сутністю вчення Аюрведи є концепція конституції

тіла [4; 5]. Існують три основні типи конституції людини, як навчає Аюрведа, або три основні доші: Вата, Пітта і Капха, різноманітна комбінація яких в людині визначає її індивідуальні особливості – поведінку, характер метаболізму, схильність до тих чи інших захворювань. Знання своєї конституції – це ключ, путівник здоров'я й активного довголіття [6].

Одне із чільних місць в аюрведичній системі оздоровлення людини належить харчуванню. Коригування раціону та режиму харчування дозволить забезпечити надходження нутрієнтів відповідно до особливостей метаболізму. Тобто підходи аюрведичної науки відповідають сучасній концепції персоніфікованого харчування, яка виникла в результаті еволюції класичної теорії збалансованого харчування і змістила акцент на індивідуальні потреби людини в основних поживних речовинах і енергії.

Особливе місце в аюрведичному харчуванні належить молочним продуктам, зокрема ферментованим молочним напоям. Такі продукти заслужено мають популярність з огляду на високу харчову цінність та засвоюваність. Ферментовані молочні напої є джерелом повноцінного білка (приблизно 3,2%), містять кальцій та фосфор у добре збалансованих співвідношеннях, деяку кількість органічних кислот, що надає продуктам освіжаючого смаку та сприяє стимулюванню травлення [7; 8].

Завдяки своєму повноцінному складу молоко може стати оптимальною сировиною для створення продуктів функціонального харчування. До функціональних продуктів харчування дієтологи відносять продукти, які, у разі систематичного вживання, регулюють (нормалізують) стан організму людини загалом або його окремих систем і органів.

Особливе значення у вирішенні цієї проблеми повноцінного харчування мають кисломолочні продукти, які мають низку корисних властивостей. Дієтичні властивості кисломолочних продуктів полягають передусім у тому, що вони покращують обмін речовин, стимулюють виділення шлункового соку, збуджують апетит. Збагачення кисломолочних продуктів захисними чинниками позитивно впливає на фізичний розвиток, зниження захворюваності, становлення імунної системи і формування мікробіоценозу кишечника [7; 8].

У результаті широких соціологічних досліджень виявлено, що структура харчування населення України характеризується тривалим зниженням уживання найбільш цінних у біологічному відношенні продуктів. Порушення харчового балансу пояснюється дефіцитом повноцінного білка, недоотриманням організмом низки мінеральних речовин і мікроелементів.

Отже, удосконалення технологій кисломолочних напоїв із застосуванням нових видів рослинної біологічно цінної сировини є перспективним напрямом у харчовій індустрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Натепер промисловістю виробляється досить широкий асортимент ферментованих молочних напоїв, що відрізняються один від одного хімічним складом, способом виробництва, видом заквашувального препарату, наявністю смакоароматичних наповнювачів тощо. Оскільки ця група продуктів характеризується досить високим рівнем кислотності, усе більш популярними стають продукти з додаванням смакових наповнювачів – продуктів переробки фруктів і ягід, горіхів, трав'яних настоянок, продуктів переробки злаків тощо. Зазвичай недоліком таких продуктів є досить високий рівень цукру – 5–6 і навіть до 10%.

З огляду на розбалансованість раціону харчування сучасної людини в бік надлишкового споживання вуглеводів актуальним є розроблення нових видів ферментованих молочних напоїв без додаткового внесення цукру.

Альтернативою є додавання прянощів як смако-ароматичних наповнювачів. Прянощі – універсальний компонент, навіть за невеликих кількостей можуть надавати продуктам стійкого вираженого смаку й аромату, слугують джерелом біологічно активних речовин – фенольних сполук із Р-вітамінною активністю, мінеральних сполук і активних складових частин ефірних олій [9].

Тисячу років людство використовувало прянощі у своєму житті. Їхнє значення важко переоцінити, адже в давні часи прянощі були і необхідною складовою частиною їжі, і ліками, і навіть предметом пошани. Різноманітність прянощів і спецій відкриває перед людиною цілу палітру смаків і запахів, яким в Аюрведі відведено особливе значення.

Прянощами слугують коріння, кора і насіння деяких рослин, які використовують цілими або в подрібненому вигляді. Трави – це свіжі листя або квіти. Додавання прянощів дозволяє зробити харчові продукти більш сумісними, зменшити силу негативного впливу окремих продуктів і таким чином покращити здоров'я. Крім того, прянощі, навіть за додавання в невеликій кількості, надають продуктам та кулінарним стравам природ-

ного стійкого присмаку й аромату, а також здатні виявляти деякий бактеріостатичний ефект.

Попередніми дослідженнями здійснено підбір прянощів для введення до молочної основи: базилік, петрушка, імбир та коріандр. Вибір прянощів зумовлений поєднуваністю з молочною основою та між собою у складі композицій, також умістом біологічно активних речовин, доступністю на ринку України [11]. Серед них базилік, коріандр, імбир та сухий корінь петрушки.

Базилік – рід *Ocimum* родини *Basilicum,* у Європі вирощують як пряну й лікарську рослину. Для кліматичної зони України характерним видом є *Ocimum Basilicum*, його вирощують у Криму як однорічну рослину для отримання ефірної олії. Базилік звичайний широко застосовують як ефірноолійну рослину в медицині, косметології та харчовій промисловості. Базилік звичайний накопичує різну кількість ефірної олії (від 0,02 до 1,5%) залежно від кліматичних умов, до складу пряності входять камфора, метілхавінол, цинеол, оцімен, ліналоол, сапонін, дубильні речовини, каротин, фітонциди, рутин і вітаміни С, РР, B_2 [9; 10].

Коріандр – однорічна, ефіроолійна та пряносмакова рослина родини Зонтичних. У дикому вигляді трапляється на Кавказі, у Криму та Середній Азії, культивується в Україні. Зрілі плоди коріандру жовтувато-бурі, із сильним своєрідним запахом, що нагадує запах лимона, на смак солодкувато-пряні. Коріандр – цінна ефіроолійна культура. Головною складовою частиною ефірної олії є ліналоол. Біологічна активність ефірної олії визначає її властивості: жовчогінну, антисептичну, сприяє загоєнню ран та виразок.

Петрушка – цінна дворічна рослина родини Зонтичних. Уважається, що петрушка походить із країн Середземномор'я, натепер поширена як у Європі, так і в Азії. Петрушка посідає чільне місце серед усіх столових трав. У ній містяться вітаміни B_1, B_2, B_6, С, РР, каротин, фолієва кислота, комплекс мінеральних речовин – калій, натрій, магній, кальцій, фосфор, ферум тощо. Завдяки високому вмісту вітаміну С та каротину петрушка покращує роботу органів зору, підвищує опірність організму інфекціям, сприяє відновленню сил.

Імбир – пряність, сирі або перероблені кореневища імбиру аптечного. На зламі імбир світло-жовтого кольору. Імбир – відомий антисептик, активізує обмін речовин, сприяє нормалізації функціонування серцево-судинної системи, підвищенню імунітету, опору організму сезонним вірусним захворюванням. Вміст ефірної олії в імбирі до 3%, головний компонент якої гінгерол, цингеберон. Ця пряність містить майже всі необхідні людському організму амінокислоти, вітаміни А, B_1, B_2, С, мінеральні речовини – цинк, натрій, калій, ферум, кальцій, фосфор тощо.

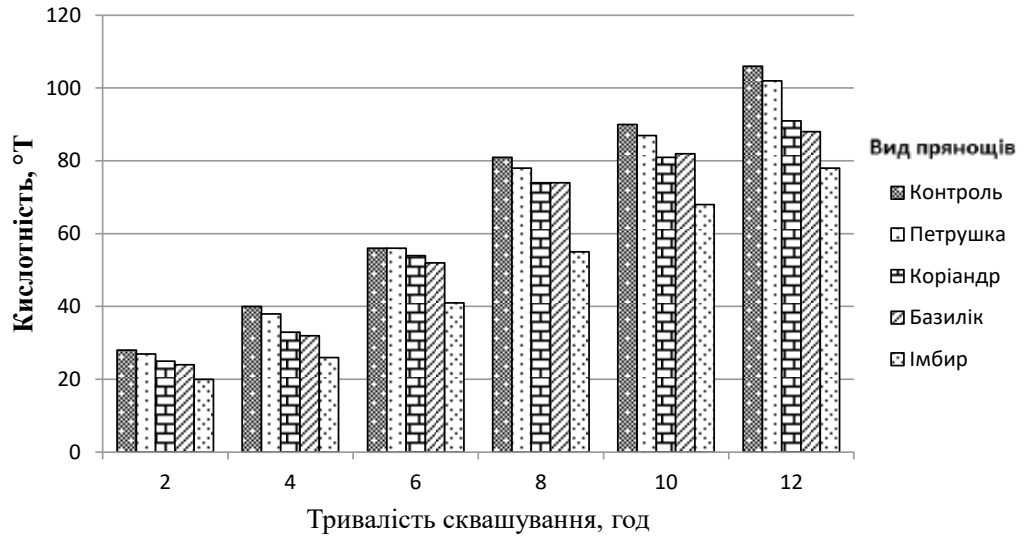
Імбир має виражену антиоксидантну і заспокійливу дію, зміцнює імунітет, добре захищає від паразитів, затримує зростання бактерій, стимулює кровообіг. Антиоксидантна активність імбиру зумовлена фенольними сполуками: рутином та 6-гінгеролом.

Природно, для формування органолептичних властивостей ферментованих молочних напоїв із прянощами потрібне введення кухонної солі. З метою обґрунтування способу введення та раціональної кількості додавання кухонної солі потребує подальшого вивчення вплив кухонної солі на динаміку сквашування та формування структури молочно-білкового згустку.

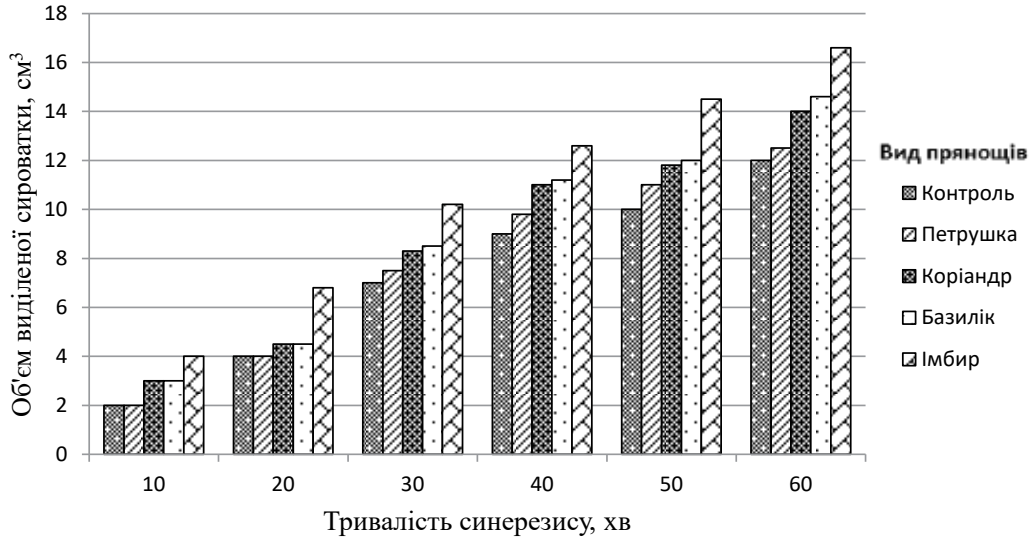
Виклад основного матеріалу дослідження. Відбір проб і підготовку їх до аналізу здійснювали відповідно до ДСТУ ISO 707:2008; органолептичну оцінку проводили за ISO 22935-1:2009 (IDF 99-1:2009), ISO 22935-2:2009 (IDF 99-2:2009), ISO 22935-3:2009 (IDF 99-3:2009); титровану кислотність – за ГОСТ 3624–92; температуру – за ДСТУ 6066:2008, синеретичні властивості – згідно із [12].

Для виробництва ферментованого молочного напою використана така сировина: молоко коров'яче – сировина відповідно до ДСТУ 3662-2018, бактеріальний препарат прямого внесення ТМ Vivo на чистих культурах *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus); Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium lactis, Streptococcus thermophiles,* сіль кухонна харчова згідно із ДСТУ 3583:2015, прянощі – імбир – згідно із ДСТУ 8005:2015, коріандр – згідно із ДСТУ 8007:2015, базилік та сухий корінь петрушки – згідно із чинними нормативними документами.

На першому етапі визначався вплив виду пряності на динаміку титрованої кислотності нормалізованої суміші із прянощами у процесі ферментації. Для цього в молоко-сировину вносили подрібнені до розміру частинок не більше 2 мм прянощі (у кількості 0,6%), суміш піддавали пастеризації за температури 92–95 °С протягом 2–3 хвилин, охолоджували до температури 36–38 °С, вносили заквашувальний препарат, перемішували протягом 3–5 хвилин та вміщували в термостат для сквашування. Через кожні 2 години у процесі сквашування визначався показник титрованої кислотності (рис. 1а) та синеретичних властивостей згустку (рис. 1б).



а)



б)

Рис. 1. Динаміка титрованої кислотності нормалізованої суміші із прянощами у процесі ферментації (а) і об'єму виділеної сироватки ферментованої суміші із прянощами від тривалості синерезису (б)

Таблиця 1

Органолептичні властивості зразків ферментованого молочного напою з додаванням кухонної солі

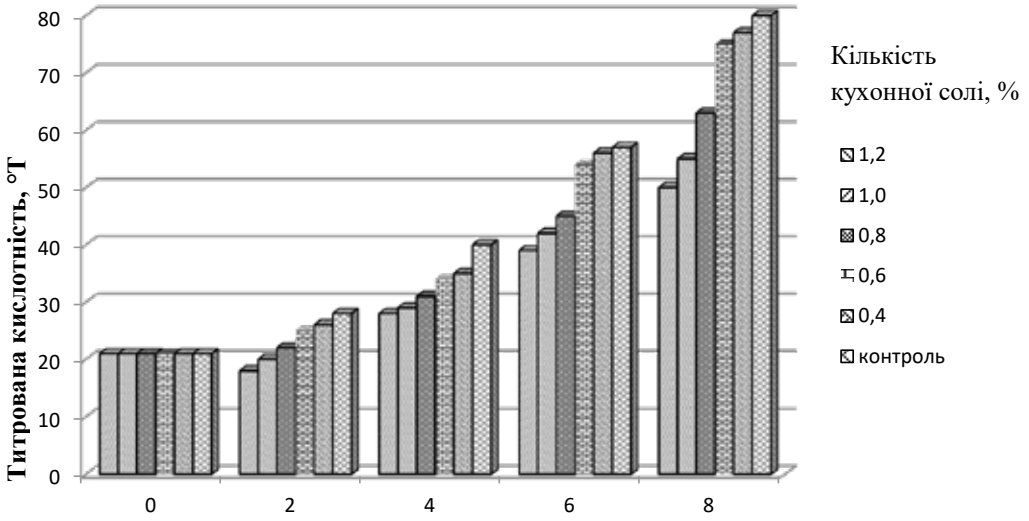
Показник	Масова частка солі, %						
	контроль	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Консистенція	Однорідна						
Колір	Білий, рівномірний по всій масі						
Смак та запах	Приємний кисломолочний без сторонніх присмаків та запахів	Приємний кисломолочний із ледь від чутним соленим присмаком	Приємний кисломолочний із помірно вираженим соленим присмаком		Приємний кисломолочний із добре вираженим соленим присмаком		Приємний кисломолочний із яскраво вираженим соленим присмаком

Встановлено, уведення до складу нормалізованої суміші прянощів дещо уповільнює процес сквашування – у середньому на 8–10%, більш низький рівень кислотності мав зразок із додаванням сухого імбиру, що зумовлено компонентним складом пряності, а саме вмістом терпенів ефірної олії.

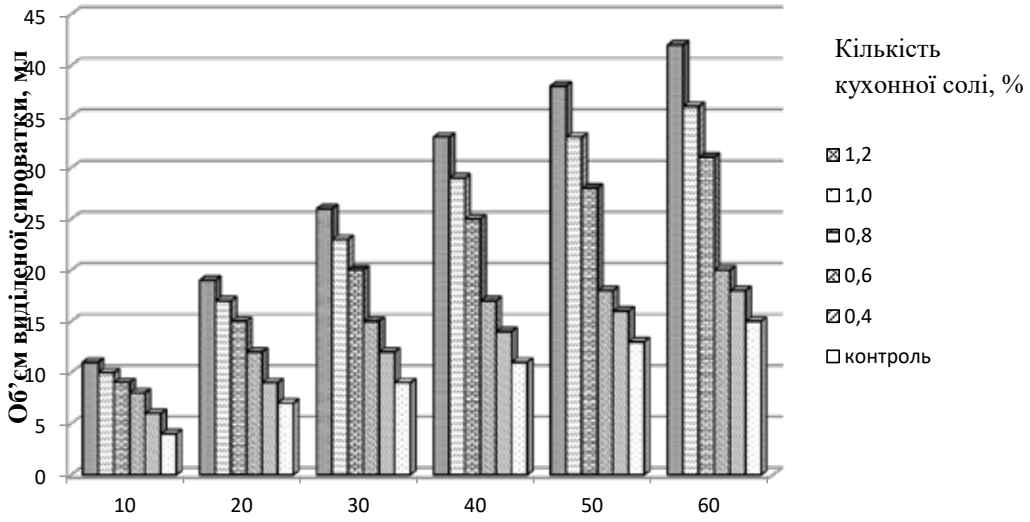
Виявлена залежність між ступенем гальмування процесу наростання кислотності та здатністю утримувати сироватку просторовою структурою молочно-білкового гелю. Так, найбільше виділення сироватки спостерігалось у зразку з додаванням сухого імбиру.

Оскільки використання прянощів передбачає додавання кухонної солі, метою наступного етапу досліджень стало визначення раціональної кількості введення солі до складу ферментованого продукту. Зразки готувались у наведеній вище послідовності, кухонна сіль у кількостях від 0,2 до 1,2% вносилась у нормалізовану суміш перед тепловим обробленням. Здійснювалась органолептична оцінка зразків після сквашування протягом 9–10 годин. Результати визначення органолептичних показників наведені в таблиці. Встановлено, що раціональною кількістю введення кухонної солі є 0,8–1,0%.

На наступному етапі вивчався вплив кількості доданої кухонної солі на динаміку титрованої кислотності впродовж сквашування та синеретичні властивості згустку (рис. 2 а, б).



а)



б)

Рис. 2. Динаміка титрованої кислотності нормалізованої суміші та синеретичних властивостей нормалізованої суміші з додаванням кухонної солі у процесі ферментації

Визначено, зі збільшенням кількості додавання кухонної солі показник титрованої кислотності був дещо нижчим. Чітко простежувалася залежність між зниженням рівня кислотності та кількістю доданої солі. Така тенденція пояснюється підвищенням осмотичного тиску рідкої фази в разі додавання солі, а також дегідратуючими властивостями кухонної солі, що порушує нормальний водно-сольовий обмін бактеріальної клітини, тим самим уповільнює її життєдіяльність.

Встановлено, що зі збільшенням концентрації кухонної солі відбувається збільшення рівня синерезису, що погіршує якість готового продукту і є неприйнятним у виробництві ферментованих молочних напоїв.

Висновки. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що для запобігання порушенням процесу сквашування прянощі та кухонну сіль до молочної основи доцільно вносити у ферментовану суміш. З метою забезпечення належних мікробіологічних показників ферментованих молочних напоїв рекомендовано кухонну сіль додавати:

а) з попереднім прокалюванням за температури 130–135 °С;

б) у вигляді розсолу з подальшим уведенням структуроутворювального компонента.

Прянощі рекомендується вводити в нормалізовану суміш після ферментації, попередньо піддавши тепловому обробленню в автоклаві в герметичній ємності.

Виробництво ферментованих молочних напоїв із прянощами дозволить розширити асортимент продуктів оздоровчої дії та залучити більш широке коло споживачів.

Список літератури:

1. Дзюбинський А.В., Дзюбинська О.В., Речун О.Ю. Проблеми та перспективи ринку кисломолочних продуктів. *Товарознавчий вісник*. 2018. Вип. 11. С. 22–28.
2. Hetzel B.S., Clugston G.A. In Modern Nutrition in Health and Disease / M. Shils et al. eds. 9'th edition. Baltimore : MD. Williams & Wilkins, 1999. P. 253–264.
3. Фроули Д. Аюрведа. Наука самоисцеления. URL: http://www.kodges.ru/medik/zdorov/219090-ayurveda-32-toma.html (дата звернення: 25.01.2021).
4. Фроули Д. Аюрведическая терапия. Пер. с англ. 10-е изд. Москва : Саттва, 2015. 448 с.
5. Лад У., Лад В. Аюрведическая кулинария. Москва : Саттва, 2000. 318 с.
6. Лад В., Фроули Д. Травы и специи. Москва : Саттва, 1998. 301 с.
7. Касянчук В. Проблеми безпечності української молочної продукції. *Продукты и ингредиенты*. 2008. № 5. С. 54–56.
8. Дідух Н.А., Могилянська Н.А. Медико-біологічні досліди йогурту. *Продукты и ингредиенты*. 2009. № 11. С. 46–47.
9. Нартов Е.В. Пряности для кулинарии и здоровья. *Veda Press*. 2009. 268 с.
10. Козловский А.В. Йога специй. Нижний Новгород, 2015. 424 с.
11. Development of technology of ayurvedic culinary products with natural plant components / N. Frolova at al. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 6/3 (44). P. 48–54.
12. Изучение процесса синерезиса кисломолочных напитков / Л.В. Голубева и др. *Пищевая промышленность*. 2015. № 4. С. 42–43.

Yushchenko N.M., Holia A.V., Lysa L.B., Halushka S.A., Kokhanovska V.P. DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF AYURVEDIC FERMENTED MILK DRINKS

The prospects of developing the technology of fermented milk drinks based on the principles of Ayurveda are substantiated. Spices are a promising component that allows you to purposefully regulate the properties of food products in accordance with the individual constitution. The use of spices will allow you to produce fermented dairy products with original taste without additional sugar. The influence of the type of spices on the dynamics of the acidity index during fermentation and the syneretic properties of the clot were studied. It was found that the introduction of spices somewhat slows down the fermentation process – on average by 8–10%, the lower level of acidity was the case with the addition of dry ginger, due to the component composition of the spice, namely the terpene content of essential oil. The rational amount of table salt is determined – 0,8–1,0%. With increasing addition of salt, the titratable acidity was slightly lower due to the increase in osmotic pressure of the liquid phase with the addition of salt, as well as dehydrating properties of salt, which disrupts the normal water-salt metabolism of bacterial cells and thus slows its activity. Therefore, to prevent disruption of the fermentation process, spices and salt should be added to the fermented mixture. In order to ensure proper microbiological parameters of fermented milk drinks, it is recommended to add table salt after fermentation with pre-calcination at a temperature of 130–135 °C or in the form of brine, followed by the introduction of the structure-forming component. Spices – after fermentation, pre-heat treated in an autoclave in an airtight container.

The production of fermented milk drinks with spices will expand the range of health products and attract a wider range of consumers.

Key words: *fermented dairy product, Ayurvedic food, spices, salt.*

ТРАНСПОРТ

УДК 656.135.8
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/12

Головіна О.В.
Філія Класичного приватного університету в місті Кременчук

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

У статті визначено фактори, що впливають на процес підвищення ефективності використання автомобільних кар'єрних самоскидів: раціонально підібрана структура парку автомобілів, рівень автоматизації гірничотранспортного комплексу, технічний стан транспортних засобів, кліматичні умови, гідрогеологічні умови, технологічні умови, стан і конфігурація доріг, схеми руху транспорту в кар'єрі, особливості умов розробок, чітка взаємодія всіх структурних підрозділів і служб підприємства та рівень професіоналізму персоналу. Проаналізовано всі види простоїв і регламентних перерв автосамоскидів за зміну. У результаті проведених досліджень було встановлено, що значна частка часу роботи кар'єрного самоскиду витрачається на процеси, не пов'язані з його основною роботою: вантаженням-розвантаженням і транспортуванням гірської маси. З'ясовано, що це час медичного огляду водія, щоденного технічного огляду самоскиду перед виїздом, холостого пробігу між місцем зберігання самоскиду і місцем навантаження, обідньої перерви, заправки автомобіля, усунення технічних несправностей, зміни водія, санітарних перерв. Установлено, що зміна водіїв автомобільних самоскидів, обслуговування технологічного транспорту і заправка пальним техніки проводяться поза кар'єром, на значній відстані від основної роботи, передбачаючи збільшення холостого пробігу і часу простою в зміну. Запропоновано заходи щодо організації роботи кар'єрної техніки, що дозволяють підвищити ефективність перевезень кар'єрними самоскидами за рахунок зменшення часу перерв і посередзмінних простоїв у роботі автомобілів, що дозволяють збільшити основний час роботи кар'єрної колісної техніки, який витрачається на навантаження, розвантаження та транспортування гірничої маси.

Ключові слова: *ефективність перевезень, автомобільний кар'єрний самоскид, простій, основний час роботи.*

Постановка проблеми. У гірничодобувній галузі під час видобутку відкритим способом основним засобом для транспортування корисних копалин є автомобільний транспорт великої та особливо великої вантажопідйомності.

Використання кар'єрних автосамоскидів має значні переваги перед іншими видами транспорту, які зумовлені високою маневреністю, прохідністю, динамічністю і мобільністю автомобілів, а також меншими витратами на будівництво автомобільних доріг. Водночас використання кар'єрного автомобільного транспорту вимагає значних початкових вкладень на придбання, витрат на підтримку автомобілів у необхідному технічному стані, значних витрат на експлуатацію, витрат на навчання й утримання великого штату операторів і механіків. Уважається, що в загальній собівартості видобутку копалин частка витрат на кар'єрний транспорт становить 50–65%. Крім того, робота розглянутого виду транспорту багато в чому залежить від природно-кліматичних умов. Тому є підстави вважати, що будь-яке дослідження, спрямоване на підвищення ефективності перевезень автомобільними кар'єрними самоскидами, буде актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність автомобільних перевезень у кар'єрі залежить від багатьох факторів: раціонально підібраної структури парку автомобілів, технічного стану транспортних засобів, умов експлуатації (кліматичних умов, гідрогеологічних умов, технологічних умов, стану і конфігурації доріг, схеми руху транспорту в кар'єрі, особливостей умов розробок), рівня професіоналізму персоналу [1–5].

Питання підвищення продуктивності транспортного процесу в кар'єрі знайшли відображення в роботі [7]. Автори пропонують вирішити поставлене завдання за рахунок поліпшення стану

кар'єрних доріг, зменшення відстані транспортування вантажу, правильно обраної схеми маневрування на майданчиках навантаження гірської маси.

Автор роботи [8] рекомендує підвищити ефективність роботи підприємства за рахунок розробленої методики, яка забезпечує системне функціонування складників усього кар'єрного транспортного комплексу, створюючи єдиний вантажно-транспортно-розвантажувальний процес, за допомогою чіткості виконання і постійного взаємного узгодження всіх операцій, що дозволяють мінімізувати час простою автомобілів.

У роботі [9] автори пропонують підвищити продуктивність роботи автомобільних самоскидів за допомогою установки системи моніторингу і контролю маси вантажу, яка дасть можливість оптимально навантажувати транспортний засіб, без перевантаження і недовантаження, забезпечуючи зниження зносу складників його ходової системи, зменшення витрат на ремонт і обслуговування, підвищуючи терміни експлуатації техніки.

Перераховані дослідження показують, що є багато шляхів і способів підвищення ефективності роботи кар'єрних автомобільних самоскидів, однак проблема залишається актуальною.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення ефективності перевезень кар'єрними самоскидами за рахунок удосконалення організації роботи кар'єрної техніки в зміну.

Виклад основного матеріалу дослідження. Однією з оцінок ефективності перевізного процесу є виконаний обсяг транспортної роботи. Чим він більший, за рівних інших умов, тим вищою є ефективність від експлуатації транспортних засобів. Підвищити продуктивність роботи автомобільних самоскидів можна за рахунок збільшення значення коефіцієнта вантажопідйомності, підвищення коефіцієнта технічної готовності і коефіцієнта використання парку.

Домогтися збільшення коефіцієнта вантажопідйомності можна за рахунок експлуатації самоскидів більшої й особливо великої вантажопідйомності. Однак економічна доцільність такого використання обмежена запланованими обсягами гірських робіт у кар'єрі.

Підвищити коефіцієнт технічної готовності можна за рахунок удосконалення організації діагностичних, ремонтних робіт, своєчасно проведених робіт із технічного обслуговування.

Коефіцієнт використання парку показує, скільки часу транспортний засіб виходив на маршрут (лінію) відповідно до всього розглянутого періоду часу, а його значення залежить від технологічних умов і рівня організації робіт на підприємстві. Для повної реалізації потенційних можливостей автомобільних самоскидів кожне підприємство намагається організувати свою роботу таким чином, щоб домогтися значення коефіцієнта використання парку максимально наближеним до значення коефіцієнта технічної готовності.

Оскільки значення коефіцієнта використання парку пов'язано з часом, який транспортний засіб проводить на лінії протягом зміни, важливо розглянути всі складники цього часу, з'ясувати, з чого він складається (рис. 1).

Час роботи на лінії складається з основного часу роботи, часу холостого пробігу між місцем зберігання самоскида і місцем завантаження, часу проведення медичних оглядів водія перед виїздом на маршрут і після повернення, часу обідньої перерви, часу заправки автомобіля, часу проведення робіт з усунення технічних несправностей транспортних засобів на маршруті, часу зміни водія, часу простоїв не з вини водія, часу, необхідного водієві для виконання робіт перед виїздом на маршрут і після повернення, часу короткострокових санітарних перерв [10].

Основний час роботи кар'єрного автомобільного транспорту в зміну включає час транспортування вантажу до місця призначення, час навантаження і розвантаження вантажу, час виконання маневрів у пунктах навантаження і розвантаження.

Аналізуючи складники загального часу перебування самоскида в зміні, можна зробити висновок, що частка посередзмінних простоїв і перерв, передбачених регламентом, значна порівняно з часом основної роботи.

Отож, за результатами аналізу дослідження було направлено на підвищення ефективності використання автомобільного кар'єрного транспорту за рахунок зменшення часу простоїв у зміну і зменшення часу перерв, передбачених регламентом, а також, як наслідок, збільшення основного часу роботи в зміну.

Під час дослідження було встановлено, що обслуговування технологічного транспорту проводиться в спеціальних цехах, на майданчиках, на ділянках, які розташовані на значній відстані від основної роботи самоскидів. А це означає, що всі види технічного обслуговування, ремонту і непередбачені технічні поломки на лінії вимагають виїзду автосамоскидів із кар'єру і прибуття на відповідні пости технічного обслуговування і ремонту. Так, на Полтавському гірничо-збагачу-

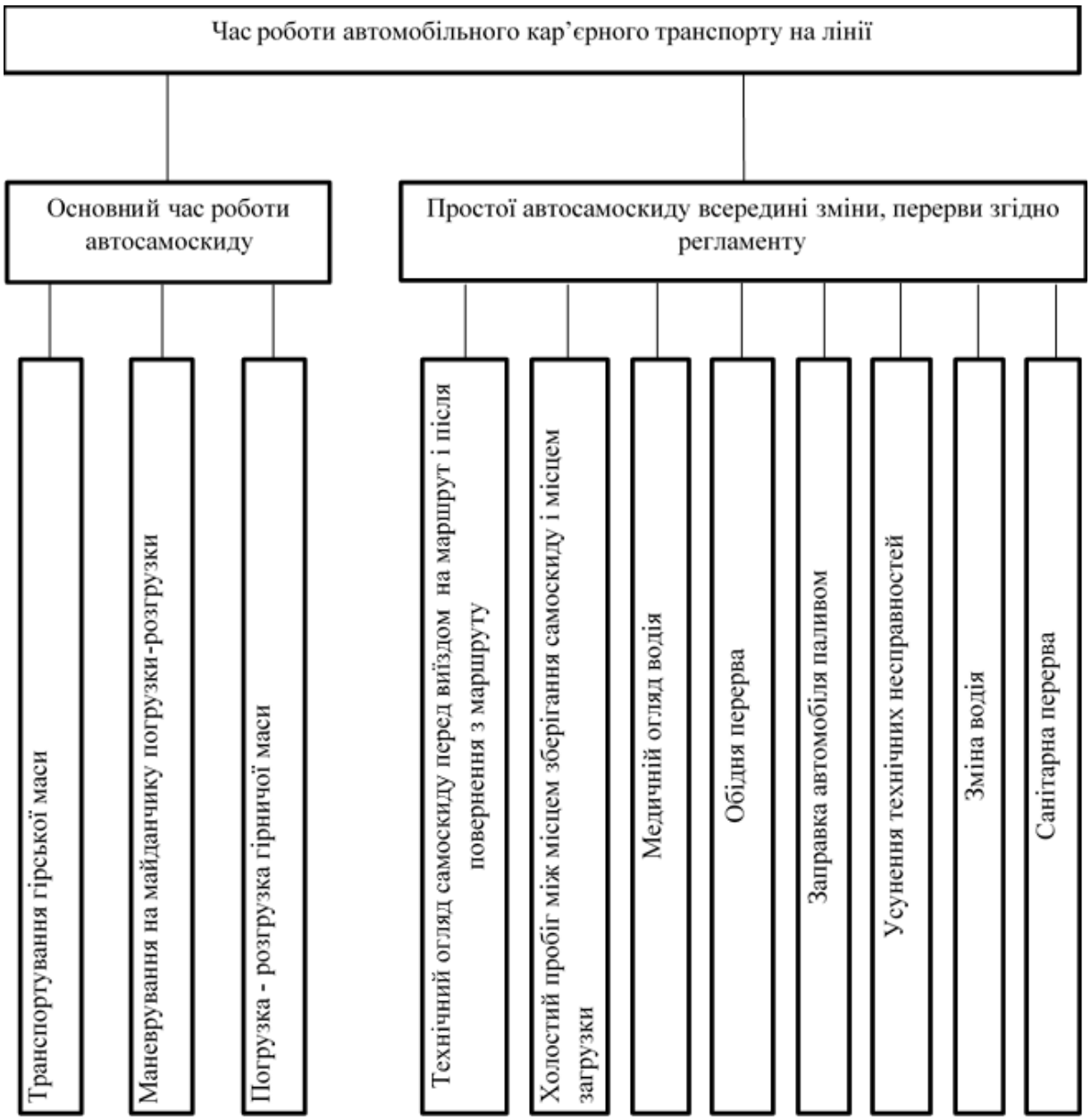


Рис. 1

вальному комбінаті, перераховані заходи, збільшуючи нульовий пробіг самоскидів на 10–13 км в один бік (залежно від горизонту навантаження), збільшують час посередзмінних простоїв.

Заправка пальним автомобільних самоскидів проводиться в спеціально відведеному місці в кар'єрі за допомогою паливозаправника, який перебуває там протягом денної і нічної змін. Оскільки заправка пальним навантаженого самоскида заборонена правилами техніки безпеки, то такі місця заправки пальним не завжди розташовані на маршруті навантаження-розвантаження, що також збільшує холостий пробіг.

Перезміна водіїв, як правило, відбувається на спеціальних горизонтальних майданчиках, які можуть перебувати на різних боках кар'єру і не завжди розташовані на маршруті навантаження-розвантаження. Така організація зміни оператора кар'єрного автомобільного транспорту теж призводить до збільшення холостого пробігу і, відповідно, до збільшення посередзмінних простоїв.

Відповідно до регламенту робіт, спостерігається часовий простій техніки в обідню перерву, оскільки технологічний транспорт у цей час не працює.

Аналіз причин простоїв автосамоскиду посеред зміни і регламентних перерв показав можливості підвищення продуктивності транспортної роботи за рахунок скорочення холостого пробігу автомобіля через проходження технічного обслу-

говування, дрібного ремонту, заправки, перезміни водіїв, виключення годинного простою техніки під час обідньої перерви оператора і, як наслідок, збільшення основного часу, що витрачається на транспортування, навантаження-розвантаження гірської маси.

Для вирішення поставленого завдання запропоновано низку заходів, спрямованих на зменшення часу посередзмінних і регламентних простоїв:

1) створення майданчика перезміни, який є площею в кар'єрі, розташованою за маршрутом навантаження-розвантаження, і який дозволить швидку зміну водіїв;

2) установка паливозаправників на майданчиках перезміни в спеціальні огороджувальних «кишенях»;

3) використання заходу «підмінний оператор»;

4) обладнання майданчика перезміни інвентарем для проведення технічного обслуговування.

На майданчику встановлено:

– підкачку азотом (на базі напівпричепа);

– бокс-компресорну;

– сейф для зберігання бочок із солідольним мастилом;

– пневмонасоси;

– солідолонагнітатель.

Оскільки паливозаправники перебували на майданчику перезміни, скоротився холостий пробіг і зменшився час заправки пальним автомобіля.

Завдяки встановленню обладнання для проведення технічного обслуговування на цьому ж майданчику було виключено рух автосамоскиду в цех, оскільки цей захід дозволив заправити мастильну систему солідолом, провести підкачування шин азотом, очистити повітряні фільтри стисненим повітрям і заповнити ним же повітряні ресивери на самоскиді, не виїжджаючи з кар'єру.

Організація модуля «підмінний оператор» є роботою технологічного транспорту в обідню перерву підмінними операторами, під час якої основний водій має можливість відпочинку і приймання їжі. Один підмінний водій може за черговістю підмінити чотирьох основних водіїв.

Ці заходи було апробовано в кар'єрі Полтавського гірничо-збагачувального комбінату і дозволили таке:

– за рахунок виконання швидкої зміни водіїв скоротити час зміни оператора до 4 хвилин на один самоскид;

– скоротити час перезміни самоскидів у середньому з 32 хвилин до 20 хвилин на кожному майданчику;

– за один місяць роботи автомобільного транспорту в обідню перерву додатково перевезти 313 тис. м^3 гірської маси.

Висновки. На продуктивність транспортної роботи кар'єрних автомобільних самоскидів впливає різноманітна кількість чинників, тому досягти її підвищення можна різними шляхами. Запропоновані заходи щодо організації на території кар'єру спеціальних майданчиків перезміни на шляху маршруту навантаження-розвантаження, де буде проводитися зміна оператора транспортного засобу, технічне обслуговування, заправка пальним, а також організація заходу «підмінний оператор» дозволять підвищити ефективність роботи кар'єрного автомобільного транспорту за рахунок зменшення часу простоїв у зміну і часу простоїв, затверджених регламентом робіт на підприємстві.

Список літератури:

1. Бахтурин Ю.А. Современное состояние карьерного транспорта**.** Каталог-справочник «Горная Техника – 2005». URL: http://masters.donntu.org/2007/fema/doroshenko/library/article1.htm / (дата обращения: 11.10.2020).

2. Ракитин В.А. Анализ методик формирования рациональной структуры парка грузовых автомобилей. *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 1–1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18167 (дата обращения: 11.10.2020).

3. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2011. № 10. С. 20–25.

4. Журавлев А.Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования. *Транспорт Урала*. 2014. № 4. С. 96–101.

5. Саменов Г.К., Джумагулов М.Ж. Исследование влияния дорожных условий на производительность автосамосвалов. *Вестник КазНТУ*. Алматы : КазНТУ, 2011. № 2. С. 37–39.

6. Монастырский Ю.А. Исследование влияния возраста и стажа работы операторов карьерных автосамосвалов на показатели работы машин. *Вісник Криворізького національного університету.* 2013. № 35. С. 149–152.

7. Монастирська О.Ю., Максимов С.В. Показники та критерії економічної ефективності автотранспортної системи гірничо-збагачувального комбінату. *Питання сучасної науки і освіти: матеріали VIII науково-практичної інтернет-конференції,* 12–14 лип. 2012 р. Київ, 2012. С. 55–56.

8. Анісімов О.О., Довгалюк І.А. Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижавського родовища мігматитів. URL: http://znp.nmu.org.ua/pdf/2015/49.pdf (дата звернення: 11.10.2020)

9. Мороз М.М. Організація перевезень гірничої маси на ПАТ «Кременчуцьке кар'єроуправління «Кварц». URL: http://www.kdu.edu.ua/GV_jurnal/GV_2_2014(14)/171.pdf (дата звернення: 12.10.2020)

10. Чаплінський В.С., Кирбуюк Г.В. Дослідження факторних параметрів транспортного процесу кар'єрних самоскидів сімейства БеЛАЗ та шляхи підвищення їх продуктивності. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. URL: http://intkonf.org/dots-chaplinskiy-vs-stud-kirbuyuk-gv-doslidzhennya-faktornih-parametriv-transportnogo-protsesu-karernih-samoskidiv-simeystva-belaz-ta-shlyahi-pidvischennya-yih-produktivnosti/(дата звернення: 12.10.2020).

11. Про наказ Міністерства транспорту та зв'язку України 07.06.2010 № 340. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-10#Text /(дата звернення: 12.10.2020).

Holovina O.V. IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORTATION BY AUTOMOBILE DUMP TRUCKS

The article defines the factors affecting the process of increasing the efficiency of the automobile dump trucks using: the rationally selected structure of the car park, the degree of automation by the mining and transport complex, the technical condition of vehicles, climatic conditions, hydrogeological conditions, technological conditions, the condition and configuration of roads, traffic patterns in the quarry, peculiarities of the development conditions, clear interaction of all structural divisions and services of the company and the competence of the staff. All types of standing time and routine breaks of dump trucks per shift have been analyzed. The studies found that a significant proportion of the operating time of the mining dump truck is spent on processes that are not related to its main work: loading and unloading and transportation of mined rock. It was found that this is the time of a medical examination of the driver, a daily technical inspection of a dump truck before departure, standing time between the place of storage of the dump truck and a place of loading, lunch break, refueling the truck, eliminating of technical faults, changing the driver, sanitary breaks. It has been established that the change of drivers of dump trucks, maintenance of technological transport and refueling of equipment, for the most part, are carried out outside the quarry, at a considerable distance from the main work. This organization of work leads to increase of idle run and standing time per shift. The proposed measures allow to increase the efficiency of transportation by mining dump trucks by reducing the time of breaks and in-shift standing time in the operation of vehicles and allow to increase the main operating time of quarry wheeled equipment spent on loading, unloading and transporting mined rock.

Key words: *efficiency of transportation, automobile dump trucks using, standing time, main operating time.*

УДК 681.5
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/13

Дакі О.А.
Державний університет інфраструктури та технологій

Якусевич Ю.Г.
Державний університет інфраструктури та технологій

Урум Н.С.
Державний університет інфраструктури та технологій

Тришин В.В.
Державний університет інфраструктури та технологій

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК У СИГНАЛАХ НАПРУГИ І СТРУМУ НА ТОЧНІСТЬ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті продемонстровано, що надійність і ефективність функціонування системи енергозабезпечення засобів водного транспорту залежить від технічної справності електродвигунів – двигунів, які забезпечують генерування електричної напруги (струму) на судні. Вихід із ладу таких двигунів призведе до повної відсутності роботи систем зв'язку, навігації тощо, що може бути причиною катастрофи. Обґрунтовано, що одним із методів підтримання електродвигунів у справному стані є контроль потужності. Запропонований метод оцінки впливу вищих гармонік у сигналах напруги і струму на точність кореляційного методу вимірювання потужності двигунів засобів водного транспорту. Наявність вищих гармонік у кривих напруги і струму призводить до методичної похибки вимірювання потужності. Це зумовлено тим, що за наявності вищих гармонік моменти переходів через нуль кривих напруги і струму не збігаються з моментами переходів через нуль перших гармонік кривих струму та напруги відповідно. Таке часове зміщення призводить до похибки у вимірюванні потужності, яка має ту ж природу, що й методична похибка вимірювання фазового зсуву між несинусоїдальними сигналами. Також наявність вищих гармонік у кривих напруги і струму призводить до появи додаткових членів у функції розкладу несинусоїдального сигналу. За результатами дослідження встановлено, що найбільший внесок у похибку вимірювання потужності запропонованим кореляційним методом надає третя гармоніка в сигналах струму або напруги. У цьому разі відносні похибки вимірювання потужності кореляційним методом дорівнює парціальному коефіцієнту третьої гармоніки. Якщо ж у сигналах напруги і струму відсутня третя гармоніка, то відповідна похибка квадратична за коефіцієнтом гармонік і, отже, за малих значень коефіцієнтів гармонік буде величиною другого порядку малості, якою можна знехтувати.

Ключові слова: *засоби водного транспорту, двигун, потужність, кореляційний метод, напруга, струм*

Постановка проблеми. Двигуни засобів водного транспорту (залежно від призначення) мають у своєму складі різноманітні механічні та електронні складники (механізми), вихід із ладу яких може призвести до катастрофи або неспроможності засобу закінчити своєчасно рейс, тобто до економічних збитків [1; 2]. Таким чином, своєчасне виявлення відмов двигунів засобів водного транспорту дозволить підвищити ефективність експлуатації таких засобів [3].

Забезпечення надійної та безпечної експлуатації двигунів (ходових і системи енергозабезпечення) засобів водного транспорту досягається за рахунок застосування системи контролю та діагностування технічного стану. До такої системи зараховують сукупність методів і засобів контролю та діагностування. Система технічного діагностування при цьому повинна включати періодичний контроль технічного стану двигунів, пошук дефектів і несправностей у роботі, визначення ступеня небезпеки дефектів й оцінку остаточного ресурсу обладнання [4; 5].

Одним з етапів під час виконання технічного обслуговування та ремонтних робіт є моніторинг

і оцінка фактичного стану обладнання для визначення обсягів і строків необхідних регламентних робіт [5; 6]. Отже, від точності та ефективності проведення діагностики залежить якість і вартість робіт, тобто фінансово-економічні результати обслуговування двигунів [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями вимірювання потужності двигунів внутрішнього згоряння займалися Л.Я. Волчок, М.І. Корчагін, В.К. Чистяков, М.М. Фомін, М.М. Свистунов, С.О. Головінов та ін. У своїх роботах учені виділяють кореляційний метод вимірювання потужності двигунів. До основних вимог сучасних методів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту пропонується зарахувати [7; 8]:

– потрібний рівень достовірності та точності виявлення несправностей і пошкоджень двигунів;

– можливість своєчасного виявлення основних електричних і механічних дефектів двигунів;

– проведення необхідних операцій вимірювання дистанційно;

– низьку трудомісткість і простоту технічного обслуговування (проведення вимірювань необхідних параметрів);

– можливість проведення аналітичного оброблення отриманих результатів вимірювань за короткий час (застосування інформаційно-вимірювальних систем і комплексів).

Постановка завдання. Для виявлення несправностей двигунів (наприклад системи енергозабезпечення засобів водного транспорту) виділяють характерні частоти напруги або струму. Характер і ступінь несправності виділяють шляхом порівняння значень амплітуд U_m на характерних частотах із значеннями амплітуд U_0 на частоті 0 Гц.

Діагностування основних несправностей електродвигунів засобів водного транспорту здійснюється на характерних частотах:

– наявність міжвиткових замикань в обмотках статора та несправності ротора – на частоті мережі живлення (50 Гц; 400 Гц);

– відсутність співвісності валів електродвигунів і зв'язаних з електродвигуном механічних пристроїв – на частотах, які кратні основній частоті обертання електродвигуна;

– дефекти ремінцевого передання навантаження – на частотах, які кратні частоті биття ременя;

– пошкодження підшипника – на частотах, кратних частоті обертання ротора;

– пошкодження механічного обладнання з групи двигуна (насос, вентилятор, компресор) – на лопатковій частоті.

Висновок про наявність несправності електродвигуна робиться на основі порівняння значень амплітуд U_m на частотах, характерних для несправностей (дефектів), із рівнем сигналу на частоті, яка дорівнює нулю. Якщо амплітуди U_m на характерних частотах нижче амплітуди модуля U_0 на частоті 0 Гц на задану величину, то робиться висновок про справний технічний стан двигуна та пов'язаних із ним механічних пристроїв. Якщо така різниця між амплітудами більше заданої величини, то робиться висновок про наявність несправності, яка характерна для цієї частоти.

Спектральний аналіз отриманого сигналу та порівняння амплітуд U_m проводяться переважно у частотній області від мінус 100 дБ до 0 дБ шляхом виділення характерних рис (значень) появи несправності (наприклад у вигляді стрибків амплітуди U_m на характерних частотах).

Для зниження ефекту розтікання спектра під час виконання спектрального аналізу за допомогою алгоритму швидкісного перетворення Фур'є використовують функції вікна [10; 11].

Надійність і ефективність функціонування системи енергозабезпечення засобів водного транспорту залежить від технічної справності електродвигунів – двигунів, які забезпечують генерування електричної напруги (струму) на судні. Так, вихід із ладу таких двигунів (генераторів) призведе до повної відсутності роботи систем зв'язку, навігації тощо, що може бути причиною катастрофи.

Одним із методів підтримання електродвигунів у справному стані є контроль потужності, яку забезпечує такий двигун.

У статті запропоновано метод оцінки впливу вищих гармонік у сигналах напруги і струму на точність кореляційного методу вимірювання потужності двигунів засобів водного транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наявність вищих гармонік у кривих напруги $u(t)$ і струму $i(t)$ призводить до методичної похибки вимірювання потужності кореляційним методом. По-перше, через наявність вищих гармонік моменти переходів через нуль кривих напруги і струму не збігаються з моментами переходів через нуль перших гармонік кривих струму та напруги відповідно. Таке часове зміщення призводить до похибки у вимірюванні потужності, яка має ту ж природу, що й методична похибка вимірювання

фазового зсуву між несинусоїдальними сигналами [12]. По-друге, наявність вищих гармонік у кривих напруги і струму призводить до появи додаткових членів у функції розкладу несинусоїдального сигналу [13].

Представимо рядами Фур'є несинусоїдальні функції напруги $u(t)$ і струму $i(t)$, взявши за початок відліку кривих момент переходу через нуль першої гармоніки напруги:

$$u(t) = U_0 + U_{m1}\sin\omega t + \sum_{k=2}^{\infty} U_{mk}\sin(k\omega t + \psi_{uk})\,; \quad (1)$$

$$i(t) = I_0 + I_{m1}\sin(\omega t + \phi) + \sum_{k'=2}^{\infty} I_{mk'}\sin(k'\omega t + \psi_{ik'})\,, \quad (2)$$

де U_0, I_0 – постійні складники в кривих напруги і струму відповідно;

U_{m1}, I_{m1} – амплітуди перших (основних) гармонік напруги і струму відповідно;

ω – кругова частота перших гармонік напруги і струму;

ϕ – фазовий зсув між першими (основними) гармоніками напруги і струму;

k, k' – поточний номер гармоніки напруги і струму відповідно;

U_{m1}, $\psi_{ik'}$ – початкові фази k-ї гармоніки напруги і k'-ї гармоніки струму відповідно;

U_{mk}, $I_{mk'}$ – амплітуди k-ї гармоніки напруги і k'-ї гармоніки струму відповідно.

Для скорочення таких записів співвідношення (1) і (2) зазначимо однаково:

$$u(t) = \sum_{k=0}^{\infty} U_{mk}\sin(k\omega t + \psi_{uk})\,; \quad (3)$$

$$i(t) = \sum_{k'=0}^{\infty} I_{mk'}\sin(k'\omega t + \psi_{ik'})\,, \quad (4)$$

де за формулами (1) і (2) відповідно візьмемо такі рівності:

$$U_{m0} = U_0\,,\ I_{m0} = I_0\,; \quad (5)$$

$$\psi_{u0} = \psi_{i0} = \frac{\pi}{2}\,; \quad (6)$$

$$\psi_{u1} = 0\,,\ \psi_{i1} = \phi\,. \quad (7)$$

Для результату вимірювання активної потужності запишемо

$$\tilde{N} = \frac{1}{n}\sum_{q=1}^{n} u(t_q)i(t_q)\sin(2\omega t_q + \beta)\,,$$

або з урахуванням співвідношень (3), (4)

$$\tilde{N} = \frac{1}{n}\sum_{q=1}^{n}\ \sum_{k,k'=0}^{\infty} \begin{matrix} U_{mk}I_{mk'}\sin(k\omega t_q + \psi_{uk}) \\ \times\sin(k'\omega t_q + \psi_{ik'})\sin(2\omega t_q + \beta) \end{matrix}^{\times}\,. \quad (8)$$

У цьому виразі перетворимо добуток синусів [14]:

$$\sin(k\omega t_q + \psi_{uk})\sin(k'\omega t_q + \psi_{ik'})\sin(2\omega t_q + \beta) =$$
$$= \frac{1}{4}\left\{\begin{matrix} \sin\left[(k'-k+2)\omega t_q + \beta + \psi_{ik'} - \psi_{uk})\right] + \\ +\sin\left[(k-k'+2)\omega t_q + \beta + \psi_{uk} - \psi_{ik'})\right] + \\ +\sin\left[(k+k'-2)\omega t_q - \beta + \psi_{uk} + \psi_{ik'})\right] - \\ -\sin\left[(k+k'+2)\omega t_q + \beta + \psi_{uk} + \psi_{ik'})\right] \end{matrix}\right\}. \quad (9)$$

Якщо в співвідношенні (8) знехтувати похибкою від заміни інтеграла сумою (за умови, що криві напруги і струму не містять гармонік вище n-ї), то, підставляючи рівність (9), під час підсумовування за моментами дискретизації t_q звернуться в нуль усі суми, за винятком тих, у яких $k' = k-2$, $k' = k+2$ і $k' = k = 1$.

Тому вираз (8) запишемо у вигляді

$$\tilde{N} = \frac{1}{4}\left\{\begin{matrix} U_{m1}I_{m1}\sin(\psi_{u1} + \psi_{i1} - \beta) + \\ +\sum_{k=2}^{\infty} U_{mk}I_{m(k-2)}\sin\left[\psi_{i(k-2)} - \psi_{uk} + \beta\right] + \\ +\sum_{k=0}^{\infty} U_{mk}I_{m(k+2)}\sin\left[\psi_{uk} - \psi_{i(k+2)} + \beta\right] \end{matrix}\right\}.$$

Зважаючи на рівності (5) – (7), маємо

$$\tilde{N} = \frac{1}{2}U_1I_1\sin(\phi - \beta) + \frac{1}{2\sqrt{2}}\begin{bmatrix} U_2I_0\cos(\psi_{u2} - \beta) + \\ +U_0I_2\cos(\psi_{i2} - \beta) \end{bmatrix} +$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{\infty}\begin{bmatrix} U_kI_{k+2}\sin(\psi_{uk} - \psi_{i(k+2)} + \beta) + \\ +U_{k+2}I_k\sin(\psi_{ik} - \psi_{u(k+2)} + \beta) \end{bmatrix},$$

або

$$\tilde{N} = N + \Delta N_г\,, \quad (10)$$

де

$$N = \frac{1}{2}U_1I_1\sin(\phi - \beta) \quad (11)$$

– результат вимірювання потужності;

$$\Delta N_г = \frac{1}{2\sqrt{2}}\left[U_2I_0\cos(\psi_{u2} - \beta) + U_0I_2\cos(\psi_{i2} - \beta)\right] +$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{\infty}\begin{bmatrix} U_kI_{k+2}\sin(\psi_{uk} - \psi_{i(k+2)} + \beta) + \\ +U_{k+2}I_k\sin(\psi_{ik} - \psi_{u(k+2)} + \beta) \end{bmatrix} \quad (12)$$

– похибка вимірювання потужності, яка вноситься вищими гармоніками в кривих напруги і струму.

Із виразу (12) випливає, що можливі випадки, коли, незважаючи на присутність вищих гармонік у кривих напруги і струму, похибка $\Delta N_г$ дорівнює нулю. Це має місце тоді, коли в кривій струму немає гармонік, що відрізняються від гармонік у

кривій напруги на 2ω. Наприклад, якщо в кривих напруги і струму відсутня друга гармоніка, то наявність у них постійного складника не призводить до похибки вимірювання потужності.

Визначимо внесок у похибку $\Delta N_г$, який уносить присутність у кривій струму k-ї гармоніки, а в кривої напруги $(k+2)$-ї або $(k-2)$-ї гармоніки. Із виразу (12) отримаємо:

$$\Delta N_{гk} = \frac{1}{2} U_{k+2} I_k \sin\left(\psi_{ik} - \psi_{u(k+2)} + \beta\right).$$

Для найбільш несприятливого поєднання фаз, за якого $\sin\left(\psi_{ik} - \psi_{u(k+2)} + \beta\right) = \pm 1$, максимальна абсолютна похибка вимірювання потужності

$$(\Delta N_{гk})_{\max} = \frac{1}{2} U_{k+2} I_k,$$

а максимальна відносна похибка вимірювання потужності

$$\frac{(\Delta N_{гk})_{\max}}{N} = \frac{U_{k+2} I_k}{U_1 I_1}. \qquad (13)$$

Так, за $k \neq 1$

$$\frac{\Delta N_{гk}}{N} = k_{ik} k_{u(k+2)},$$

за $k = 1$

$$\frac{\Delta N_{г3}}{N} = k_{u3}, \qquad (14)$$

Як видно з виразів (13) і (14), найбільший внесок у похибку вимірювання потужності запропонованим кореляційним методом надає третя гармоніка в сигналах струму або напруги. У цьому разі відносні похибки вимірювання потужності кореляційним методом (згідно з виразом (14)) дорівнює парціальному коефіцієнту третьої гармоніки.

Якщо ж у сигналах напруги і струму відсутня третя гармоніка, то відповідна похибка квадратична за коефіцієнтом гармонік і, отже, за малих значень коефіцієнтів гармонік буде величиною другого порядку малості, якою можна знехтувати.

Висновки. У статті показано, що завдання визначення технічного стану двигунів засобів водного транспорту (особливо двигунів зі складу системи енергопостачання засобів водного транспорту) може бути розв'язане за рахунок використання методу вимірювання потужності. Обґрунтовано, що поява вищих гармонік у сигналах напруги (струму), яка свідчить про наявність несправностей у системі енергопостачання засобів водного транспорту, впливає на загальну потужність двигуна. У статті запропоновано метод оцінки впливу вищих гармонік у сигналах напруги і струму на точність кореляційного методу вимірювання потужності двигунів засобів водного транспорту. Також зроблено пропозиції щодо врахування вищих гармонік під час оцінки потужності двигунів (як параметра, який впливає на технічний стан) засобів водного транспорту.

Список літератури:

1. Дакі О.А., Трофіменко А.О., Штрибець В.В. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів для контролю систем навігації. *Наукоємні технології*. 2019. № 1 (41). С. 88–94.

2. Штрибець В.В. Контроль технічного стану двигунів засобів водного транспорту методом спектрального аналізу випадкових сигналів. *Новітні технології*. 2019. Вип.1(8). С. 59–69.

3. Герасимов С., Шапран Ю., Стахова М. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities. *Системи обробки інформації*. 2018. Вип. 1 (152). С. 148–154.

4. Герасимов С.В., Шапран Ю.Є., Кірвас В.В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння та військова техніка*. 2017. № 4 (52). С. 5–10.

5. Герасимов С.В., Грідіна В.В. Методика обґрунтування номенклатури параметрів контролю радіотехнічних систем і призначення їх допустимих відхилень. *Системи обробки інформації*. 2018. Вип. 2 (153). С. 159–164.

6. Васькевич Ф.А. Двигатели внутреннего сгорания. Теория, эксплуатация, обслуживание. Новороссийск, МГА, 2009. 266 с.

7. Admiralty list of radio signals. Global maritime distress and safety system (GMDSS). Vol 5. NP 285, 2000. 338 p.

8. Qriffiths B.E. Optimal control of jump-linear gaussian systems. Int. J. of control. Vol. 42, N. 4. 1985. P. 791–819.

9. Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели. Санкт-Петербург : Моркнига, 2006. 140 с.

10. Захаров Г.В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. Москва : Транслит, 2009. 256 с.

11. Борисенко М.В. Development of optimum navigation information processing algorithm. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2018. № 3(32). С. 38–44.

12. Герасимов С.В., Яковлев М.Ю., Дакі О.А. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання. *Вимірювальна техніка та метрологія.* 2018. № 79 (2). С. 73–76.

13. Соловьев И. Морская радиоэлектроника. Санкт-Петербург : Политехника, 2003. 185 с.

14. Алешин Б.С., Веременко К.К. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. Москва : Наука, 2006. 424 с.

Daki O.A., Yakusevich Yu.H., Urum N.S., Trishin V.V. ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF HIGH HARMONICS IN VOLTAGE AND CURRENT SIGNALS ON THE ACCURACY OF THE CORRELATION METHOD OF POWER MEASUREMENT ENGINES OF WATER VEHICLES

It is shown that the reliability and efficiency of the power supply system of water transport depends on the technical serviceability of electric motors – motors that generate electric voltage (current) on the vessel. Failure of such engines will result in complete failure of communication, navigation, etc., which can cause accidents. It is substantiated that the power control is one of the methods of maintenance of electric engines in good condition. A method for estimating the influence of higher harmonics in voltage and current signals on the accuracy of the correlation method for measuring the power of water transport engines is proposed. The presence of higher harmonics in the voltage and current curves leads to a methodological error in power measurement. This is due to the fact that in the presence of higher harmonics, the moments of transitions through zero of the voltage and current curves do not coincide with the moments of transitions through zero of the first harmonics of the current and voltage curves, respectively. This time offset leads to an error in the measurement of power, which has the same nature as the methodological error in measuring the phase shift between non-sinusoidal signals. Also, the presence of higher harmonics in the voltage and current curves leads to the appearance of additional members in the decomposition function of the non-sinusoidal signal. According to the results of the study it is established that the largest contribution to the error of power measurement by the proposed correlation method is given by the third harmonic in the signals of current or voltage. In this case, the relative errors of power measurement by the correlation method are equal to the partial coefficient of the third harmonic. If there is no third harmonic in the voltage and current signals, then the corresponding error is quadratic by the harmonic coefficient and, therefore, at small values of the harmonic coefficients will be the value of the second order of smallness, which can be neglected.

Key words: *means of water transport, engine, power, correlation method, voltage, current.*

УДК 629.014.8:351.754
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/14

Євсєєв В.О.
Національна академія Національної гвардії України

Бутко Р.В.
Національна академія Національної гвардії України

Гончаров Є.І.
Національна академія Національної гвардії України

СПЕЦІАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ СИЛ ОХОРОНИ ПРАВОПОРЯДКУ ІНОЗЕМНИХ ДЕРЖАВ: ЗАГОРОДЖУВАЛЬНІ МАШИНИ

У статті наголошено, що масові заходи за участю великої кількості людей, які не задоволені результатами діяльності органів державної влади, часто переростають у групові порушення громадського порядку з боку учасників зазначених заходів, а їх опір представникам сил охорони правопорядку іноді набуває жорстких форм. Для відновлення громадського порядку в разі виникнення масових заворушень сили охорони правопорядку застосовують превентивні заходи та заходи примусу, включаючи застосування спеціальних засобів, зокрема спеціальних транспортних засобів, насамперед загороджувальних машин. Указано, що застосування силами охорони громадського порядку іноземних держав загороджувальних машин дозволило їм ефективно виконати поставлені завдання. Ефективність застосування загороджувальних машин полягає у виконанні силами охорони правопорядку поставлених перед ними завдань із залученням меншої кількості сил, зниженні ймовірності безпосереднього фізичного контакту представників сил охорони правопорядку з учасниками масових заворушень і, як наслідок, зменшенні кількості санітарних втрат серед сил охорони правопорядку. Визначено, що, незважаючи на відсутність на оснащенні сил охорони правопорядку України зазначеного зразка спеціального засобу, наразі вітчизняні фахівці приділяють недостатньо уваги питанню вивчення особливостей устаткування і тактико-технічних характеристик сучасних загороджувальних машин, які використовують сили охорони правопорядку іноземних держав під час виконання завдань у визначених умовах. У статті проведено аналіз особливостей устаткування і тактико-технічних характеристик сучасних загороджувальних машин. Результати проведеного аналізу дозволяють стверджувати, що сучасні загороджувальні машини є складними багатофункціональними комплексами, які можуть оснащуватися не лише загороджувальними щитами, а й іншим додатковим устаткуванням. Це значно розширює функціональні можливості зазначених машин та робить їх універсальними і більш адаптованими до сучасних тенденцій масових протестів.

Ключові слова: *сили охорони правопорядку, охорона громадського порядку, забезпечення громадської безпеки, масовий захід, масові заворушення, спеціальний транспортний засіб, загороджувальна машина.*

Постановка проблеми. Результати проведеного аналізу низки останніх резонансних подій, що відбулися у світі у 2020 році, а саме: вуличні демонстрації активістів руху Black Lives Matter (BLM, Життя чорних важливі) у США, акції протесту громадян Білорусі проти результатів виборів Президента держави, мітинги в окремих державах Європейського Союзу (далі – ЄС) проти введення обмежень через поширення COVID-19 та ін. дозволяють стверджувати, що масові заходи за участю великої кількості людей, які не задоволені результатами діяльності органів державної влади, часто переростають у групові порушення громадського порядку з боку учасників зазначених заходів, а їх опір представникам сил охорони правопорядку (далі – СОП) іноді набуває жорстких форм. Для недопущення виникнення масових заворушень (далі – МЗ) або для відновлення громадського порядку у разі їх виникнення СОП були вимушені застосовувати превентивні заходи та заходи примусу, включаючи застосування спеціальних засобів (далі – СЗ), зокрема спеціальних транспортних засобів (далі – СТЗ).

Під СОП автори розуміють представників поліції та військових формувань із правоохоронними функціями (формування, споріднені за своїми призначенням і функціями з Національною гвардією України).

В окремих випадках (наприклад під час зазначених вище акцій протесту в Білорусі) для недопущення виникнення МЗ або для відновлення громадського порядку у разі їх виникнення СОП широко застосовували загороджувальні машини (далі – ЗМ). Застосування ЗМ у визначених умовах дозволило СОП ефективно виконати поставлені перед ними часткові завдання щодо повного обмеження проходу (проїзду) громадян на певні ділянки місцевості, здійснення психологічного впливу на протестувальників тощо. Ефективність застосування ЗМ полягає у виконанні СОП поставлених часткових завдань із залученням меншої чисельності сил, зниженні ймовірності безпосереднього фізичного контакту представників СОП із учасниками МЗ і, як наслідок, зменшенні кількості санітарних втрат серед СОП.

Відомо, що в Україні СОП, а саме представникам Національної поліції (далі – НП) та Національної гвардії України (далі – НГУ), під час виконання ними службово-бойових завдань відповідними нормативно-правовими актами надано право застосовувати СЗ, зокрема СТЗ [1; 2; 3].

Натепер авторам, на жаль, не вдалося знайти у відкритих джерелах інформацію щодо перебування на оснащенні НП та НГУ такого зразка СТЗ, як ЗМ. Крім того, немає підтвердження й тому, що в Україні проводиться розроблення зазначеного зразка СТЗ.

Наразі, як відомо, складники СОП, включаючи НП та НГУ, перебувають у стані активного реформування. Безумовно, для досягнення цілей реформ, що впроваджуються, необхідно вивчати досвід іноземних держав, зокрема у сфері застосування СОП зазначених держав СЗ, включаючи застосування СТЗ, зокрема сучасних ЗМ та особливостей їх устаткування і тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ).

Отже, вищезазначене, ураховуючи напружену соціально-економічну ситуацію в Україні та поглиблення інтеграційних процесів у сфері охорони громадського порядку (далі – ОГП) та забезпечення громадської безпеки (далі – ЗГБ) (наприклад спільні дії СОП держав-членів ЄС під час Європейської міграційної кризи 2015 року), свідчить на користь актуальності обраного напряму дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню особливостей устаткування і ТТХ сучасних ЗМ, що перебувають на оснащенні СОП іноземних держав, присвячено певну кількість публікацій зарубіжних фахівців. Серед зазначених публікацій найбільший інтерес, зважаючи на кількість розглянутих зразків ЗМ, становить робота [4].

Проте в зазначеній статті автор лише частково висвітлив основні особливості устаткування і ТТХ тільки окремих сучасних зразків ЗМ, що перебувають на оснащенні СОП. Частина з тих зразків ЗМ, що описані у роботі, фізично та морально застаріли.

В окремих джерелах, наприклад у [5; 6], досить повно висвітлено інформацію щодо особливостей устаткування і ТТХ сучасних зразків ЗМ. Проте зазначена інформація, як правило, надається безпосередньо самими виробниками або їх представниками і висвітлюється на їх офіційних сайтах і стосується лише конкретного зразка.

Отже, зазначене дозволяє стверджувати, що наразі вітчизняні та зарубіжні фахівці приділяють ще не достатньо уваги питанню вивчення особливостей устаткування і ТТХ сучасних ЗМ, які використовують СОП під час виконання завдань з ОГП та ЗГБ під час проведення масових заходів.

Постановка завдання. Мета статті – провести аналіз особливостей устаткування і ТТХ сучасних ЗМ, які використовують СОП іноземних держав під час виконання завдань з ОГП та ЗГБ під час проведення масових заходів.

Виклад основного матеріалу дослідження. *ЗМ «Bozena Riot» та «Bozena Riot New» (Словацька Республіка).* ЗМ «Bozena Riot» (рис. 1а) та «Bozena Riot New» (рис. 1б) були розроблені спеціалістами словацької компанії Bozena у тісній взаємодії з представниками Поліцейського корпусу [5].

Як зазначає компанія-виробник, ці ЗМ можуть використовуватися не лише для блокування ділянок місцевості й захисту СОП під час МЗ за допомогою загороджувального щита (далі – ЗЩ), а й під час проведення антитерористичних операцій для захисту СОП від вогню снайперів та для прикриття СОП під час їх висування до будівель тощо. Крім того, зазначені ЗМ можуть застосовуватися для проведення розгородження невеликих штучних завалів, а під час встановлення V-подібного відвалу для спеціальної техніки – і для усунення більших перешкод [5].

ЗМ «Bozena Riot» сконструйовано на базі дистанційно керованого будівельного мінінавантажувача. Недоліком такої платформи є низька власна

а) *б)*

Рис. 1. ЗМ «Bozena Riot» (а) та «Bozena Riot New» (б) [5]

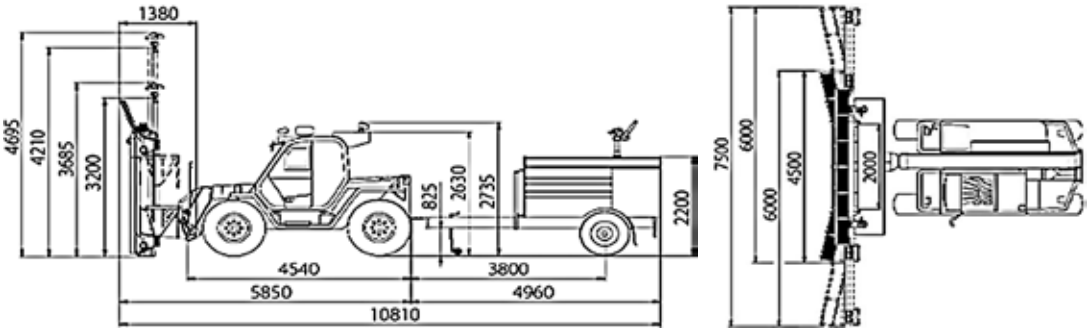


Рис. 2. Габаритні характеристики ЗМ «Bozena Riot New» та «Bozena Riot» (лише захисного щита) [5]

транспортна швидкість, що викликає необхідність у доставлянні цієї ЗМ до місця застосування на окремому трейлері [4].

ЗМ «Bozena Riot New», на відміну від ЗМ «Bozena Riot», є вже загороджувально-водометним комплексом. Ця модель побудована на базі будівельного навантажувача з телескопічною стрілою. Запас води для водометної установки транспортується в окремому причепі. Ємкість резервуара для води становить 3 000 літрів. Максимальна швидкість цієї ЗМ становить 40 км/год. [5].

На обох зразках змонтований розсувний ЗЩ з обладнаними в ньому отворами (бійницями) для спостереження СОП за діями правопорушників, а також ведення вогню зі штатної зброї по останнім (у разі необхідності). У конструкції ЗЩ передбачено майданчик другого ярусу, на якому можуть розміщуватися представники СОП для ведення спостереження за діями учасників масового заходу. Управління щитом здійснюється за допомогою гідравлічного приводу. Загальна вага ЗЩ становить 3 000 кілограмів. Обидві ЗМ також оснащені засобами акустичного (гучномовні пристрої, пристрої подання спеціальних звукових сигналів) та світлового (прилади освітлювання, стробоскопи) впливу на правопорушників, а ЗМ «Bozena Riot», окрім іншого, й системами відеофіксації дій учасників масового заходу та розпилення речовин сльозогінної та дратівної дії [5; 7].

Основні габаритні характеристики ЗМ «Bozena Riot New» та ЗЩ обох моделей наведено на рис. 2.

ЗМ «Забор-Барьер» (Республіка Білорусь). Уперше ЗМ «Забор-Барьер» (рис. 3) була представлена фахівцям на виставці «Людина і безпека – 2015», що проходила в столиці Республіки Білорусь, а широкій публіці – на параді, присвяченому 100-річчю білоруської міліції, який проходив у березні 2017 року [4].

Саме цей зразок є класичним представником ЗМ. Машина призначена для перекриття ділянок місцевості й захисту СОП від впливу різних твердих і важких предметів за 0-м класом захисту. Крім ЗЩ, виробником не передбачено обладнання ЗМ будь-яким додатковим устаткуванням.

Загороджувальний щит ЗМ, розробником якого є білоруська фірма «Автомобільні конструкції»

Рис. 3. ЗМ «Забор-Барьер» [4]

Рис. 4. ЗМ «Рубеж» [4]

(торгова марка «АКТАВІА»), змонтований на базі автомобіля Ford Ranger. У транспортному положенні ЗЩ є звичайним каркасом із труб прямокутного перетину, зверху на якому закріплюються розкладні секції сітчастого загородження [4].

У бойове положення ЗМ переводиться вручну силами двох співробітників СОП. Час розгортання ЗМ у бойове положення становить 2 хвилини. Ширина ЗЩ – 5 метрів, висота – 3 метри [4; 8].

Розробник передбачив у конструкції ЗЩ майданчик другого ярусу, на якому можуть розміщуватися представники СОП для більш зручного ведення спостереження за діями правопорушників і проведення фото- та відеофіксації їх дій.

Наявність сітчастого ЗЩ дає можливість ЗМ досить швидко переміщуватися і маневрувати в умовах міської забудови, навіть у бойовому положенні [4].

ЗМ «Рубеж» (Республіка Білорусь). ЗМ «Рубеж» (рис. 4) вперше була показана на виставці Milex-2019, вона є загороджувально-штурмовим комплексом, який дозволяє не лише проводити блокування окремих ділянок місцевості та забезпечує фронтальний захист СОП від впливу різних твердих і важких предметів за 0-м класом захисту, а також надає можливість за допомогою складного трапу долати перешкоди, проникати під час проведення різноманітних спеціальних операцій через вікна в автобуси, залізничні вагони, споруди на рівні 2–3-го поверху [9].

ЗЩ і штурмовий трап ЗМ, що є складаними, розробником яких є ВАТ «Агат – Електромеханічний завод», змонтовані на базі автомобіля Ford Explorer. Але устаткування не прив'язане до якоїсь однієї моделі автомобіля, а може встановлюватися на будь-яку відповідну за розмірами машину [4].

Загороджувальний щит ЗМ – це звичайний каркас із труб прямокутного перетину, зверху на якому закріплюються розкладні секції комбінованого загородження, що складається з листів металу зі вставками із сітки. Наявність у ЗЩ сітчастих вставок дозволяє співробітникам СОП вести спостереження за діями учасників масового

заходу. У конструкції ЗЩ передбачено можливість установлення в його нижній частині еластичних регульованих штор [4].

Розробник ЗМ «Рубеж» передбачив у конструкції ЗЩ майданчик другого ярусу, на якому можуть розміщуватися до трьох представників СОП для ведення захищеного спостереження за діями учасників масових заходів, застосування СЗ тощо. Також ЗМ може оснащуватися системою фото- і відеофіксації, засобами акустичного та світлового впливу на правопорушників [9; 10].

Основні ТТХ загороджувальної машини: ширина ЗЩ – 6 метрів, висота ЗЩ – 3 метри, максимальне навантаження на ЗЩ – 1 000 кілограмів, час розгортання ЗЩ у бойове положення – 30 секунд, вага ЗЩ – близько 500 кілограмів, максимальна висота штурмового трапу – 8 метрів, час розгортання штурмового трапу в бойове положення – 15 секунд [9; 10].

За твердженнями виробника застосування ЗМ «Рубеж» дозволить замінити «роботу» 24 співробітників СОП [9; 10].

ЗМ «Стена» (Російська Федерація). Уперше ЗМ «Стена» (рис. 5), розробником якої є концерн «Калашников», була продемонстрована широкій публіці на Міжнародному військово-технічному форумі «Армія» у 2018 році. Проте слід зазначити, що ця ЗМ є подальшою модифікацією ЗМ «Щит», яка вперше була представлена у 2017 році на тому ж форумі [11].

ЗМ «Щит» (рис. 6) є загороджувально-водометною системою, базою для якої є вантажний автомобіль «КАМАЗ». За результатами дослідної експлуатації ЗМ було виявлено низку суттєвих недоліків, а саме: значний час переведення ЗМ із похідного положення в бойове (близько 7 хвилин), встановлений водомет виявився надто травматичним, недостатньо жорстка конструкція ЗЩ [11].

Отже, ЗМ «Стена» не є класичним представником цього класу спеціальних машин. Цей зразок є цілим комплексом, на який установлено не лише ЗЩ, а й інше додаткове устаткування, а саме: засоби акустичного і світлового впливу на правопорушників, засоби фото- і відеофіксації дій учасників масових заходів, автономну система пожежогасіння, V-подібний відвал для спеціальної техніки, що забезпечує проведення розгородження штучних завалів [11].

Базою для комплексу є також вантажний автомобіль «КАМАЗ», кабіна якого додатково обшита листами металу, а скло захищено металевими ґратами. Салон ЗМ оснащений декількома рідкокристалічними екранами, на які виводиться сигнал із відеокамер, що забезпечує екіпажу ЗМ круговий огляд, а також дозволяє маневрувати в міських умовах [11].

Рис. 5. ЗМ «Стена» [11]

Рис. 6. ЗМ «Щит» [11]

ЗЩ складається з п'яти секцій, у кожній із яких є отвори для спостереження СОП за діями правопорушників, а у разі необхідності й ведення вогню по них зі штатної зброї. Управління ЗЩ здійснюється за допомогою системи гідравлічних приводів. Ширина ЗЩ дорівнює 7,5 м, висота – 3 м. Час переведення ЗМ із похідного положення у бойове – 3,5 хвилини [11].

ЗМ «DMB-X2 Riot Control» (Турецька Республіка). ЗМ «DMB-X2 Riot Control» (рис. 7) – броньована машина на базі дистанційно керованого будівельного навантажувача [12].

Основа ЗЩ металева з комбінованим загородженням, що складається з листів металу зі вставками з куленепробивного скла та гумової стрічки (висотою 45 сантиметрів), яка закріплена у нижній частині загородження. Щит оснащений шістьма бійницями для ведення вогню СОП по правопорушникам. Загальна вага ЗЩ дорівнює 1 550 кг, висота ЗЩ – 3,75 м, ширина ЗЩ – 8 м. Управління ЗЩ здійснюється за допомогою гідравлічного приводу [12].

За необхідності ЗЩ може бути піднятий на висоту до 2,5 метрів від поверхні землі, що дозволяє СОП вільно вийти за межі загородження. У конструкції ЗЩ передбачений майданчик другого ярусу, на якому можуть розміщуватися представники СОП для ведення захищеного спостереження за діями учасників масових заходів [12].

Як стверджує компанія-виробник, за ЗЩ можуть укритися до 36 повністю екіпірованих співробітників СОП [12].

Крім ЗЩ, загороджувальну машину оснащено системою відеофіксації дій учасників масового заходу, засобами акустичного та світлового впливу на правопорушників, системою розпилення речовин сльозогінної та дратівної дії. Також на ЗМ може встановлюватися система для відстрілу засобів, які споряджені безпечними димоутворювальними препаратами [12].

ЗМ «Police Barrier Vehicle for Riot Control» (Республіка Корея). ЗМ «Police Barrier Vehicle for Riot Control» (рис. 8) – загороджувально-водометна система [6].

Каркас ЗЩ виготовляється з металу, на якому закріплюються листи полікарбонату. Прозора конструкція ЗЩ дає можливість ЗМ достатньо швидко переміщуватися і маневрувати в умовах міської забудови навіть у бойовому положенні. Управління ЗЩ здійснюється за допомогою гідравлічного приводу [6].

Основні ТТХ щита: ширина – близько 9 м, висота – близько 4,25 м, час переведення ЗМ з похідного положення у бойове – 3 хв. [6].

Рис. 7. ЗМ «DMB-X2 Riot Control» [12]

Рис. 8. ЗМ «Police Barrier Vehicle for Riot Control» [6]

Таблиця 1

Порівняльна таблиця основного устаткування і ТТХ загороджувальних машин [4–12]

ТТХ	ЗМ						
	«Bozena Riot»	«Bozena Riot New»	«Рубеж»	«Забор-Барьер»	«Стена»	«DMB-X2 Riot Control»	«Police Barrier Vehicle for Riot Control»
Ширина ЗЩ, м	7,5		6	5	7,5	8	9
Висота ЗЩ, м	3,685		3	3	3	3,75	4,25
Вага ЗЩ, т	3		0,5	н/д[1]		1,55	н/д[1]
Матеріал оздоблювання ЗЩ	к[2] (м[3]/с[4])			с[4]	м[3]	к[2] (м[3]/кс[5])	п[6]
Майданчик другого ярусу на ЗЩ	+	+	+	+	-	+	-
Отвори (бійниці) у ЗЩ	+	+	-	-	+	+	-
Час переведення ЗМ із похідного положення у бойове, хвилин	н/д[1]		0,5	2	3,5	н/д[1]	3
Додаткове устаткування							
Система фото, відеофіксації	+	-	+	-	+	+	+
Засоби акустичного впливу	+	+	+	-	+	+	-
Засоби світлового впливу	+	+	+	-	+	+	-
Водомет	-	+	-	-	-	-	+
Автономна система пожежогасіння	-	-	-	-	+	-	+
V-подібний відвал для спеціальної техніки	+	+	-	-	+	-	-
Штурмовий трап	-	-	+	-	-	-	-
Система розпилення речовин сльозогінної (дратівної) дії	+	-	-	-	-	+	-
Система для відстрілу засобів, які споряджені безпечними димоутворювальними препаратами	-	-	-	-	-	+	-

[1] н/д – немає даних; [2] к – комбіноване; [3] м – металеві листи; [4] с – металева сітка; [5] кс – куленепробивне скло; [6] п – листи полікарбонату

Крім ЗЩ і водомета, ЗМ обладнано системою відеофіксації дій учасників масового заходу (відеокамеру встановлено на розсувній штанзі, що може підійматися на висоту до 5 м від поверхні землі) та автономною системою пожежогасіння [6].

У табл. 1 наведено основне устаткування і ТТХ вищерозглянутих зразків ЗМ.

Висновки. Сучасні ЗМ є складними багатофункціональними комплексами, які можуть оснащуватися не лише ЗЩ, а й іншим додатковим устаткуванням, наприклад: водометами, системами акустичного та світлового впливу на правопорушників тощо. Установлення на ЗМ додаткового устаткування значно розширює їх функціональні можливості та робить їх універсальними і більш адаптованими до сучасних тенденцій масових протестів.

Напрямом подальшого дослідження може бути оцінювання впливу устаткування і ТТХ сучасних ЗМ на тактику дій СОП під час виконання завдань у визначених умовах.

Список літератури:

1. Про Національну поліцію : Закон України від 2 липня 2015 року № 580-VIII / Верховна Рада України. URL: http:// https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/580-19#Text (дата звернення: 22.12.2020).

2. Про Національну гвардію України : Закон від 13 березня 2014 року № 876-VII / Верховна Рада України. URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/876-18 (дата звернення: 22.12.2020).

3. Про затвердження переліку та Правил застосування спеціальних засобів військовослужбовцями Національної гвардії під час виконання службових завдань : пстанова від 20 грудня 2017 р. N 1024 / Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2017-п#Text (дата звернення: 22.12.2020).

4. «Рубеж», «Забор-Барьер» и их «коллеги». Изучаем спецавтотехнику заграждения МВД РБ и стран мира. URL: https://auto.onliner.by/2020/09/09/ belarussian-riot-control-units (дата звернення: 23.12.2020).

5. Police Protection Unit. URL: https://www.bozena.eu/portfolio/police-protection-unit/ (дата звернення: 23.12.2020).

6. Police Barrier Vehicle for Riot Control. URL: http://www.okcrich.com/contents.php?contents=p_road (дата звернення: 23.12.2020).

7. Ultimate Riot Control Vehicle For Police – Bozena. URL: https://www.youtube.com/watch?v=E8MK4fNqpkc (дата звернення: 23.12.2020).

8. Спецавтомобили МВД – белорусский рецепт. URL: https:// www.autocentre.ua/kommercheskie/obzor-kommercheskie/spetsavtomobili-mvd-belorusskij-retsept-360165.html (дата звернення: 23.12.2020).

9. «Рубеж». URL: https://belautoprom-g2n.jimdofree.com/%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D1%82-%D1%8D%D0%BC%D0%B7/%D1%80%D1%83%D0% B1%D0%B5%D0%B6/ (дата звернення: 23.12.2020).

10. Специальный автомобиль с устройством заградительного типа «Рубеж». URL: https://agat-emz.by/files/cat-spec-ru.pdf (дата звернення: 23.12.2020).

11. «Калашников» поставит Росгвардии «Стены» для защиты от «агрессивной толпы». URL: https://rus.delfi.lv/news/daily/abroad/kalashnikov-postavit-rosgvardii-steny-dlya-zaschity-ot-agressivnoj-tolpy.d?id=50411775&all= true (дата звернення: 24.12.2020).

12. Riot Control Shield. URL: http://www.katmerciler.com.tr/L/EN/mid/343/g/343/c/31/id/55/Riot-Control-Shield. htm (дата звернення: 24.12.2020).

Yevsieiev V.O., Butko R.V., Honcharov Ye.I. SPECIAL-PURPOSE VEHICLES OF FOREIGN LAW ENFORCEMENT FORCES: RIOT CONTROL VEHICLES

The article emphasizes that mass events involving a large number of people who are dissatisfied with the performance results of public authorities often turn into group violations of public order by the participants of these events, and their resistance to law enforcement sometimes takes severe forms. To restore public order in the event of mass riots, law enforcement forces apply preventive and coercive measures, including the use of special means, including special-purpose and riot control vehicles. It is stated that the use of riot control vehicles by the security forces of foreign states allowed them to effectively perform the tasks. The effectiveness of riot control vehicles is to fulfill the tasks by law enforcement agencies with the involvement of less forces, reduce the likelihood of direct physical contact of law enforcement officers with participants of riots and, consequently, reduce the number of sanitary losses among law enforcement forces. It is determined that despite the lack of this special vehicles in law enforcement forces of Ukraine, currently domestic experts do not pay enough attention to the study of equipment, tactical and technical specifications of modern riot control vehicles which are being used by law enforcement forces of foreign countries to perform tasks in certain conditions. The article analyzes the features of the equipment, tactical and technical specifications of modern riot control vehicles. The results of the analysis allow us to state that modern riot control vehicles are complex multifunctional complexes that can be equipped not only with barricade boards, but also with other additional equipment. This, in turn, significantly expands the functionality of these vehicles, and makes them truly universal and more adapted to current trends of mass protests.

Key words: *law enforcement forces, protection of public order, public safety, mass event, mass riots, special-purpose vehicle, riot control vehicle.*

УДК 623.1
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/15

Єманов В.В.
Національна академія Національної гвардії України

Гармаш В.П.
Національна академія Національної гвардії України

Споришев К.О.
Національна академія Національної гвардії України

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГУ ВИХОДУ З ЛАДУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІДРОЗДІЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

У статті проведено моделювання процесів прогнозування обсягу виходу озброєння та військової техніки з ладу через експлуатаційні несправності. Визначено обсяг виходу військової техніки підрозділів Національної гвардії України з ладу та проведено її розподіл за трудомісткістю. При цьому величина трудовитрат на ремонт буде залежати від типів і марок озброєння і військової техніки, умов їх експлуатації, видів бойових ушкоджень. Велика кількість і типаж озброєння і військової техніки, обмежені виробничі можливості органів обслуговування техніки Національної гвардії України можуть призводити до нерівномірного завантаження цього органу і, як наслідок, до невиконання плану обслуговування. Формування плану обслуговування озброєння і військової техніки має відбуватися так, щоб трудомісткість цих робіт була оптимальною щодо потужності органів обслуговування в кожний планований період. В умовах прискореного ремонту під час ведення бойових дій обсяг ремонтно-евакуаційного фонду буде залежати від можливостей ремонтно-відновлювального органу. Модель прогнозування обсягу виходу техніки бригади оперативного призначення з ладу від експлуатаційних несправностей включає: оцінку режиму експлуатації та визначення витрат ресурсу; прогнозування кількості поточних ремонтів озброєння та військової техніки j-ї марки; прогнозування загальної кількості поточних ремонтів озброєння та військової техніки; прогнозування кількості середніх ремонтів озброєння та військової техніки j-ї марки; прогнозування загальної кількості середніх ремонтів озброєння та військової техніки; прогнозування кількості капітальних ремонтів озброєння та військової техніки j-ї марки; прогнозування загальної кількості капітальних ремонтів озброєння та військової техніки; прогнозування кількості озброєння та військової техніки j-ї марки, які підлягають списанню; прогнозування загальної кількості озброєння та військової техніки, які підлягають списанню; прогнозування загальної кількості несправного озброєння та військової техніки; прогнозування трудомісткості поточних ремонтів озброєння та військової техніки; прогнозування трудомісткості середніх ремонтів озброєння та військової техніки.

Ключові слова: *відновлення, ремонт, озброєння і військова техніка, трудомісткість.*

Постановка проблеми. Велика кількість і типаж озброєння і військової техніки (далі – ОВТ), обмежені виробничі можливості органів обслуговування можуть призводити до нерівномірного завантаження цього органу і, як наслідок, до невиконання плану обслуговування. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є оптимізація плану обслуговування, що, як правило, припускає мінімізацію середньої вартості обслуговування в одиницю часу з метою рівномірного використання наявних ресурсів (наприклад трудомісткості в одиницях часу). Тому необхідно формувати плани обслуговування ОВТ таким чином, щоб трудомісткість цих робіт була оптимальною щодо потужності органів обслуговування в кожний планований період.

Зростання інтенсивності спеціальних операцій (бойових дій), використання нових форм та способів збройної боротьби, застосування високоточних та потужних засобів ураження призводять до різкого зростання обсягів техніки, що вимагає відновлення справного (працездатного) стану, вимог до оперативності та обґрунтованості ухвалення рішень щодо її відновлення, їх своєчасного доведення до виконавців, необхідності налагодження дієвого контролю за їх виконанням. Це

призводить до необхідності переробляти обсяги інформації, що зростають, ухвалювати рішення за умов обмеженого часу та значної її невизначеності, негативного впливу противника на повноту та якість отримуваної інформації, створення перешкод у каналах передавання інформації, несанкціонованого втручання в роботу систем управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потреба у відновленні пошкодженого ОВТ залежить від обсягу їх імовірних втрат, розподілу цих втрат за ступенем ушкоджень, можливостей ремонтно-відновлювального органу (далі – РВО) з їх відновлення. Водночас удосконалення процесу відновлення ОВТ може здійснюватися тільки на основі достовірних даних про потребу у відновленні в кожній ланці [1–3].

Натепер є метод виведення нормативів із відновлення ОВТ [4], сутність якого полягає в такому:

– визначається вихід ОВТ із ладу і виробничі можливості РВО;

– береться середня трудомісткість поточного ремонту (далі – ТР) і середнього ремонту (далі – СР) і ОВТ;

– обчислюються можливості з ремонту ОВТ на місцях виходу їх із ладу і у відповідних РВО;

– ОВТ, невідновлювані на місцях виходу з ладу й у відповідних РВО, що підлягають евакуації.

Такий підхід до визначення нормативів, як показали дослідження [4], є наближеним і не відповідає дійсному стану ОВТ, що підлягають відновленню. Ця невідповідність викликана завищеною середньої трудомісткістю ремонту ОВТ та заниженою виробничої можливістю РВО. Так, як норматив під час поточного ремонту військової автомобільної техніки (далі – ВАТ) в бригаді трудомісткість одного умовного ремонту становить 25 люд./год., а бронетанкового озброєння і техніки (далі – БРОТ) – 35 люд./год.

Але під час вирішення конкретних питань організації відновлення ОВТ доводиться мати справу не з умовним, а з реальним ремонтом, що вимагає певних трудовитрат. Це спричиняє необхідність застосування моделі, заснованій на прогнозуванні якісного складу поточних і середніх ремонтів із певними величинами трудовитрат і кількісним розподілом їх у загальній сукупності ремонтів за ланками відновлення.

Постановка завдання. Створення моделі прогнозування обсягу виходу ОВТ із ладу і розподіл її за трудомісткістю в кожній ланці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Величина трудовитрат на ремонт буде залежати від типів і марок ОВТ, умов їх використання, видів експлуатаційних і бойових ушкоджень. В умовах прискореного ремонту пошкоджених ОВТ під час ведення бойових дій обсяг ремонтно-евакуаційного фонду буде залежати від можливостей РВО із їх відновлення. Тому для виведення показників потреби в евакуації необхідно знати обсяги відновлених ОВТ у кожній ланці відновлення.

Можливий розподіл ОВТ, яка вийшла з ладу, за видами ремонту в цій роботі проводиться на основі прогнозування кількості ОВТ, що вийшли з ладу через експлуатаційні причини і бойові ушкодження. Для розрахунку виходу ОВТ з ладу через експлуатаційні причини проводиться розрахунок витрати моторесурсів, потім визначається кількість ОВТ, що вийшли з ладу, за видами ремонту та в безповоротні втрати. Структурно-логічну схему моделі прогнозування обсягу виходу ОВТ з ладу через експлуатаційні несправності (розрахунок за моторесурсом) наведено на рис. 1.

Добову витрату моторесурсів на одну облікову одиницю ОВТ може бути визначено за виразом:

$$B_{се} = R_{бз} \cdot L_{м}, \qquad (1)$$

де $R_{бз}$ – глибина бойового завдання (темп просування), км; $L_{м}$ – коефіцієнт маневру.

Прогнозування витрат моторесурсів на весь обліковий склад ОВТ j-ї марки $B_{бр}$ визначається за виразом:

$$B_{бр} = \sum_{j=1}^{n} N_{сj} \cdot B_{сеj} \cdot D, \qquad (2)$$

де $N_{сj}$ – облікова кількість ОВТ j-ї марки; D – тривалість бойових дій, діб.

Кількість ОВТ j-ї марки, які вийшли з ладу в ТР ($Q_{трej}$) від експлуатації, доцільно визначати залежно від трудовитрат на умовний поточний ремонт:

$$Q_{тре\,j} = \sum_{j=1}^{n} \frac{B_{бр\,j}}{A_{тре\,j}}, \qquad (3)$$

де $B_{брj}$ – витрата моторесурсу ОВТ j-ї марки за весь період експлуатації; $A_{трej}$ – амортизаційний пробіг (наробіток) ОВТ j-ї марки до ТР.

Загальна кількість ОВТ, що вийшли з ладу в ТР від експлуатаційних несправностей $Q_{тре}$, визначається за виразом:

$$Q_{тре} = \sum_{j=1}^{n} Q_{тре\,j} \qquad (4)$$

Дослідженнями встановлено, що розподіл трудомісткості ТР, що вийшли з ладу від експлуатаційних несправностей, залежно від трудовитрат збігається з показовим законом розподілу [5–7]:

$$Q_{тре(y,y+m)} = \sum_{j=1}^{n} f\left(t_{тре}\right) \cdot W_{не} \qquad (5)$$

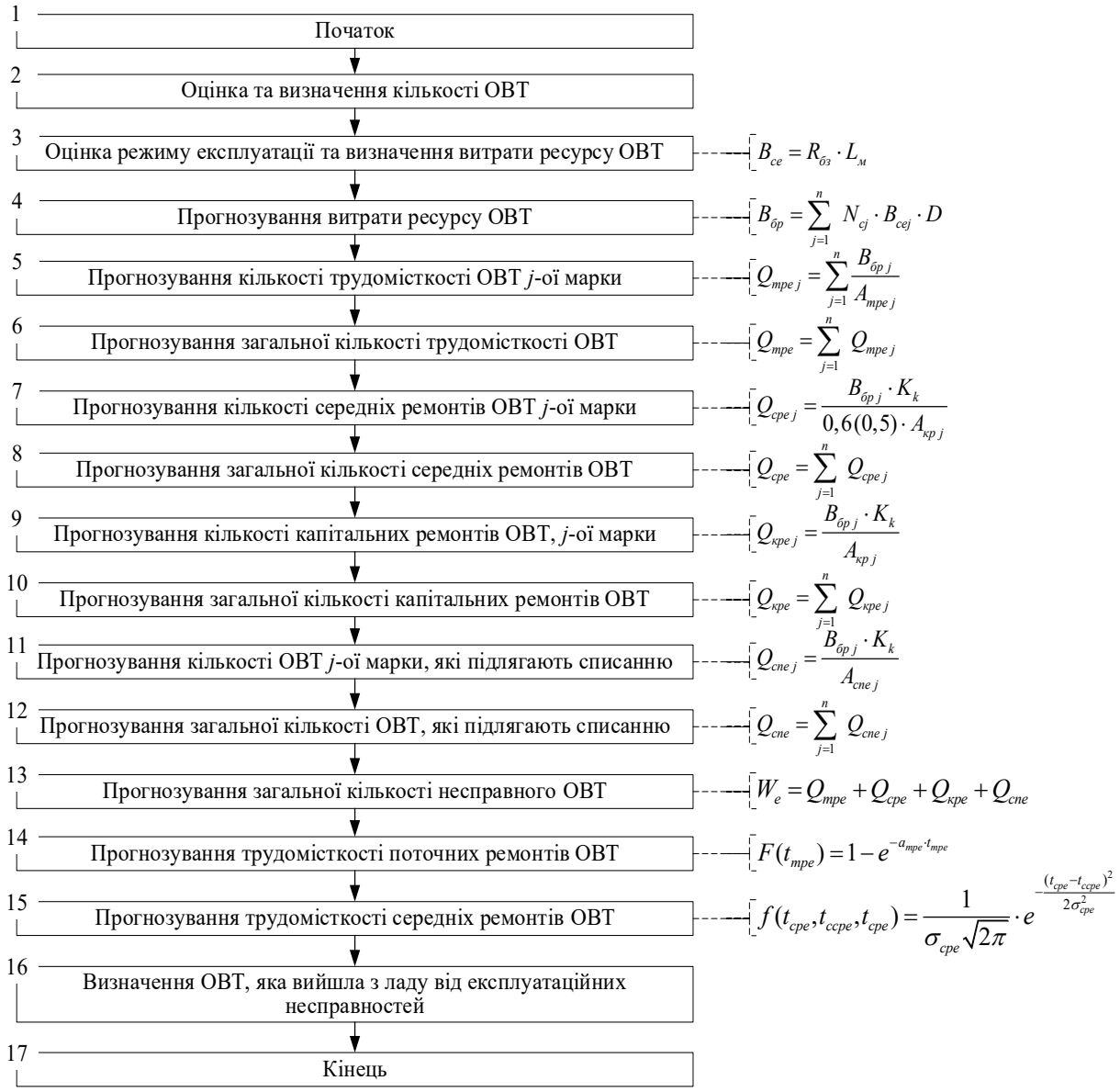


Рис. 1. Структурно-логічна схема моделі прогнозування обсягу виходу ОВТ з ладу від експлуатаційних несправностей (розрахунок за моторесурсом)

де $Q_{тре\ (y,\ y+m)}$ – кількість ТР із трудовитратами від y до $y+m$; $t_{тре}$ – відношення кількості ТР в заданому інтервалі, люд./год.; $W_{не}$ – загальна кількість несправних ОВТ (від експлуатації).

Тоді функція щільності розподілу випадкової величини [8] (трудомісткості) ТР ОВТ матиме вигляд:

$$f(t_{тре}) = \begin{cases} a_{тре} \cdot e^{-a_{тре} \cdot t_{тре}} & t_{тре} \geq 0 \\ 0 & t = 0 \end{cases} \qquad (6)$$

де $a_{тре}$ – величина зворотна середнім значенням трудовитрат на ТР ОВТ.

Визначається так:

$$a_{тре} = \frac{1}{t_{стре}}, \qquad (7)$$

де $t_{стре}$ – середня трудомісткість ТР ОВТ, люд./год.

Імовірність розподілу трудомісткості ТР ОВТ від експлуатації буде мати вигляд:

$$F(t_{тре}) = 1 - e^{-a_{тре} \cdot t_{тре}}, \qquad (8)$$

Аналіз розрахунків розподілу трудомісткості ТР в загальній сукупності показав, що за середньої трудомісткості ТР ОВТ 25 люд./год. та максимальної 70 люд./год. до 50% ОВТ вимагатимуть ТР в обсязі від 5 до 20 люд./год., при цьому близько 20% будуть ОВТ із трудомісткістю 20–30 люд./год. та 25% ОВТ з трудомісткістю понад 30 люд./год.

Результати розподілу ТР з трудомісткості використовуються для планування відновлення ОВТ.

Для визначення виходу ОВТ у СР береться умова, що за міжремонтний пробіг до капітального ремонту (далі – КР) проводиться один СР за умов пробігу 60% норми пробігу до КР для нових та 50% для ОВТ, які пройшли його.

Виходячи з цієї умови, кількість СР однієї одиниці ОВТ *j*-ї марки від експлуатації ($Q_{срej}$) визначається так:

$$Q_{сре\,j} = \frac{B_{бр\,j} \cdot K_k}{0,6 \cdot A_{спе\,j}}$$

або

$$Q_{сре\,j} = \frac{B_{бр\,j} \cdot K_k}{0,5 \cdot A_{кр\,j}}, \qquad (9)$$

де $K_к$ – коефіцієнт коригування; $A_{крj}$ – норма пробігу ОВТ *j*-ї марки до КР, км.

Значення коефіцієнта коригування визначається так:

$$K_к = K_{ду} \cdot K_{пку} \cdot K_т, \qquad (10)$$

де $K_{ду}$ – коефіцієнт, що характеризує дорожні умови експлуатації та враховує рельєф місцевості, дорожнє покриття, умови руху, його значення перебувають у межах від 0,6 до 1,0; $K_{пку}$ – коефіцієнт, що враховує природно-кліматичні умови, його значення перебувають у межах від 0,7 до 1,0; $K_к$ – коефіцієнт, що враховує тип ОВТ і характер їх використання (інтенсивність), його значення перебувають у межах від 0,7 до 1,0; $K_к$ – коефіцієнт, що враховує тип ОВТ і характер їх використання (інтенсивність, навантаженість), його значення перебувають у межах від 0,6 до 1 [8].

Тоді загальна кількість ОВТ, що вийшли в СР від експлуатації ($Q_{сре}$), дорівнюватиме

$$Q_{сре} = \sum_{j=1}^{n} Q_{сре\,j} \qquad (11)$$

Для конкретної постановки завдання РВО з метою якнайповнішої реалізації їх виробничих можливостей важливо знати розподіл СР ОВТ за трудомісткістю. Аналіз досліджень [6–8] установив, що щільність розподілу трудомісткості середнього ремонту $f(t_{сре}, t_{ссре}, \sigma_{сре})$ може бути визначена згідно з нормальним законом розподілу випадкових величин:

$$f(t_{сре}, t_{ссре}, t_{сре}) = \frac{1}{\sigma_{сре}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_{сре}-t_{ссре})^2}{2\sigma_{сре}^2}} \qquad (12)$$

де $t_{сре}$ – випадкове значення трудомісткості СР, чол/год; $t_{ссре}$ – середнє значення трудомісткості СР, люд./год.; $\sigma_{сре}$ – середньоквадратичне відхилення трудомісткості СР, люд./год.

Розподіл трудовитрат на СР ОВТ в цьому разі нерівномірний.

За тривалістю ремонту обсяг ОВТ, що вимагають СР, розподілений за законом Релея [8], функція якого представлена залежністю

$$f(t_{срц}) = 2\lambda_{ср}^2 \cdot t_{срц} \cdot e^{-\lambda_{ср}^2 \cdot t_{срц}^2}, \qquad (13)$$

де $t_{срц}$ – математичне сподівання випадкової величини тривалості виробничого циклу СР ОВТ, год.; $\lambda_{ср}$ – інтенсивність СР ОВТ, од./год.

У результаті проведених досліджень установлено нормальний закон розподілу трудомісткості СР ОВТ із математичним очікуванням 85 люд./год. та середньоквадратичним відхиленням. При цьому трудовитрати на СР не перевищують 150 люд./год.

Вихід ОВТ у КР визначається на основі того, що за термін служби зразок ОВТ може піддаватися двом середнім і одному капітальному ремонтах, виключаючи поточні. У цьому разі кількість КР однієї одиниці ОВТ *j*-ї марки від експлуатації визначаємо так:

$$Q_{кре\,j} = \frac{B_{бр\,j} \cdot K_k}{A_{кр\,j}}, \qquad (14)$$

Далі визначається загальне число ОВТ, що вийшли в КР від експлуатації, яке дорівнюватиме

$$Q_{кре} = \sum_{j=1}^{n} Q_{кре\,j}. \qquad (15)$$

Для завершення розрахунків визначається кількість ОВТ *j*-ї марки, які підлягають списанню. Вони визначаються виходячи з ресурсів, визначених для кожного типу ОВТ:

$$Q_{спе\,j} = \frac{B_{бр\,j} \cdot K_k}{A_{спе\,j}}. \qquad (16)$$

Кількість ОВТ, що підлягають списанню, визначається за залежністю:

$$Q_{спе} = \sum_{j=1}^{n} Q_{спе\,j}. \qquad (17)$$

Загалом, за бригаду оперативного призначення загальна кількість несправних ОВТ, що вийшли з ладу від експлуатаційних причин, буде визначатися як сума несправних ОВТ за видами ремонту та списання:

$$W_{не} = Q_{тре} + Q_{сре} + Q_{кре} + Q_{спе} \qquad (18)$$

Висновки. Виходячи з розробленої структурно-логічної схеми моделі прогнозування обсягу виходу ОВТ бригади оперативного призначення з ладу від експлуатаційних несправностей, можна дійти висновку, що вона повинна включати: оцінку режиму експлуатації та визначення витрат ресурсу ОВТ ($B_{се}$); прогнозування кількості поточних ремонтів ОВТ j-ї марки ($Q_{трej}$); прогнозування загальної кількості поточних ремонтів ОВТ ($Q_{тре}$); прогнозування кількості середніх ремонтів

ОВТ ОВТ j-ї марки ($Q_{срej}$); прогнозування загальної кількості середніх ремонтів ОВТ ($Q_{сре}$); прогнозування кількості капітальних ремонтів ОВТ j-ї марки ($Q_{крej}$); прогнозування загальної кількості капітальних ремонтів ОВТ ($Q_{кре}$); прогнозування кількості ОВТ j-ї марки, які підлягають списанню ($Q_{спej}$); прогнозування загальної кількості ОВТ, які підлягають списанню ($Q_{спе}$); прогнозування загальної кількості несправного ОВТ (W_e); прогнозування трудомісткості поточних ремонтів ОВТ $F(t_{тре})$; прогнозування трудомісткості середніх ремонтів ОВТ $f(t_{сре}, t_{ссре}, \sigma_{сре})$.

Список літератури:

1. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники. Москва : Граница, 2015. 304 с.

2. Еличев К.А., Пинт Э.М., Козицын В.С. Состояние и перспективы развития автомобильной техники. *Молодой ученый*. 2015. № 4. С. 166–169.

3. Дем'янчук О.Б., Верпівський С.М., Меленчук В.М. Основи автотехнічного забезпечення. Моделювання процесів : навчальний посібник. Одеса : Військова академія, 2015. 330 с.

4. Теория механизмов и машин : науч. изд. / под ред. К.В. Фролова. Москва, 1987. 277 с.

5. Сухарєв Е.О. Експлуатація надійності машин. Рівне : НУВГП, 2006. 190 с.

6. Клімов С.В. Теорія експлуатаційної надійності машин в задачах та прикладах : навчальний посібник. Рівне : НУГП, 2008. 142 с.

7. Штейнвольф Л.И. Динамические расчеты машин и механизмов : науч. изд. Москва : Машгиз, 1961. 340 с.

8. Бубнов Н.А., Лазарев С.В., Трифонов Г.И., Янин А.Н. Имитационное моделирование процессов восстановления вооружения и военной техники. *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 12-1. С. 20–24. URL: http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37256 (дата обращения: 12.12.2020).

Emanov V.V., Garmash V.P., Sporyshev K.O. MODEL OF FORECASTING THE SIZE OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT UNITS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE

The article simulates the processes of forecasting the volume of failure of weapons and military equipment due to operational malfunctions. The volume of failure of military equipment of the National Guard of Ukraine was determined and its distribution by labor intensity was carried out. The amount of labor costs for repairs will depend on the types and brands of weapons and military equipment, the conditions of their operation, the types of combat damage. A large number and type of weapons and military equipment, limited production capacity of the maintenance service of the National Guard of Ukraine may lead to uneven loading of this body and, as a result, failure to implement the service plan. The formation of a plan for the maintenance of armaments and military equipment is necessary in such a way that the complexity of these works is optimal in terms of the capacity of the service bodies in each planned period. In conditions of accelerated repairs during hostilities, the volume of the repair and evacuation fund will depend on the capabilities of the repair and restoration body. The model of forecasting the volume of failure of the equipment of the operational brigade from operational malfunctions includes: assessment of the mode of operation and determination of resource costs; forecasting the number of current repairs of weapons and military equipment of the j-th brand; forecasting the total number of current repairs of weapons and military equipment; forecasting the number of medium repairs of weapons and military equipment of the j-th brand; forecasting the total number of medium repairs of armaments and military equipment; forecasting the number of major repairs of weapons and military equipment of the j-th brand; forecasting the total number of major repairs of weapons and military equipment; forecasting the total number of major repairs of weapons and military equipment; forecasting the number of weapons and military equipment of the j-th brand, which are subject to write-off; forecasting the total number of weapons and military equipment to be written off; forecasting the total number of defective weapons and military equipment; forecasting the complexity of current repairs of weapons and military equipment; forecasting the complexity of medium repairs of weapons and military equipment.

Key words: *restoration, repair, armament and military equipment, labor intensity.*

УДК 629.123,629.064.5
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/16

Завальнюк О.П.
Херсонська державна морська академія

Растьогіна Г.І.
Херсонська державна морська академія

Завальнюк І.П.
Херсонська державна морська академія

Нестеренко В.Б.
Херсонська державна морська академія

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СУДЕН ЯК СКЛАДНИК ФОРМУВАННЯ СФЕРИ КОМПЕТЕНЦІЇ СУДНОВОГО ОФІЦЕРА-ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

У статті висвітлено питання формування сфери компетенції майбутнього суднового електромеханіка. Доведено важливість систематичної актуалізації освітніх програм підготовки морських фахівців. Визначено три функції, які має виконувати судновий офіцер-електротехнік після опанування відповідної освітньої програми. Детально розглянуто класичний навчальний курс «Суднові автоматизовані електроенергетичні системи», який має першорядне значення в освітньо-професійній підготовці бакалаврів із відповідної спеціалізації. Акцентовано увагу на вміннях і навичках студентів вільно виконувати аналіз систем електропостачання судна. Це дозволяє студентам поглибити знання з основ побудови систем управління судновими електроенергетичними системами, якісно їх використовувати, обслуговувати та ремонтувати у подальшій професійній діяльності. Розроблено оптимальну стратегію аналізу систем електропостачання морських суден, яка є зрозумілою і доступною для студентів вищих морських навчальних закладів у процесі формування сфери компетентності майбутнього офіцера-електротехніка. Ця стратегія базується як на класичних методах, так і бере до уваги сучасний технічний розвиток електроенергетичних систем морських суден. Алгоритм містить дев'ять складників і відповідає сучасним вимогам і рекомендаціям Міжнародної морської організації. Студентові пропонується застосовувати цю стратегію з обов'язковим використанням суднової технічної документації досліджуваного судна, яку він може отримати під час виробничої плавальної практики. Такий підхід дозволяє максимально наблизитися до реальних умов професійної діяльності на морському судні. Наведено стислий приклад аналізу системи електропостачання балкера «ANATOLIA» зі структурною схемою суднової електроенергетичної системи, у якому детально висвітлено склад і потужність генераторів основної й аварійної електростанцій досліджуваного судна. Наведено таблицю навантажень аварійного режиму балкера та послідовність її формування. Окреслено перспективні напрями досліджень авторського колективу відповідно до ідеї неперервного професійного розвитку морського фахівця.

Ключові слова: *судновий електромеханік, компетенція, освітня програма, навчальна дисципліна, система електропостачання судна.*

Постановка проблеми. Сучасний інтенсивний розвиток морської галузі у світі вимагає таких же швидких темпів систематичної актуалізації освітніх програм підготовки майбутніх морських спеціалістів. Компетентнісний підхід у навчальному процесі Херсонської державної морської академії є одним з ефективних інструментів, який сприяє цим процесам.

Офіцер-електротехнік – це фахівець, який згідно з вимогами Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти [1], здатний розв'язувати складні технічні завдання, пов'язані з експлуатацією систем електропостачання морських суден, а також виконувати три основні функції: 1) електрообладнання, електронна апаратура і системи керування на рівні експлуатації; 2) технічне обслуговування та ремонт на рівні експлуатації; 3) управління операціями судна та піклування про людей на судні на рівні експлуатації.

В освітній програмі підготовки суднового офіцера-електротехніка передбачено класичний навчальний курс «Суднові автоматизовані електроенергетичні системи», який має першорядне значення в освітньо-професійній підготовці бакалаврів з експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики. Абсолютна більшість сучасних морських суден обладнані автоматизованими судновими електростанціями, тому ефективна їх експлуатація не є можливою без глибоких знань дисципліни, які закладають основи побудови систем управління судновими електростанціями, їх технічного використання, обслуговування та ремонту.

Загальною оцінкою підготовки майбутнього суднового електромеханіка є «компетентність» [2–3], яку здобувач вищої освіти має продемонструвати після вивчення, зокрема зазначеної вище навчальної дисципліни. Спеціальними компетентностями, які опановують на курсі «Суднові автоматизовані електроенергетичні системи», є [4]:

– спостереження за експлуатацією електричних та електронних систем, а також систем управління (електричні розподільні щити та електрообладнання; основні параметри, процеси і вплив на навколишнє середовище; електричні пристрої для розподілу електроенергії; кабелі; інші морські електричні пристрої);

– експлуатація генераторів та розподільних систем (переведення та розподіл навантаження і переключення генераторів; переведення і розподіл електроенергії між панелями керування та розподільними щитами).

Беручи до уваги цей перелік спеціальних компетентностей суднового офіцера-електротехніка, суттєвим для викладача спеціального морського навчального закладу є питання наповнення дисципліни актуальними теоретичними і практичними матеріалами таким чином, щоб курс носив здебільшого прикладний характер, відповідав світовим тенденціям розвитку торгового флоту, а також ідеї неперервного професійного розвитку морського фахівця, а саме «Continuing Professional Development (CPD)» [5–6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підготовка бакалаврів із галузі знань 27 Транспорт, спеціальності 271 Річковий та морський транспорт, спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» з дисципліни «Суднові автоматизовані електроенергетичні системи» тісно пов'язана з аналізом систем електропостачання суден, застосовуваними для цього методами, розрахунками тощо.

Метою виконання такого аналізу є систематизація знань, умінь, навичок стосовно структури, обладнання та процесів, що відбуваються в судновій автоматизованій електростанції. Іншими словами, це готує студента до самостійної роботи, пов'язаної з експлуатацією систем електропостачання судна, до ухвалення оптимальних техніко-економічних рішень, які відповідають вимогам Класифікаційних товариств [7].

Питання проектування, методів розрахунку та аналізу суднових автоматизованих електроенергетичних систем висвітлювали у своїх працях ще у 70–90-х роках минулого століття такі вчені, як А.П. Баранов, В.С. Лєйкін, А.П. Мещанінов, В.В. Миронов, Л.І. Сєргієнко, Г.С. Яковлєв та інші [8–12]. В.Ю. Воскобович та Л.А. Льомін досліджували системи електропостачання морських суден уже у 2000-х роках [13–14]. Будову та експлуатацію суднових синхронних генераторів пізніше висвітлював у своїх роботах А.А. Толстов [15]. Наразі викладачами Херсонської державної морської академії Г.І. Растьогіною, М.М. Авраменком, А.А. Івановим разом із студентами проводяться тематичні дослідження на базі сучасної лабораторії суднового високовольтного обладнання.

Постановка завдання. Зважаючи на наявне різноманіття методів аналізу систем електропостачання суден, описів і розрахунків систем, виконаних сучасними конструкторськими бюро, часто недостатній рівень знань із фізики та математики, досить складно майбутньому судновому електромеханіку обрати один зручний і зрозумілий для дослідження суднової електроенергетичної системи метод із метою подальшої її успішної технічної експлуатації на практиці.

Ураховуючи вищесказане, метою статті є розроблення оптимальної стратегії аналізу систем електропостачання морських суден, яка б була зрозумілою і доступною для студентів вищих морських навчальних закладів у процесі формування сфери компетентності майбутнього офіцера-електротехніка. Ця стратегія має базуватися як на класичних методах, так і неодмінно враховувати сучасний технічний розвиток електроенергетичних систем морських суден.

Виклад основного матеріалу дослідження. На підставі аналізу роботи суднових електроенергетичних систем необхідно сформувати у студента загальні поняття: про роботу судна як єдиного комплексу, складником якого є суднова електроенергетична система; про значення суднової електроенергетичної системи в енергетичному

комплексі судна; про загальні принципи будови сучасних систем електропостачання.

Майбутні морські фахівці також мають уміти таке: читати та складати різні типи електричних схем; ухвалювати рішення щодо налагодження та регулювання систем автоматичного управління судновими електроенергетичними системами; забезпечувати якісне технічне обслуговування автоматизованих електроенергетичних установок; своєчасно та доцільно вживати заходів щодо усунення можливих відмов технічних засобів.

Відповідно до вищенаведеного переліку знань та вмінь студентів та враховуючи багаторічний досвід викладання курсу «Суднові автоматизовані електроенергетичні системи», авторами статті пропонується така стратегія аналізу систем електропостачання морських суден:

1) збір загальних відомостей про електрообладнання досліджуваного судна;

2) дослідження складу і потужності генераторів основної й аварійної електростанцій судна;

3) опис та розгляд основної електростанції судна;

4) вивчення принципу дії системи збудження й автоматичного регулювання напруги синхронних генераторів;

5) обґрунтування вибору акумуляторних батарей;

6) визначення параметрів генераторних автоматів, кабелю та шинопроводів;

7) перевірка електрообладнання електроенергетичної установки на працездатність в умовах короткого замикання;

8) перевірка можливості прямого пуску потужного асинхронного електродвигуна;

9) аналіз головного розподільного щита та приладів електровимірювань досліджуваного судна.

Треба зазначити, що цей алгоритм студентові пропонується застосовувати з обов'язковим використанням суднової технічної документації досліджуваного судна. Зазвичай указані матеріали студент збирає під час виробничої плавальної практики. Такий підхід дозволяє максимально наблизитися до реальних умов професійної діяльності: працювати з робочими схемами, діаграмами, використовувати певні розрахунки і довідкові дані, виконані конструкторською фірмою-розробником. Далі наводиться стислий приклад аналізу системи електропостачання балкера «ANATOLIA».

Склад і потужність генераторів основної й аварійної електростанцій судна. Навантаження генераторів суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) залежить від режиму роботи, району плавання, швидкості судна, стану поверхні моря, інших чинників, що мають випадковий характер. Відповідно до Правил класу [7], визначення складу і потужності генераторів основного джерела електричної енергії має проводитися з урахуванням таких режимів роботи судна: ходового; маневрів; аварійного – під час пожежі, пробоїни тощо; інших режимів відповідно до призначення судна (стоянка з вантажними операціями і без вантажних операцій для транспортних суден тощо).

Розглядаються експлуатаційні режими, в яких результативне навантаження генераторів очікується мінімальним, максимальним і проміжним між ними. Натепер для визначення електричних навантажень генераторів СЕЕС застосовують такі методи: аналітичний постійних навантажень; аналітичний змінних навантажень; статистичного моделювання на ЕОМ; кореляційних залежностей. Перші три методи засновано на складанні табличної моделі (таблиці навантажень), що відбиває в табличній формі зміну навантаження окремих приймачів електроенергії, підключених до СЕЕС, в різних режимах експлуатації суден і плавзасобів.

Кореляційними залежностями є рівняння і графіки, отримувані в результаті оброблення статистичного матеріалу за прототипами суден методами математичної статистики. Розрахунок потужності основних приймачів електроенергії виконується кореляційним методом.

Аналіз величини навантаження генераторів основної електростанції та аналіз обрання генераторних агрегатів. Метод кореляційних залежностей базується на наявності кореляційних залежностей сумарної встановленої потужності генераторів ($P_Г$) СЕЕС від потужності головних двигунів (N) або повної водотоннажності (B) для кожного типу судна [8–9]. Ці кореляційні залежності зазвичай представлені у вигляді рівнянь і графіків.

Наразі використовується рівняння залежності сумарної потужності генераторів від потужності головних двигунів. Для балкера з вертикальним завантаженням це рівняння має такий вигляд:

$$P_Г = \frac{200 \cdot N}{\left(1 + 0{,}08 \cdot N\right)}, \qquad (1)$$

де $P_Г$ – сумарна встановлена потужність генераторів суднової електростанції, кВт; N – потужність головного двигуна, тис. к.с.

Методом кореляційних залежностей [8] визначається навантаження генераторів у таких режимах роботи судна: стоянка, стоянка із заванта-

женням, ходовий, маневри, аварійний ходовий. Кореляційні залежності й розрахунок активної споживаної потужності P, кВт в різних режимах від встановленої потужності генераторів $P_Г$ суднової електростанції наведено в таблиці 1.

На підставі виконаних розрахунків потужності СЕС за режимами роботи судна аналізується доцільність установлених дизель-генераторних агрегатів. Підбір складу генераторних агрегатів виконано з урахуванням забезпечення навантаження генераторів за активною потужністю в тривалих експлуатаційних режимах у межах 60–90% від номінальної, в короткочасних – не нижче 50%. Це дозволить зменшити витрату пального і знизити собівартість електроенергії, що виробляється.

Значення сумарної встановленої потужності генераторів вибирається з урахуванням резерву потужності на модернізацію судна в процесі його експлуатації. Резерв потужності рекомендується приймати 20%. Під час вибору генераторів необхідно враховувати такі вимоги Правил класу [7]:

– на кожному судні повинно бути встановлено не менше двох основних джерел електроенергії, причому одним із них може бути валогенератор;

– потужність генераторів повинна бути такою, щоб під час виходу з ладу будь-якого з них ті, що залишилися, забезпечили живлення відповідальних приймачів електроенергії в режимах: ходовому, аварійному, маневрах.

На суднах, стоянка яких без вантажних та інших робочих операцій неминуча в місцях, де не є можливим отримання електроенергії з берега, а завантаження будь-якого генераторного агрегату при цьому нижче мінімально допустимого значення, рекомендується встановлювати один або два генераторні агрегати стоянок. Бажано використовувати генераторні агрегати одного типу. Кількість генераторів СЕЕС здебільшого складає 2–4, при цьому один із них резервний. Під час компонування основних електростанцій СЕЕС дизель-генераторами найбільш переважним є варіант їх рівної потужності.

Таким чином, комплектація суднової електростанції балкера «ANATOLIA» є доцільною – два основні дизель-генератори потужністю 480 кВт кожен і один резервний дизель-генераторний агрегат потужністю 480 кВт.

Результати аналізу обраних генераторних агрегатів представлено в таблиці 2. У таблицю 2 заноситься також коефіцієнт завантаження генераторів $k_{ЗГ}$, який визначається за виразом

$$k_{ЗГ} = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} P_{НГi}}, \qquad (2)$$

де P – фактично споживана активна потужність у режимі, кВт; $\sum_{i=1}^{n} P_{НГi}$ – сума номінальних потужностей генераторів, що працюють у цьому експлуатаційному режимі, кВт.

Таблиця 1

Кореляційні залежності й розрахунок споживаної активної потужності в різних експлуатаційних режимах роботи судна

Найменування параметра	Режими роботи судна				
	Стоянка без завантаження	Стоянка з завантаженням	Маневри	Ходовий режим	Аварійний ходовий режим
Кореляційна залежність	$P=0,3\ P_Г$	$P=0,5\ P_Г$	$P=0,5\ P_Г$	$P=0,5\ P_Г$	$P=0,4\ P_Г$
Потужність, споживана в режимі, кВт	371	619	619	619	495

Таблиця 2

Кількість і потужність генераторів у різних режимах роботи судна

Найменування параметра	Режими роботи судна				
	Стоянка без завантаження	Стоянка з завантаженням	Маневри	Ходовий режим	Аварійний ходовий режим
Потужність, споживана в режимі, кВт	371	619	619	619	495
Кількість і потужність генераторів, що працюють у режимі, кВт	1 х 480	2 х 480	2 х 480	2 х 480	2 х 480
Коефіцієнт завантаження генераторів у режимі	0,77	0,64	0,64	0,64	0,52

Як аварійне джерело на суднах застосовують дизель-генератори або акумуляторні батареї. На самохідних суднах водотоннажністю 300 т і більше встановлюють аварійні генератори з автоматичним уведенням їх у роботу під час зникнення напруги на шинах головного розподільного щита. Аварійний дизель-генератор (далі – АДГ) установлюють для живлення приймачів, що убезпечують людей і судно. До таких приймачів належать такі: аварійне освітлення, системи керування СЕЕС і головною енергетичною установкою, системи сигналізації, радіонавігаційне обладнання, рульовий електропривод, аварійний пожежний насос тощо. Нижче складено таблицю 3 навантажень аварійного режиму з роботою АДГ (машинне відділення не працює).

Визначення номінальної споживаної потужності $P_{н.п.}$ приймача, значення якої указується в графі 4 таблиці 3, визначається виразом

$$P_{н.п.} = \frac{P_{н.у.}}{\eta}, \qquad (3)$$

де $P_{н.у.}$ – номінальна встановлена потужність (на валу) приймача відповідно до графи 3; η – ККД приймача відповідно до паспортних даних на електродвигуни, якщо навантаження рухове.

У графі 5 указується режим роботи. БР – безперервний режим роботи. У графі 6 указується коефіцієнт завантаження приймачів у режимі $k_з$. У графі 8 указується кількість приймачів, які працюють, *m,* шт. У графі 9 указується повна активна потужність *P*, кВт, яка розраховується за формулою

$$P = Pн.п.\cdot kз\cdot m, \qquad (4)$$

Значення споживаної реактивної потужності *Q*, кВАр, вказаній у графі 10 визначається виразом

$$Q = Ptg\phi, \qquad (5)$$

де *tg*φ – визначається за значенням коефіцієнта потужності з графи 7.

Після заповнення всіх рядків і граф табличної моделі складається підсумкова таблиця, під час заповнення якої береться коефіцієнт одночасності $к_о$ роботи всіх приймачів рівним 1, а коефіцієнт втрат $к_п$ = 1,03, при цьому реактивними втратами в кабелях нехтують, зважаючи на їх мале значення. За активною споживаною потужністю в режимі підтверджується доцільність вибору ава-

Таблиця 3

Таблиця навантажень аварійного режиму

Найменування приймача електроенергії	Кількість, n, шт.	Ном. встановлена потужність, кВт	Ном. споживана потужність, кВт	Параметри приймача в аварійному режимі					
				Режим роботи	Коефіцієнт завантаження Кз	Коефіцієнт потужності cos	Кіл-ть приймачів, які працюють, m, шт.	Споживана активна потужність, P, кВт	Споживана реактивна потужність, Q, кВАр
Радіообладнання	1	3,0	3,0	БР	0,8	0,7	1	2,4	2,4
Електро-навігаційні прилади	1	5,0	5,0	БР	0,8	0,7	1	4,0	4,1
Засоби зв'язку	1	11,0	11,0	БР	0,8	0,8	1	8,8	6,6
Рульовий пристрій	2	25,0	29,4	БР	0,5	0,7	1	14,7	15,0
Аварійний пожежний насос	1	37,0	41,1	БР	0,9	0,9	1	37,0	17,9
Насос баластно-осушний	2	17,0	20,0	БР	0,9	0,85	1	18,0	11,2
Освітлення	–	30,0	30,0	БР	1,0	1,0	0,2	6,0	0
Прожектори	1	1,0	1,0	БР	1,0	1,0	1	1,0	0
Підсумкова таблиця									
Сумарна потужність приймачів				–	–	–	–	91,9	57,2
Сумарна потужність приймачів з урахуванням коефіцієнта одночасності				–	$к_0$ = 1,0	–	–	91,9	57,2
Сумарна потужність приймачів з урахуванням коефіцієнта втрат				–	$к_п$= 1,03	–	–	94,6	57,2
Повна розрахункова потужність, кВА				–	–	–	–	110,5 кВА	
Середньозважений cos φ				–	–	0,84	–	–	–
Кількість і потужність АГ				–	–	–	–	1·110 кВт	

рійного дизель-генератора номінальною потужністю 110 кВт. Параметри генераторів основної й аварійної електростанцій навалювального судна «ANATOLIA» заносять у таблицю 4.

На судні береться рід струму змінний, частотою 60 Гц напругою 440 В. Система розподілу електроенергії на балкері «ANATOLIA» для силових приймачів електроенергії трифазна, трипровідна із глухо ізольованою нейтраллю.

Опис основної електростанції балкера «ANATOLIA». На структурній схемі СЕЕС відображаються основні функціональні частини електроенергетичних систем та їх взаємозв'язок (рис. 1).

Структурна схема СЕЕС балкера «ANATOLIA» обрана проектувальником із типових. Структурна схема суднової електростанції виконана з однією системою збірних шин. За допомогою вимикачів є можливість розділити головний розподільний щит на секції і здійснити огляд апаратури тих або інших генераторів і відповідних споживачів електроенергії.

Структурна схема СЕЕС передбачає [12; 15]: паралельну роботу всіх генераторів, установлених на електростанції; роздільну роботу окремих генераторів, кожен із яких підключається до окремої секції збірних шин; захист генераторів і ліній електропередачі від ненормальних режимів роботи; прийом живлення з берега або від інших суден; систему керування під час переходу від одного режиму до іншого; виконання періодичних оглядів і ремонтів головного розподільного щита електростанції при знятій напрузі; можливість виготовлення головного розподільного щита за секціями.

Як аварійні перехідні джерела електроенергії на досліджуваному судні передбачено кислотні акумуляторні батареї типу ML 12-100 в кількості 4 шт., сполучені по дві батареї послідовно у дві групи (основна і резервна).

Далі під час аналізу електропостачання судна обґрунтовується вибір генераторних автоматів, кабелів і шин. Автоматичні вимикачі перевіряють на динамічну стійкість. Виконується розрахунок провалу напруги в мережі під час прямого пуску електродвигуна баластного насоса. Наявні на судні автоматичні вимикачі типу Masterpact NT10 під дією ударного струму КЗ не руйнуватимуться. Установлюється, що під час прямого пуску електродвигуна баластного насоса виникає неприпустимо великий провал напруги, тому рекомендований пуск за допомогою пристрою плавного пуску.

Висновки. Отримані результати виконаного авторами дослідження доводять важливість виконання аналізу систем електропостачання морських суден під час формування сфери компетенції суднового офіцера-електротехніка. Ґрунтуючись на особистому досвіді підготовки морських фахівців, розроблено оптимальну

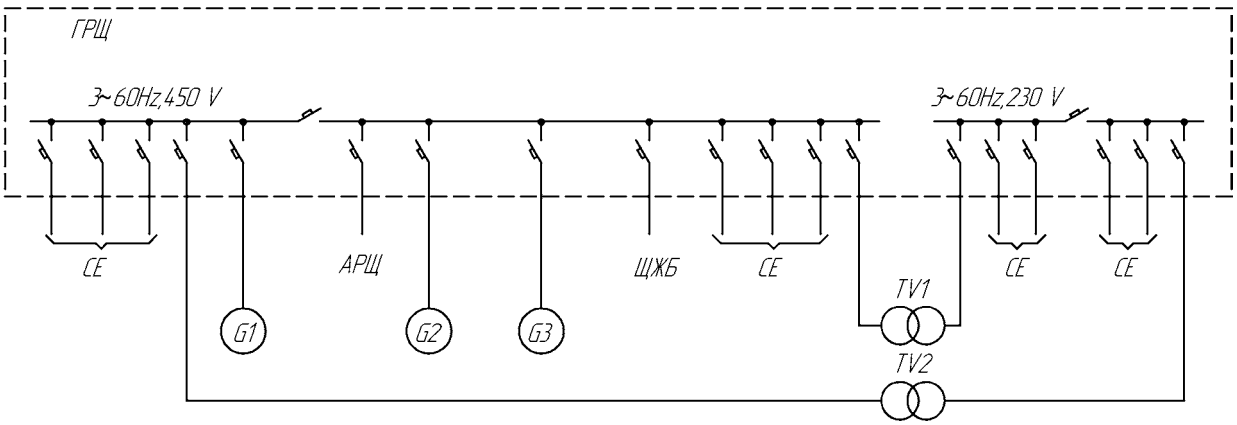


Рис. 1. Структурна схема СЕЕС навалювального судна «ANATOLIA»: СЕ – споживач енергії, ЩЖБ – щит живлення з берегу

Таблиця 4

Комплектація суднової електростанції балкера «ANATOLIA»

№	Призначення генераторів	Потужність кВт	Тип	К-ть	Напруга
1	Основний	480	Drip-proof Self ventilation type	2	450 В
2	Резервний	480		1	450 В
3	Аварійний	110		1	450 В

стратегію аналізу, яка містить дев'ять складників і відповідає сучасним міжнародним вимогам [1; 4]. Представлено стислий приклад аналізу системи електропостачання балкера «ANATOLIA». Уважається, що, застосовуючи запропонований підхід, студенти можуть з упевненістю застосовувати отримані теоретичні знання у власній майбутній професійній діяльності.

Застосування дистанційної та комбінованої підготовки суднових офіцерів-електротехніків із використанням тренажера машинного відділення Wartsila ERS 5000 TechSim у складі лабораторно-тренажерної бази Херсонської державної морської академії, а також Digital Cloud Simulation Technologies є перспективними напрямами досліджень авторського колективу.

Список літератури:

1. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers / IMO. London: Ashford Press, 2011. 450 p.
2. Про вищу освіту : Закон України від 1 липня 2014 р. № 1556-VII / Верховна Рада України. URL: http://zakon.rada.gov.ua (дата звернення: 19.01.2021).
3. Casey, K., & Sturgis, C. Levers and Logic Models: A Framework to Guide Research and Design of High-Quality Competency-Based Education Systems (Competency Works Report). Vienna: iNACOL. (ERIC Document Reproduction Service No. ED590519), 2018. 55 p.
4. Model Course 7.08 Electro-Technical Officer / IMO. London: Ashford Press, 2014. 190 p.
5. Continuing Professional Development (CPD). London, 2019. URL: http://www.nautinst.org (дата звернення: 19.01.2021).
6. Zavalniuk, O., Nesterenko, V., & Zavalniuk, I. Engaging maritime students in lifelong learning as teacher's prime mission [Abstract]. Proceedings of the Informing Science and Information Technology Education Conference, Jerusalem, Israel, Santa Rosa, CA: Informing Science Institute. https://doi.org/10.28945/4245, 2019. pp. 449-452.
7. IACS produces recommendations and guidelines. London, 2021. URL: http://www.iacs.org.uk/publications/recommendations/ (дата звернення: 19.01.2021).
8. Яковлев Г.С. Судовые электроэнергетические системы. Ленинград : Судостроение, 1980. 387 с.
9. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. Москва : Транспорт, 1988. 238 с.
10. Лейкин В.С. Судовые электрические станции и сети. Москва : Транспорт, 1991. 256 с.
11. Мещанинов А.П. Автоматизация судовых электроэнергетических систем. Ленинград : Судостроение, 1970. 367 с.
12. Сергиенко Л.И., Миронов В.В. Электроэнергетические системы морских судов. Москва : Транспорт, 1991. 264 с.
13. Воскобович В.Ю. и др. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств. Санкт-Петербург : Элмор, 2001. 384 с.
14. Лемин Л.А. и др. Эксплуатация судовых систем электроснабжения. Санкт-Петербург : «Элмор», 2006. 185 с.
15. Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов. Одесса, 2006. 150 с.

Zavalniuk O.P., Rastogina G.I., Zavalniuk I.P., Nesterenko V.B. THE SHIP POWER SUPPLY SYSTEMS' ANALYSIS AS A COMPONENT OF THE SPHERE ELECTRO-TECHNICAL OFFICER'S COMPETENCE FORMATION

The research highlights the sphere of the future ship's electrician's competence formation. The significance of educational programs systematic updating for training marine specialists has been proved. Three functions have been defined which must be carried out by a ship's electrician after mastering the relevant educational program. The classic training course "Ship Automated Power Systems" has been considered in detail having paramount importance in the educational and professional training of bachelors in a particular specialization. Attention has been focused on the skills and abilities of students to freely carry out the analysis of ship power supply systems. This allows students to deepen their knowledge of the basics of building control systems for ship power systems, their quality operate, maintenance and repair in own future professional activities. The optimal strategy for the analysis of marine power supply systems has been developed, which is clear and accessible to students of higher maritime educational institutions in the process of forming the sphere of the future electro-technical officer's competence. This strategy is based on both classical methods and takes into account the modern technical development of ship power systems. The algorithm contains nine components and meets modern requirements and recommendations of the International Maritime Organization. The

student is asked to apply this strategy with the obligatory use of the ship's technical documentation, which he can obtain during the shipboard practice. This approach allows student to get as close as possible to the real conditions of professional activity on a seagoing vessel. A brief example of the power supply system's analysis of the bulk carrier "ANATOLIA" with the structural scheme of the ship's power system has been given, in which the composition and capacity of the generators of the main and emergency power plants of the studied vessel have been covered in detail. The loads' table of an emergency mode of the bulk carrier and sequence of its formation has been given. Perspective directions of author's team researches according to the idea of continuous professional development of the marine specialist have been outlined.

Key words: *ship electrician, competence, educational program, discipline, ship's power supply system.*

УДК 519.876.3:656.073
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/17

Кисельов В.Б.
Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Прокудін Г.С.
Національний транспортний університет

Поліщук В.П.
Національний транспортний університет

Чупайленко О.А.
Національний транспортний університет

ОРГАНІЗАЦІЯ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Транспортна система України є частиною єдиної європейської транспортної системи, але потрібна ще велика робота із приведення національної транспортної системи у відповідність із міжнародними стандартами. Під час здійснення вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги перевезених вантажів від постачальників перевищують можливості складських приміщень споживачів. У цьому випадку виникає необхідність використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу, потребується вирішення багатоетапної транспортної задачі. Також часто матриця транспортних кореспонденцій між постачальниками, споживачами і проміжними пунктами не задається в явному вигляді, а просто вводиться картосхема їх розміщення, тобто транспортне завдання задається за допомогою транспортної мережі. Такі ситуації потребують наукових досліджень для вирішення проблем незбалансованих вантажних перевезень і створення прогресивних транспортних технологій, які дозволять підвищити ефективність роботи транспортної системи з використанням сучасних інформаційних технологій.

У роботі досліджено процеси здійснення незбалансованих вантажних перевезень і розроблені методи, які дозволяють розробити оптимальні плани вантажних перевезень. Розроблено програмно-інструментальний комплекс, який включає переведення мережевого виду схеми перевезення вантажів до табличного виду, що дозволяє ефективно вирішити багатоетапну транспортну задачу з використанням сучасних інформаційних технологій. За допомогою використання програмно-інструментального комплексу вирішується задача оптимальної організації незбалансованих перевезень вантажу в транспортних системах. Використання програмно-інструментального комплексу в реальних транспортних системах дає можливість менеджеру швидко вибрати найбільш ефективний варіант оптимізації вантажних перевезень на транспортних мережах, використовуючи розроблену комп'ютерну програму.

Ключові слова: *транспортна задача, оптимізація, незбалансовані вантажні перевезення, програмно-інструментальний комплекс.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах господарювання в галузі транспортної системи держави важливим напрямом розвитку є об'єднання з європейською транспортною системою, відповідність міжнародним стандартам, узгодження національного законодавства у сфері транспортної галузі до міжнародного законодавства. Під час здійснення вантажних перевезень можуть бути випадки, коли обсяги поставок вантажу перевищують можливості складів споживачів. У цьому випадку виникає необхідність використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і необхідність вирішення багатоетапної транспортної задачі. Для вирішення цієї проблеми, тобто прискорення вирішення такої задачі, менеджерам потрібно використовувати спеціальні комп'ютерні програми, які дозволять швидко вирішити транспортну задачу для підвищення ефективності роботи транспортного підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Унаслідок зростання кількості ланцюгів постачання у транспортної мережи, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації

постійно змінюються схеми постачання вантажів на підприємства. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Використання сучасних інформаційних технологій посилює інтеграцію як окремих ланок ланцюгів постачання, так і ускладнення самої системи постачання. Такі зміни руху матеріальних потоків приводять до збільшення вантажообігу як у міжміських, так і в міжнародних перевезеннях на автомобільному транспорті.

Для зазначеного класу транспортних задач (ТЗ) розроблені досить досконалі методи їх розв'язання (Дейкстра, Канторович, Кожин, Бідняк, Воркут, Четверухін) [1, с. 47; 2, с. 308; 3, с. 236; 4, с. 144]. Але досить вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення ТЗ є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортної мережі (ТМ) з орієнтованими графами

У сучасних умовах набуває значення використання вантажних митних комплексів (ВМК) та терміналів, які дозволяють зберігати імпортні вантажі без сплати митних платежів, виплачуючи тільки орендну плату за зберігання. Такий варіант використання складських приміщень значно підвищує ефективність міжнародних перевезень. Технологія доставки вантажу із застосуванням ВМК як проміжних тимчасових пунктів його збереження при регулярних перевезеннях дозволить збільшити кількість автопоїздів автотранспортних підприємств (АТП) на маршрутах та підвищити ефективність їх використання [4, с. 56].

У міжнародних перевезеннях вантажів пунктом перевантаження може виступати ВМК, який знаходиться на українській стороні кордону. Транзитні можливості транспортної системи України дозволяють підвищити транскордонне співробітництво із країнами Європи та ускорюють процеси євроінтеграції. Наявність таких умов дозволяє підвищити ефективність співпраці автотранспортних підприємств (АТП) із термінальними і складськими комплексами і є дуже актуальною.

Виклад основного матеріалу. Вирішення багатоетапної транспортної задачі потребує поетапного транспортування вантажів у мережевому уявленні. При цьому розглядаються два варіанти, коли сумарні складські приміщення споживачів вантажу і проміжних пунктів більше, або рівні (перший), або менше (другий) обсягів вантажу, який пропонується для перевезення постачальниками вантажу.

Пропонується задача, в який є m пунктів постачання (ПП) однорідного вантажу $A_1, A_2, \dots A_m$, які мають обсяг вантажу в обсягах $a_1, a_2, \dots a_m$, і n пунктів його споживання (ПС) $B_1, B_2, \dots B_n$, які дають заявки на вантаж в обсягах $b_1, b_2, \dots b_n$. Задача незбалансована, тому загальні обсяги поставок вантажу перевищують загальні обсяги заявок на нього, а саме:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i > \sum_{j=1}^{n} b_j. \qquad (1)$$

Використовується l проміжних складських пунктів (СП) $C_1, C_2, \dots C_l$ для тимчасового зберігання надлишків вантажу, які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1, c_2, \dots c_l$. Розглядаються два різних варіанта співвідношень $\sum_{i=1}^{m} a_i, \sum_{j=1}^{n} b_j$ і $\sum_{k=1}^{l} c_k$ при обов'язковому виконанні умови (1):

1-й варіант:

$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k \geq \sum_{i=1}^{m} a_i, \qquad (2)$$

2-й варіант:

$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k < \sum_{i=1}^{m} a_i. \qquad (3)$$

Розглянемо найбільш цікавий із практичної точки зору 2-й варіант доставки вантажу (3) на конкретному прикладі, у якому схема перевезення вантажу представлена у вигляді дорожньо-транспортної мережі (ДТМ). На ДТМ вказуються: основні вантажоутворюючі і вантажопоглинаючі пункти; середній час руху між ними (рис. 1), а саме: ПП вантажу відмічені чорними кружками (Гайсин – А1, Одеса – А2), ПС вантажу – чорними квадратами (Черкаси – В1, Харків – В2, Запоріжжя – В3, Миколаїв – В4) та СП – чорними трикутниками (Кропивницький – С1, Дніпро – С2, Кривий Ріг – С3).

На ДТМ кількість ПП вантажу $m = 2$ (A_1, A_2), в яких $a_1 = 10$ одиниць вантажу (*о.в.*), $a_2 = 10$ *о.в.*; кількість ПС вантажу $n = 4$ (B_1, B_2, B_3, B_4), в яких $b_1 = 2$ *о.в.*, $b_2 = 2$ *о.в.*; $b_3 = 2$ *о.в.*, $b_4 = 2$ *о.в.*; кількість проміжних СП $l = 3$ (C_1, C_2, C_3), причому їх місткість буде складати: $c_1 = 1$ *о.в.*, $c_2 = 1$ *о.в.*, $c_3 = 1$ *о.в.* Також на ДТМ присутні 8 проміжних транзитних пунктів. Спрощена схема ДТМ представлена на рисунку 2.

Для ускорення вирішення задачі необхідно перевести мережеву схему доставки вантажів до табличного виду [5, с. 56]. Для вирішення задачі складаємо масив відстаней між сусідніми пунктами ДТМ, припускається ручне складання масиву. Потім автоматично (з використанням відповідної програми) за отриманим масивом відстаней будується матриця транспортних кореспонденцій між всіма пунктами ДТМ.

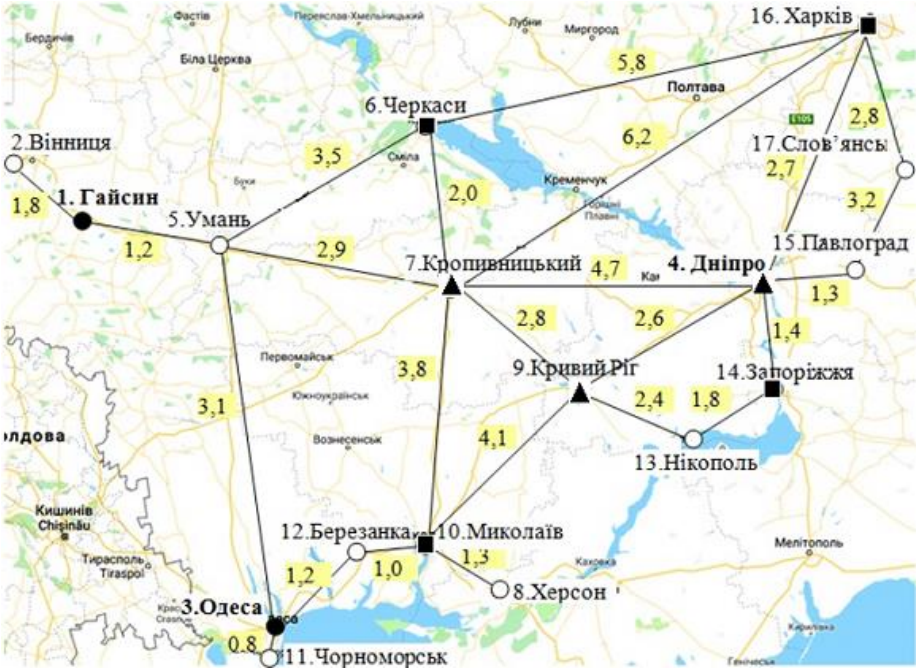


Рис. 1. Дорожньо-транспортна мережа

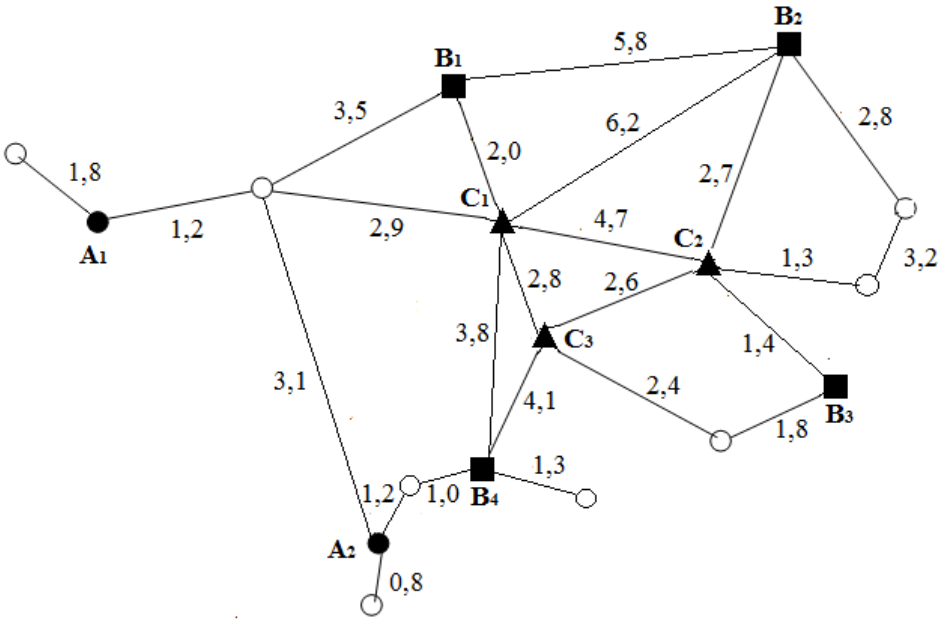


Рис. 2. Спрощена схема ДТМ

Використовуючи дані матриці транспортних кореспонденцій відповідно до методу найкоротших маршрутів [6, с. 53], можна розрахувати значення найкоротших відстаней на ДТМ від кожного ПП вантажу до кожного складського пункту (табл. 1), а також від кожного складського пункту до кожного ПС вантажу (табл. 2). Це дає можливість побудувати відповідні цим відстаням маршрути, які можуть містити проміжні пункти на шляхах транспортування вантажу (для прикладу наведені маршрути від ПП Гайсин до його чотирьох ПС):

Гайсин → Умань → Черкаси = 4.7;

Гайсин → Умань → Кропивницький → Харків = 10.3;

Гайсин → Умань → Кропивницький → Дніпро → Запоріжжя = 10.2;

Гайсин → Умань → Одеса → Березанка → Миколаїв = 6.5.

Таблиця 1

Відстані від ПП до ПС і СП

Пункти ПП\ПС	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв	Пункти ПП\СП	Кропив-ницький	Дніпро	Кривий Ріг
Гайсин	**4.7**	**10.3**	**10.2**	**6.5**	Гайсин	4.1	8.8	6.9
Одеса	6.6	11.6	10.3	2.2	Одеса	6	8.9	6.3

Таблиця 2

Відстані від СП до ПС

Пункти ПП\СП	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Кропивницький	2	6.2	6.1	3.8
Дніпро	6.7	2.7	1.4	6.7
Кривий Ріг	4.8	5.3	4	4.1

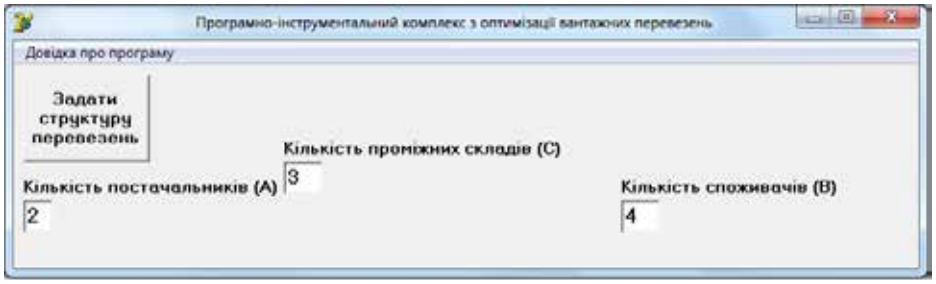


Рис. 3. Діалогове вікно 1-го кроку роботи ПК

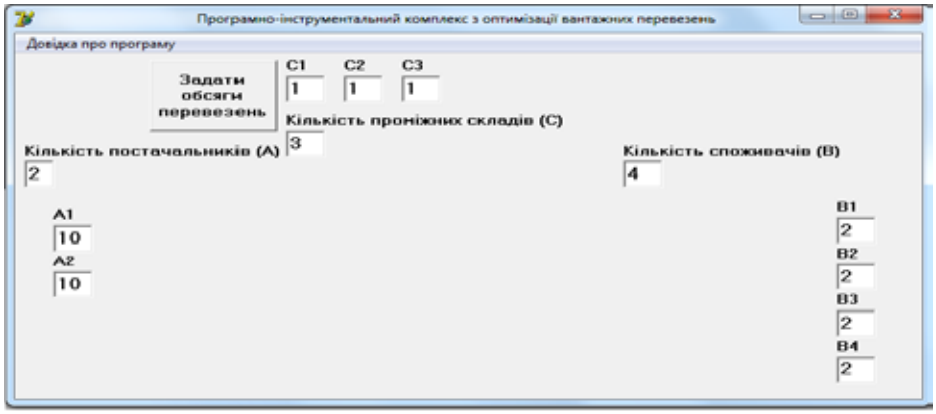


Рис. 4. Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПК

Для вирішення багатоетапної транспортної задачі для перевезення незбалансованих вантажів на ДТМ був розроблений програмний комплекс (ПК), який використовує алгоритмічну мову програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для забезпечення роботи з табличним процесором *Excel*.

Процес функціонування ПК включає 4 кроки, які представлені на рис. 3-6. На рис. 3 представлено діалогове вікно завдання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.

На рис. 4 представлено діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.

На рис. 5 представлено діалогове вікно введення матриці.

На рисунку 6 наведено діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому приведені результати розрахунку: на першому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 вартість його реалізації складає 54.9 *у.г.о.*; на другому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 вартість його реалізації складає 19.3 *у.г.о*; обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 – вартість його реалізації складає 7.4 *у.г.о.*; на третьому етапі обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 вартість

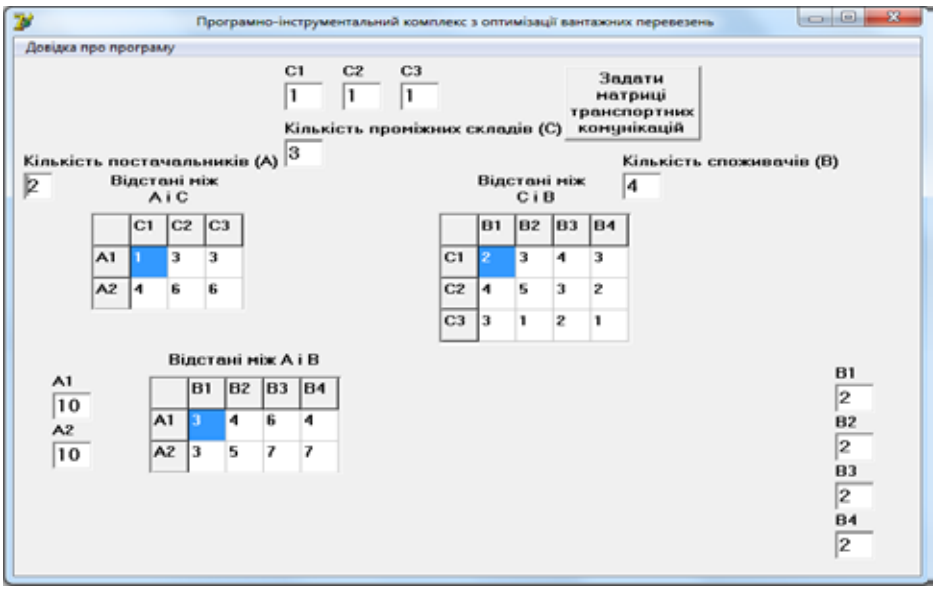


Рис. 4. Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПК

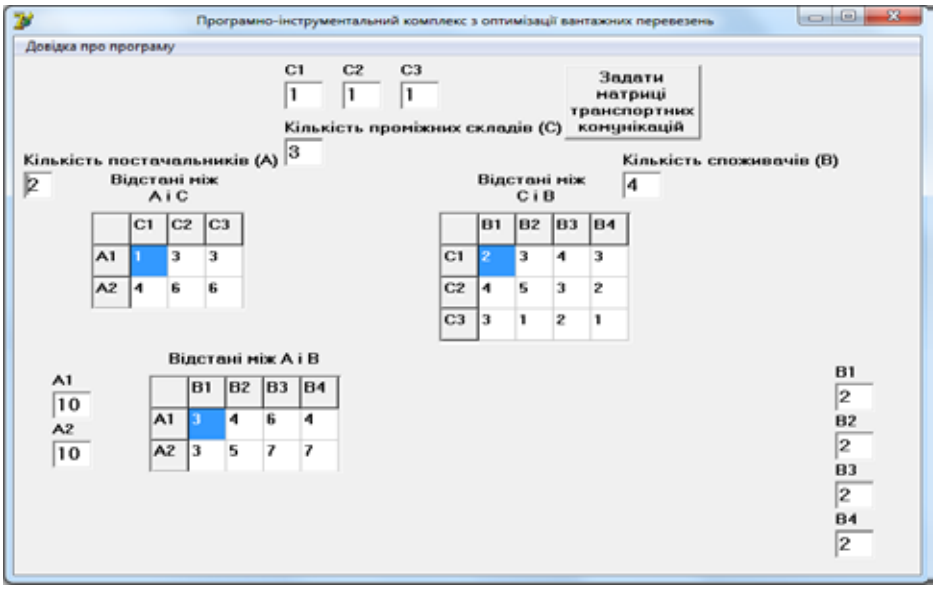


Рис. 5. Діалогове вікно 3-го кроку роботи ПК

його реалізації складає 55 *у.г.о.*; сумарна вартість (поточна) здійснення усіх трьох етапів доставки вантажу складає 136.6 *у.г.о.*

Після натискання клавіші ОК розв'язання БТЗ продовжується, і в результаті на рис. 7 представлено діалогове вікно з доставки вантажу по суті на *четвертому етапі*. На цьому рисунку (див. рис. 7) схематично представлені результати виконання цього останнього кроку роботи ПК, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_2 і ПС B_1 вартістю у 2.2 *у.г.о.* і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх чотирьох етапів доставки вантажу, яка складає 138.8 *у.г.о.*

Висновки. Для вирішення задачі організації незбалансованих вантажних перевезень було розроблено програмно-інструментальний комплекс, який включає етап переведення мережевого виду транспортної схеми до табличного вигляду і етап вирішення багатоетапної транспортної задачі з використанням сучасних інформаційних технологій. Програмно-інструментальний комплекс пройшов апробацію на автопідприємствах Асоціації міжнародних транспортних перевізників України. Комплекс показав свою ефективність при оптимізації вантажних перевезень – витрати на перевезення знизилися до 15% від попередніх витрат.

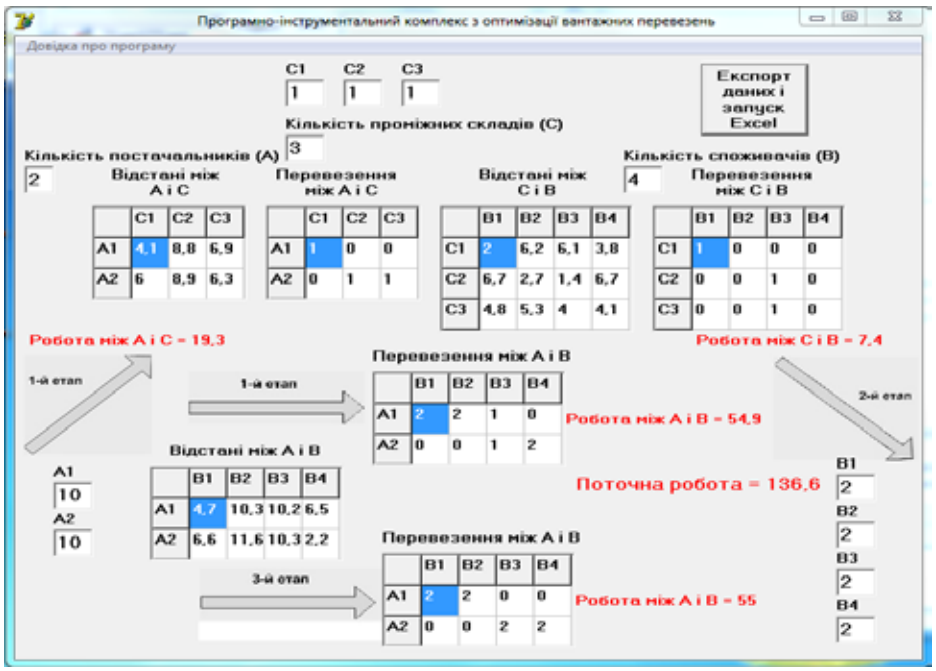


Рис. 6. Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК

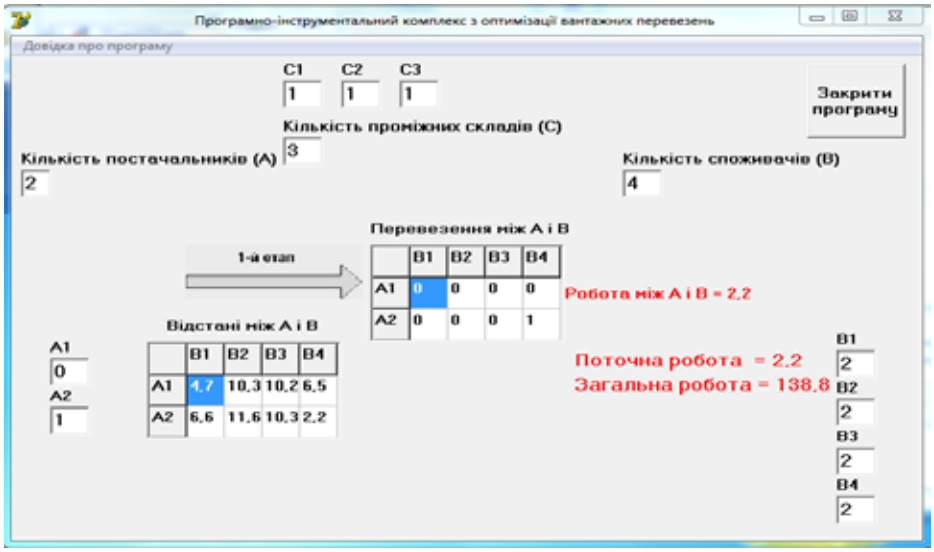


Рис. 7. Діалогове вікно 4-го етапу розв'язання БТЗ

Список літератури:

1. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. Київ : УТУ, 2000. 91 с.
2. Гудман С., Хидетниеми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. Москва : Мир, 1981. С. 309–320.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.
4. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ : НТУ, 2006. 224 с.
5. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. N. 6/3 (84). P. 54–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85211.
6. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. №. 2/3 (92). P. 51–59. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.128907.

Kyselov V.B., Prokudin G.S., Polishchuk V.P., Chupaylenko O.A. ORGANIZATION OF UNBALANCED FREIGHT TRANSPORTATION ON TRANSPORT NETWORKS

Ukraine's transport system is part of a single European transport system, but much work remains to be done to bring the national transport system in line with international standards. When carrying out cargo transportation, a situation often arises when the volumes of cargo transported from suppliers exceed the capacity of consumers' warehouses. In this case, there is a need to use intermediate points for temporary storage of surplus cargo, and requires a multi-stage transport problem. Also, often the matrix of transport correspondence between suppliers, consumers and intermediate points is not set explicitly, but simply introduced a map of their location, ie the transport task is set using the transport network. Such situations require research to address the problems of unbalanced freight and the creation of advanced transport technologies that will increase the efficiency of the transport system using modern information technology.

The processes of unbalanced cargo transportation are investigated in the work and the methods which allow to develop optimum plans of cargo transportations are developed. A software and tool complex has been developed, which includes the transfer of the network type of the scheme of cargo transportation to the tabular form, which allows to effectively solve the multi-stage transport problem using modern information technologies. With the help of the use of software and tools the problem of optimal organization of unbalanced transportation of goods in transport systems is solved. The use of software and tools in real transport systems allows the manager to quickly choose the most effective option for optimizing freight traffic on transport networks, using the developed computer program.

Key words: *transport task, optimization, unbalanced freight transportation, software and tools.*

УДК 627.71
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/18

Круглий Д.Г.
Херсонська державна морська академія

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ СУДНОБУДУВАННЯ ЯК ЗАПОРУКА ЦІЛІСНОСТІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ

Статтю присвячено аналізу вирішення проблем забруднення екосистеми внутрішніх вод України під час використання водного транспорту та обґрунтуванню важливості впровадження проекту річкової інформаційної системи. Виявлено основні напрями, за якими відбувається забруднення навколишнього середовища суднами. Визначено, що під час експлуатації суден відбувається забруднення стічними водами, сміттям, нафтопродуктами під час аварійних розливів, зачистки танків. Наведено приклад аварій суден, за яких було зафіксовано глобальне екологічне забруднення водних ресурсів України. У результаті аналізу визначено, що основними забруднювачами гідросфери під час роботи суден є нафта і нафтопродукти. Розливи нафти мають руйнівні наслідки. Зроблено висновок, що з багатьох причин забруднення нафтою і нафтопродуктами зумовлює складні зміни структури і функції природних екосистем, а також порушення метаболічних процесів, що призводить до зменшення видової різноманітності. Цей аналіз указав на актуальність використання річкових інформаційних систем. Розроблено концепцію створення та вдосконалення річкових інформаційних служб та систем інформаційної підтримки дій судноводія. Розглядалися основні принципи формування одного з компонентів вектора навігаційних ситуацій, зокрема компонента оцінок, що одержано під час досліджень річкових інформаційних систем. Рекомендовано використання річкових інформаційних систем, які дають можливість ефективного та безпечного перевезення вантажу річковими шляхахами України. Викладена методика дозволяє не лише наочно представити судноводієві оцінку небезпеки поточної навігаційної ситуації, але й визначити, які з об'єктів є найбільш небезпечними, що вимагають розв'язання завдання за розбіжністю. Також використання запропонованого методу дозволить оцінювати достатність навігаційної обстановки, розраховувати ступінь ризику під час маневрування, виконувати оцінку можливості безпечного проходу конкретного судна заданим маршрутом. Використання програмних модулів РІС дозволяє значно скоротити час ухвалення рішень, а в подальшому взагалі відмовитись від впливу людського фактора.

Ключові слова: *річкова інформаційна система, екосистема, перевозки, транспорт, екологічні забруднення.*

Постановка проблеми. Внутрішнє судноплавство може робити вклад у підвищення стійкості транспорту, особливо там, де заміщає автомобільні перевезення, але судноплавство, особливо розвиток судноплавних шляхів, здатне істотно позначатися на екології. Роботи з розвитку водного шляху для внутрішнього судноплавства можуть значно впливати на екологічну цінність і якість води водних угідь. Природа і масштаб таких наслідків залежать від специфіки зазначених робіт і від параметрів самого водного угіддя. Застосовні методики ослаблення наслідків також чітко розрізняються, наприклад, для ділянок річки зі скелястими берегами і руслом або для ділянок із піщаним або мулистим дном, що розташовані в заплаві. У деяких випадках можна проектувати нові споруди в інтересах судноплавства, розраховані на поліпшення якості води або біологічного різноманіття та створення цінних місць проживання.

Якщо вивчити причини аварій суден, що відбулися останніми роками, можна дійти висновку, що здебільшого виною стає екіпаж. Актуальність цієї проблеми зростає, оскільки нормативні документи здебільшого лише перераховують (рідше – визначають) необхідні компетенції, не розкриваючи причинно-наслідкових зв'язків їх взаємозумовленості і взаємодії в процесі формування функціональної системи – професійної компетентності, що забезпечує в підсумку безпеку мореплавання.

Це особливо важливо, оскільки серед причин зниження безпеки мореплавання й аварійності домінує «людський фактор»: кількість аварій із вини екіпажів суден сягає (за даними різних авторів) 75–80%.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянутому питанню підвищення безпеки судноплавства на основі річкових інформаційних систем присвячено велику кількість праць учених вищих навчальних закладів і публіка-

цій фахівців підприємств морської адміністрації України. Цю проблему розглядає В. Новіков із приведенням відомостей про водні ресурси, їх охорону й особливості забруднення; міжнародних і національних вимог щодо запобігання забрудненню водного середовища [1, с. 2–3]. Шляхи вирішення проблем забруднення водного транспорту вивчають Е. Картамишева, Д. Іванченко, Є. Бекетова [2, с. 12–15]. А. Никифоров, А. Кутергин, В. Семенищев, С. Никифоров порушують питання проблеми охорони водних ресурсів від забруднення, виснаження і розглядають шляхи її вирішення. У своїх працях показують роль регламентації надходження забруднювальних речовин у водні об'єкти, впровадження замкнутих систем водного господарства промислових підприємств, ринкового механізму охорони водних ресурсів [3, с. 93–115].

Постановка завдання. Метою дослідження є виявлення проблем, що стоять на шляху розвитку річкових інформаційних систем (далі – РІС) у напрямі підвищення безпеки судноплавства. РІС є сукупністю спеціальних споруд, технічних засобів, персоналу та організаційних заходів, які поділяються за призначенням і особливостями і діють із метою підвищення рівня безпеки та ефективності судноплавства, охорони життя на водних шляхах, захисту водного середовища, узбережжя, берегових і шельфових споруд.

Екологічна небезпека водного транспорту представлена двома складниками – експлуатаційним і аварійним. Причинами забруднення акваторії світового океану в результаті експлуатації суден є стічні і нафтовмісні води, суднові двигуни. Під час аварій – нафтопродукти та інші токсичні речовини. Шкода екології наноситься викидами із суден відпрацьованих газів, зіткненням із ссавцями, шумовим забрудненням. Мета статті – проаналізувати причини забруднення екології водним транспортом і сформулювати рекомендації до вирішення проблем.

Виклад основного матеріалу дослідження. Внутрішнє судноплавство здатне робити внесок у стратегії сталого транспорту, домагаючись порівняно низьких повітряних і шумових викидів на тонну перевезеного вантажу порівняно з іншими видами транспорту. Однак як судноплавство, так і розвиток водних шляхів можуть негативно (з точки зору екології) впливати на якість води, різноманітність біосфери, ландшафтну та дозвільної цінність водних масивів.

Основними забруднювачами гідросфери під час роботи суден є нафта і нафтопродукти. Розливи нафти мають руйнівні наслідки. Поліциклічні ароматичні вуглеці (компоненти сирої нафти), які є дуже токсичними для водного середовища, дуже важко піддаються очищенню і протягом багатьох років зберігаються у воді. Гідробіонти постійно піддаються впливу поліциклічних ароматичних вуглеців, відчувають проблеми в розвитку, піддаються захворюванням і розвитку аномальних репродуктивних циклів.

Розглянемо деякі приклади глобального забруднення навколишнього середовища водним транспортом.

На початку березня 2013 р. на узбережжі Одеської області (в районі Старостамбульського гирла на відстані 5 км від нульового кілометра в Чорному морі) затонув молдавський теплохід Nikolay Bauman. Причина аварії – витік, який не встигли ліквідувати. Як наслідок, у море потрапила нафта, що розлилась на площу понад 840 000 м^2, що загрожувало регіону екологічною катастрофою.

Судно перевозило з Туреччини в порт Херсон вантаж гіпсу та обладнання. У машинному відділенні теплохода перебувало 3,3 т паливно-мастильних матеріалів і 3 т гіпсу. Постраждалих немає: 11 членів екіпажу (10 українців і один росіянин) вдалося врятувати. [4, с. 1–2]

Яскравий приклад – історія з танкером «Делфі» під Одесою (Рис. 1). Він там лежить з осені і забруднює море і пляжі. Це завдає шкоди місту, бізнесу, людям, природі. Збитки чималі. Вміст нафтопродуктів у Чорному морі біля одеського пляжу «Дельфі» перевищує норму в 16,4 разів.

30 квітня було встановлено факт забруднення внутрішніх морських вод України. У результаті аварії сталося скидання із судна «STAVANGER» пальмового масла. Сталося це в морському порту «Південний». За інформацією Адміністрації морських портів України, кількість забруднювальних речовин, скинутих у водне середовище, становить 8,437 т. Відповідно, сума збитків становить $ 2,42 млн. [5, с. 1–2].

Тобто найбільш відчутно на збереженні водних ресурсів та якості вод позначаються (щодо екології) технологічні порушення, що виникають у процесі перевезення і перевантаження нафти, нафтовироблення, русловий видобуток піску і землечерпання, форсована експлуатація мілководних фарватерів, аварійні втрати хімічно агресивних вантажів і розливи нафтопродуктів, скиди промислових стоків і госпфекальних вод безпосередньо в річку.

Детальний аналіз структури і виробничо-конструктивних особливостей основних ланок вод-

Рис. 1. Танкер «Делфі» [4]

ного транспорту дозволяє виявити конкретне джерело забруднення водного середовища басейнів річок, а саме флот:

– поверхневий стік із палуб і надбудов судна з механічними, масло- і нафтовмісними домішками;

– нафто- і масловмісні підсланеві води машинного відділення;

– баластні нафтовмісні води;

– лляльні води вантажних приміщень із механічними та іншими домішками;

– промивні води з продуктами зачистки трюмів, лляльних і баластних танків;

– виток, розлив нафтопродуктів під час шланговки, прийому і перекачування бункера/бункерувальних операцій;

– аварійні викиди палива і вантажів за надмірних крен, пошкоджень корпусу і суднових систем;

– господарсько-побутові та фекальні стоки фанових систем;

– тверді відходи харчоблоку і сухе сміття виробничо-побутового характеру [6].

У складі розвиненої структури РІС перебувають Центри РІС, у яких обробляється та аналізується інформація, що надходить, ухвалюються управлінські рішення і здійснюється взаємодія із судами, а також інформаційні радіотехнічні пости, де розташовуються джерела інформації, і засоби зв'язку. Із точки зору ефективності розташування Центрів РІС визначено такі категорії, пов’язані з призначенням й особливостями району дії, а також з офіційно оголошеними межами дії:

– портові, що діють на акваторіях обслуговуються портів і на основних шляхах підходу до них;

– прибережні, що здійснюють контроль за судноплавством у внутрішніх водах та прилеглій зоні з розташованими на ній транзитними шляхами руху суден, районами промислу морепродуктів і видобутку корисних копалин на шельфі;

– регіональні, що утворюються на основі об’єднання кількох портових або портових і прибережних РІС.

Район дії – сукупність районів дії портових і прибережних РІС. У Центрах РІС розміщуються технічні засоби, обладнання і персонал для оброблення інформації.

Оброблення інформації повністю автоматизоване і виконується комп’ютерами загального або спеціального призначення. У результаті обробки інформації формується картина судноплавної обстановки, яка відображається на ситуаційних дисплеях [7, с. 2–3]. Інформаційні радіотехнічні пости має обслуговувальний персонал. У деяких випадках вони є дистанційно керованими. Призначення таких пунктів зводиться до забезпечення Центрів РІС інформацією про навігаційну обстановку в районі певної дії. Іншими словами, за основу береться деяка територія ситуацій.

Опис створюваних ситуацій включає стан зовнішнього середовища і внутрішній стан складної системи, в даному випадку Центр РІС, що характеризуються низкою параметрів. Ситуації утворюють узагальнений стан, а дії Центрів РІС або зміни у зовнішньому середовищі призводять до зміни актуалізованих у цей момент станів. Серед узагальнених станів особливе значення має початковий стан і кінцевий, тобто цільовий стан [8, с. 1–4].

Керівними ланками є оператори, які аналізують судноплавну обстановку, оцінюють і прогнозують її розвиток. Оператори РІС за допомогою радіозв’язку передають для суден інформацію, попередження, рекомендації та вказівки, що

забезпечують безпечне й ефективне судноплавство в районі дії з офіційно оголошеними межами [9, с. 161–173].

Таким чином, РІС в районі своєї дії з офіційно оголошеними межами забезпечує виконання таких основних функцій, виражених у:

– організації та регулюванні судноплавства на акваторіях портів і на підходах до них;

– забезпеченні безпеки судноплавства в складній навігаційній, метеорологічній та гідрологічній обстановці;

– сприяння лоцманським службам, пошуково-рятувальних операцій та операцій із боротьби з розливами нафтопродуктів;

– захист навколишнього середовища за рахунок зниження ризику аварій і розливів нафтопродуктів;

– контролі руху суден, положення суден на якірних стоянках і за дотриманням правил плавання;

– контролі за судноплавством у прибережних водах в інтересах держави, інформаційне забезпечення прикордонних і митних режимів.

Ефективне виконання Центрів РІС своїх функцій забезпечується високою надійністю технологічного обладнання, кваліфікацією і професіоналізмом персоналу, а також регламентацією і контролем роботи з боку адміністрації портів і гідрологічних споруд.

Таким чином, найважливіші вимоги до функцій РІС в умовах значного збільшення обсягів світових вантажопотоків (як експортних, так й імпортних) орієнтують на збереження єдиного технологічного комплексу забезпечення безпеки судноплавства і його оперативного реагування. Необхідність отримання оперативної, точної, захищеної інформації про всі об'єкти транспортного процесу стає одним із приводів прискорити розвиток сучасних автоматизованих систем управління, закладених в основу річкових інформаційних систем у напрямі формування єдиного інтеграційного транспортно-комунікаційного простору.

Під час досліджень річкових інформаційних систем розглядалися основні принципи формування одного з компонентів вектора навігаційних ситуацій, зокрема компонента оцінок S_e^t. Для оцінки навігаційної ситуації використовується інформація про район плавання, яка може бути отримана від суднової ECDIS у концепції створюваної РІС. Крім того, необхідно формувати прогноз розвитку ситуації на заданий проміжок часу.

Компонент оцінок може бути представлений у такому вигляді:

$$s_t^e \le e\left(T_{ro}\right), \left\{e\left(T_{ro}\right) \to T_{rj}\right\} j \in J \ge E\left(S_t^f, R, K_e\right),$$

де S_t^f – вектор прогнозу навігаційної ситуації (динамічний складник);

R – інформація про район плавання, маршрут судна тощо (статичний складник);

R_e – когнітивний складник оцінки (знання про можливі оцінки різних навігаційних ситуацій).

Для побудови вектора прогнозу навігаційної ситуації S_t^f використовуються прогнозні траєкторії руху як власного судна, так і суден, що оточують його :

$$s_t^f = \left(T_{ro}\left\{T_{rj}\right\} j \in J\right) = F\left(S_{-1}, R, M, K_f\right),$$

де T_{r0} – прогноз траєкторії власного судна;

T_{rj} – прогноз траєкторії *j*– го судна-мети;

M – безліч моделей динаміки суден(власного судна і суден-цілей);

$S_{-1} = \left\{S_t\right\} t \in \left[-T, -1\right]$ – послідовність векторів попередніх навігаційних ситуацій;

K_f – когнітивний складник (знання про можливі варіанти побудови прогнозів траєкторії судна з урахуванням навігаційних і інших обмежень).

Головні користувачі РІС: вантажовідправник, експедитор вантажу, ланцюговий менеджер логістики, судновий власник, штурман, оператор баржі, оператор шлюзу, термінальний оператор, портовий менеджер, планувальник переходу, прикордонники / митниця.

Важливо наголосити, що РІС може забезпечити інформацію різним користувачам про найголовніші витрати перед початком переходу.

Зниження витрат нещасного випадку засноване на запровадженні нового устаткування, і нового планування переходу, яке доступне під час керування і на березі: AIS і ECDIS [10, с. 87–97].

Висновки. Зроблено висновок, що з багатьох причин забруднення нафтою і нафтопродуктами зумовлює складні зміни структури і функції природних екосистем, а також порушення метаболічних процесів, що призводить до зменшення видової різноманітності.

Ретельне проектування часто може послаблювати наслідки, а в декількох досліджених проектних ситуаціях також зменшило вплив можливих екологічними наслідками інвестицій в інфраструктуру внутрішнього судноплавства.

Для знаходження таких рішень важливі завчасні консультації зі сторонами, зацікавленими у збереженні навколишнього середовища, а по суті, з усіма зацікавленими сторонами. Настільки ж важливо доходити до спільного розуміння проблем і сприяти спільному пошуку

рішень, якщо виявляється, що наслідки будь-якого проекту для екології не сприяють застосуванню традиційних підходів до зменшення шкоди. Під час вивчення конкретних ситуацій всі виявлені конфлікти виникали з того, що до планування проекту не залучалися на досить ранній стадії сторони, зацікавлені в захисті навколишнього середовища. Надалі, після довгих і витратних відстрочок, знадобилися дорогі процедури пошуку компромісів.

У цій статті представлено один із компонентів РІС та рекомендовано використання річкових інформаційних систем, які дають можливість ефективного та безпечної перевезення вантажу Чорноморсько-Азовським басейном і річковими шляхами України. Виклад методики не лише дозволяє наочно мати уявлення судноводієві про оцінку небезпеки поточної навігаційної ситуації, але і визначити, які з об'єктів є найбільш небезпечними, що вимагають виконання завдання з розбіжності.

Тобто можна повністю виключити аварійні ситуації перш ніж забезпечити захист навколишнього середовища від забруднень. Таким чином, використання РІС – це одна з ланок комплексної світової проблеми охорони природи.

Перспектива подальшого дослідження – розробити повноцінний аналіз роботи структури РІС та детально зупинитися на чинниках, що допоможуть покращити її властивості.

Список літератури:

1. Новиков В.К. Предотвращение загрязнения водной среды водным транспортом : учебное пособие; Министерство транспорта Российской Федерации, Московская государственная академия водного транспорта. Москва : Альтаир : МГАВТ, 2014. 282 с.
2. Картамышева Е.С., Иванченко Д.С., Бекетова Е.А. Судно как источник загрязнения окружающей среды. *Молодой ученый*. 2018. № 25. С. 12–15.
3. Никифоров А.Ф., Кутергин А.С., Семенищев В.С., Никифоров С.В. Экологические основы охраны водных ресурсов : учебное пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 192 с.
4. Возле Одессы затонул молдавский теплоход с украино-российским экипажем : веб-сайт. URL: https://glavcom.ua/news/111837-vozle-odessy-zatonul-moldavskij-teplohod-s-ukraino-rossijskim-ekipazhem.html (дата звернення: 20.10.2020).
5. Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping, 2013–2015. *The International Council on Clean Transportation*. October, 2017. 38 p
6. Загрязнение вод Украины нефтью тревожно растет – Госводагентство : веб-сайт. URL: https://greenpost.ua/ru/news/zagryaznenye-vod-ukrayny-neftyu-trevozhno-rastet-gosvodagentstvo-i11627 (дата звернення: 11.10.2020).
7. Pollution's Horrifying Effects on our Marine Life-Seaweek 2018 : веб-сайт. URL: https://www.whalewatch.co.nz/information/latest-news/pollutions-horrifying-effects-on-new-blog-post/ (дата звернення: 18.10.2020).
8. Ship pollution linked to 400K premature deaths per year.– April 20, 2018 : веб-сайт. URL: https://www.theweathernetwork.com/news/articles/global-ship-pollution-urgency-for-greener-shipping-international-maritime-organization-united-nations-agency-greenhouse-gas-emissions-2050-clearner-burning-oil-fuels-2020-environmental-premature-death-health-risks/99883 (дата звернення: 12.10.2020).
9. Ширін Л.Н., Денищенко О.В., Барташевський С.Є., Коровяка Є.А., Расцвєтаєв В.О. Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу : навчальний посібник. Дніпро: НТУ «ДП», 2019. 203 с.
10. Ільницький Д.О., Зінченко С.Г. Пошук ідеальної моделі транспортно-технологічної системи порту: компетентнісний вимір. *Вісник Одеського національного університету*. 2017. Т. 22. Вип. 5 (58). С. 87–97.

Kruhlyi D.H. INNOVATIVE SHIPBUILDING TECHNOLOGIES AS A GUARANTEE OF THE INTEGRITY OF THE ECOSYSTEM OF UKRAINE

The article is devoted to the analysis of solving the problems of pollution of the inland water ecosystem of Ukraine when using water transport and substantiation of the importance of implementing the river information system project. The main directions in which pollution of the environment by ships occurs are identified. It is determined that during the operation of vessels there is pollution by sewage, garbage, oil products during emergency spills, tank cleaning. An example of ship accidents in which global environmental pollution of water resources of Ukraine was recorded is given. As a result of the analysis it was determined that the main pollutants of the hydrosphere during the operation of ships are oil and petroleum products. Oil spills have devastating consequences. It is concluded that for many reasons, pollution by oil and petroleum products causes complex changes in the structure and function of natural ecosystems, as well as disruption of metabolic processes, which leads to a decrease in species diversity. This analysis indicated the relevance of the

use of river information systems. The concept of creation and improvement of river information services and systems of information support of actions of the driver is developed. the basic principles of formation of one of the components of the vector of navigation situations were considered, namely the components of estimates obtained during the research of river information systems. It is recommended to use river information systems, which allow efficient and safe transportation of goods on the river routes of Ukraine. The described technique allows not only to clearly present to the driver the assessment of the danger of the current navigation situation, but also to determine which of the objects are the most dangerous, requiring the solution of the problem of discrepancy. Also, the use of the proposed method will assess the adequacy of the navigation situation, calculate the degree of risk when maneuvering, to assess the possibility of safe passage of a particular vessel on a given route. The use of RIS software modules allows to significantly reduce the time of decision-making, and in the future to abandon the influence of the human factor.

Key words: *river information system, ecosystem, transportation, transport, environmental pollution.*

УДК 629.7.08:656.71(045)
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/19

Мединський Д.В.
Національний авіаційний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НАЗЕМНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ АВІАЦІЙНОЮ НАЗЕМНОЮ ТЕХНІКОЮ ДЛЯ ПЕРЕШКОДЖАННЯ ЗБІЙНИХ СИТУАЦІЙ В АЕРОПОРТУ

Роботу транспорту потрібно розглядати, як галузеву транспортну систему, де транспортні підприємства та учасники транспортного процесу об'єднанні зв'язками партнерства та працюють у взаємодії виконуючи функції логістичного принципу за участю авіаційного транспорту. Взаємозв'язок ритму та ефективності функціонування аеропортів пов'язаних єдиним розкладом руху потребує більш влучного розподілу погодинного завантаження служб аеропорту об'єму робіт з обслуговування повітряних кораблів та підготовки їх до рейсу, як у пункті вильоту, так і в пункті посадки.

Система наземного обслуговування розглядається, як множина підсистем, які своєю чергою забезпечують технічне, комерційне обслуговування повітряних кораблів, обслуговування пасажирів, обробку вантажу, підготовку літака до вильоту. Виходячи з позиції системного аналізу, кожна підсистема розглядається, як окрема(більш низького рівня, ніж система наземного обслуговування), яка має визначену та самостійну цільову функцію, стан якої може суттєво вплинути на працездатність системи технологічних процесів в аеропорту.

Технологічний процес дозволяє розглянути фізичний стан технологічних систем в аеропорту відповідно до технологічних графіків за типами повітряних кораблів та характером рейсу(початковий, оборотний, міжнародний, внутрішній) та послідовністю і тривалістю виконуваних робіт.

Ефективність технологічного процесу підготовки повітряних кораблів до вильоту залежить від оперативної роботи авіаційної наземної техніки. У сучасних умовах функціонування аеропортів підвищуються вимоги до якості планування виробничих ланцюгів обслуговування, зокрема і в наземному обслуговуванні повітряних кораблів для скорочення збійних ситуацій в аеропорту. Багатогранність видів технологічних робіт із забезпечення експлуатаційної діяльності аеропортів та багато типовість у застосуванні наземної техніки складає певну складність у плануванні роботи спецтранспорту наземної служби з обслуговування повітряних кораблів. У зв'язку з цим необхідно всіляко сприяти застосуванню сучасних економіко-математичних, оптимізаційних методів оперативного планування функціонування систем наземного обслуговування повітряних кораблів, які в свою чергу дозволять забезпечити регулярність польотів, безпеку польотів, та підвищать техніко-економічну ефективність технологічних процесів наземного обслуговування в аеропорту.

Ключові слова: *технологічний процес, наземне обслуговування, повітряні кораблі, збійні ситуації, аеропорт, оперативне обслуговування, система масового обслуговування.*

Постановка проблеми. Технологічний процес оперативного технічного обслуговування повітряних кораблів(ПК) на пероні містить встановлення гальмівних стопорних колодок, встановлення чохлів на повітря забірники двигунів, заправку ПК паливом та оливою, огляд ПК за маршрутом, заправку систем водозабезпеченням та видалення сміття, обслуговування систем та обладнання, комплекс робіт з внутрішньої мийки та прибирання пасажирських, службово-побутових та багажних приміщень ПК, виконання регламентних робіт перед польотного (після польотного) оперативного обслуговування ПК, виконання робіт з проти обледеніння ПК.

Підготовка ПК до вильоту виконується інженерно-технічним складом служби та екіпажем повітряного корабля. Безпосереднє керівництво та організацію робіт з обслуговування авіаційної техніки здійснює керівник комплексної зміни служби наземного обслуговування аеропорту.

Значну частину наземного обслуговування ПК проводять на базі аеропорту. Це своєю чергою висуває високі вимоги до виконання робіт особливо в частині забезпечення авіаційної безпеки, безпосередній контакт служби наземного обслуговування з об'єктом експлуатації та дефіцит часу на виконання робіт. Організація робіт за певних умов повинна бути максимально чіткою та злаго-

дженою, при цьому необхідно врахувати випадкові фактори, які залежать від наявності та стану наземних засобів механізації,вільних бригад спеціалістів служби наземного обслуговування ПК, які загалом складають наземну базу аеропорту. Тому для підвищення ефективності авіаперевезень виробничий процес наземного обслуговування ПК повинен бути належним чином зорганізованим та постійно контрольованим.

Постановка завдання. Підвищення ефективності експлуатаційних процесів наземного обслуговування повітряних кораблів (НОПК) дозволить знизити час на між польотну підготовку ПК та збільшить продуктивність авіакомпаній. Під час формування планів авіарейсів авіакомпанії наполегливо прагнуть скоротити час перебування ПК на землі тим самим збільшуючи час ефективного використання ПК. Рівень витрат з оплати послуг, які пов'язані із НОПК, складає 15–21% від загального об'єму витрат авіакомпаній та безумовно впливає на рівень авіаційних тарифів.

Відсутність наукових розробок та методичних рекомендацій із формування забезпечення технологічних процесів НОПК як підсистеми авіаційної транспортної системи (АТС) побудована на принципах маркетингу, менеджменту та логістики, що своєю чергою є передумовою у необхідності дослідження ефективного використання авіаційної наземної техніки для перешкоджання збійних ситуацій в аеропорту під час оперативного управління НОПК.

У цій статті пропонується розглянути ефективну систему управління НОПК яка дозволить поліпшити рух наземних потоків із обслуговування ПК та знизити час на обслуговування ПК, тим самим підвищуючи рентабельність та ефективність використання літака шляхом перешкоджанню виникнення збійних ситуацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За основу при аналізі досліджень тематики технологічних процесів з наземного обслуговування ПК прийняті роботи Г. А. Крижановського, В. В. Шашкіна, а розроблений Є.Н. Зайцевим метод структурно-параметричного синтезу комплексної системи управління взаємодією транспортних потоків покладено в основу багатьох досліджень науковців. Величезний вклад в царині ефективного управління транспортними системами внесли такі автори, як: Б.В Артамонов, В.Г. Галабурда, С.М. Резер, В.Г. Староселец [12].

З тематики основних напрямів застосування теорії регресії та прогнозування об'єму пасажирських перевезень, нормуванню трудових витрат завдячуємо А.А. Соколову. У працях А.М. Андронова створено цілий напрямок із застосування теорії масового обслуговування для аеропортів з організації та планування робіт з технічного обслуговування ПК. Експлуатацією та ремонтом авіаційної техніки завдячуємо науковим здобуткам у працях: Н.Н Смірнова, Х.Б. Кордонського, А.Н. Пугачова [14].

У той же час невирішеними залишаються завдання виникнення збійних ситуацій під час використання авіаційної наземної техніки в аеропорту. Не вироблено єдиної формалізованої концепції із технологічного процесу НОПК не порушуючи умов регламенту в умовах виникнення збійних ситуацій.

Тому актуальною проблемою постає підвищення ефективності методів вирішення оптимізаційних завдань при аналізі технологічних процесів НОПК наземною авіаційною технікою для перешкоджання збійних ситуацій в аеропорту.

Виклад основного матеріалу. Система наземного обслуговування ПК являє собою складну систему, яка характеризована великою кількістю параметрів технологічного процесу роботи аеропорту, тому актуальною проблематикою постає раціональне розподілення ресурсів авіаційної наземної техніки [1].

Технологічний процес $T_{процесу}$ – це процес призначений для досягнення поставлених завдань перед системою НОПК та цілей з упорядкованої сукупності операційних робіт O_j.

Більш складний аналіз технологічного процесу складають операції O_j, які умовно можна поділити на найпростіші акти праці – переходи $П_{iq}$. Вони дозволять надалі розглядати фізичний стан та оцінку напряму удосконалення технологічних систем [2].

Таким чином, технологічний процес $T_{процесуу}$ складається з m операцій O_j, кожна з яких об'єднує w_q переходів $П_{jq}$. Тобто увесь технологічний процес $T_{процесу}$ можна уявити як множину переходів $П_{jq}$, об'єднаних в операції:

$$T_{процесу} = \sum_{j=1}^{m} O_j = \sum_{j=1}^{m} \sum_{q=1}^{Wq} П_{jq} \qquad (1)$$

Організація наземного обслуговування ПК здійснюється відповідно до технологічних графіків оперативного наземного обслуговування.

Технологічні графіки поділяють за типами ПК та характером рейсів, крім того, вони відрізняються переліком, послідовністю та тривалістю виконаних робіт, що своєю чергою зумовлює різницю їх характеристик.

Оптимізація технологічних графіків дає змогу виокремити шляхи зменшення тривалості обслуговування ПК та раціонально використовувати наявні ресурси авіаційної наземної техніки.

Технологічний процес оперативного технічного обслуговування ПК на пероні передбачає виконання регламентних робіт перед польотного та після польотного оперативного обслуговування ПК, виконання робіт із зняття ожеледі поверхні фюзеляжу ПК.

Підготовка ПК до вильоту виконується інженерно-технічним складом служби аеропорту та екіпажем ПК. Роботи з технічного обслуговування (ТО) відрізняються об'ємом, складністю, тривалістю виконання. Періодичністю та проводяться відповідно до регламенту технічного обслуговування ПК. Регламенти передбачають проведення оперативного ТО за декількома формами: роботи з зустрічі, роботи із забезпеченням стоянки, роботи із забезпечення вильоту. Всі роботи з ТО ПК у процесі оперативного наземного обслуговування проводять техніки та інженери служби авіаційно-технічної бази (АТБ) аеропорту [3].

Комерційне обслуговування ПК у процесі оперативного наземного обслуговування відповідно до регламентів технологічного процесу здійснюють служби: спецтранспорту (ССТ), обслуговування пасажирів (СОПП).

Обслуговування пасажирів містить наступні технологічні операції:

– огляд пасажирів, багажу та ручної поклажі;
– міграційний контроль;
– митний контроль;
– реєстрацію авіаквитків;
– оформлення багажу та ручної поклажі за класами обслуговування;
– комплектацію багажу за напрямками та рейсами;
– паспортний контроль;
– супровід та посадка пасажирів до ПК;
– зустріч пасажирів біля ПК та супровід до аеровокзалу;
– обслуговування транзитних пасажирів;
– розвантаження з ПК та транспортування багажу до місця видачі;
– видача багажу пасажирам.

Процес наземного обслуговування ПК достатньо складний, у ньому задіяна велика кількість персоналу різних служб аеропорту та організацій, а також авіаційної наземної техніки для виконання технологічних операцій, тому він і потребує об'єктивного контролю, координації та оперативного управління [4].

Аналіз технологічних графіків вказує на те, що практично в усіх операціях наземного обслуговування ПК використовується авіаційна наземна техніка (АНТ) (рис. 1, 2).

Ефективність технологічного процесу підготовки ПК до вильоту в більшості випадків залежить саме від оперативності роботи АНТ. У сучасних умовах функціонування аеропортів підвищуються вимоги до якості планування на всіх виробничих ланцюжках, а зокрема служби спецтранспорту (ССТ) [5].

Тривалість циклу $T_{циклу_{ij}}$ роботи АНТ j-го типу при НОПК i-го рейсу визначають за формулою:

$$T_{циклу_{ij}} = t_{руху_{ij}} + t_{ПК_{ij}} + t_{підготовки_{ij}} + \\ + t_{заправки_{ij}} + t_{завдання_{ij}} + t_{організації_{ij}} \quad (2)$$

де, $t_{руху_{ij}}$ – час руху i-го типу авіаційної наземної техніки до місця стоянки ПК j-го рейсу для наземного обслуговування ПК та повернення до місця дислокації у годинах; $t_{ПК_{ij}}$ – час наземного обслуговування ПК i-го рейсу j-м типом АНТ, год; $t_{підготовки_{ij}}$ – час виконання підготовчо-заключних операцій під час наземного обслуговування ПК i-го рейсу у годинах; $t_{заправки_{ij}}$ – час заправки i-го типу ПК паливом, рідинами та газами j-м типом АНТ, у годинах; $t_{завдання_{ij}}$ – час отримання завдання проходження інструктажу у годинах; $t_{організації_{ij}}$ – затрати часу, яка покликана порушеннями в організації та технології робіт.

Часові параметри на основні та допоміжні роботи під час експлуатації АНТ при НОПК, які використовуються ССТ із розрахунку часових параметрів експлуатації спецмашин встановлені відповідно до «Методики визначення потрібної кількості засобів механізації основних технологічних процесів в аеропортах цивільної авіації» [6].

Надвисока вартість та кількість засобів механізації парку АНТ, значні витрати палива, трудових та фінансових ресурсів потребують підвищення ефективності утримання та використання під час НОПК. Для прикладу, аеропорти ДПМА «Бориспіль» та МА «імені І.І. Сікорського» мають у наявності більш ніж 150 одиниць АНТ для НОПК. Раціональне використання парку АНТ залежить від ефективності функціонування системи комплексного оперативного управління НОПК із використанням методів математичного моделювання [7].

Основними елементами системи масового обслуговування є потік замовлень та обслуговуюча система. Кінцевою ціллю дослідження системи масового обслуговування є надходження кількісних показників, які характеризують мож-

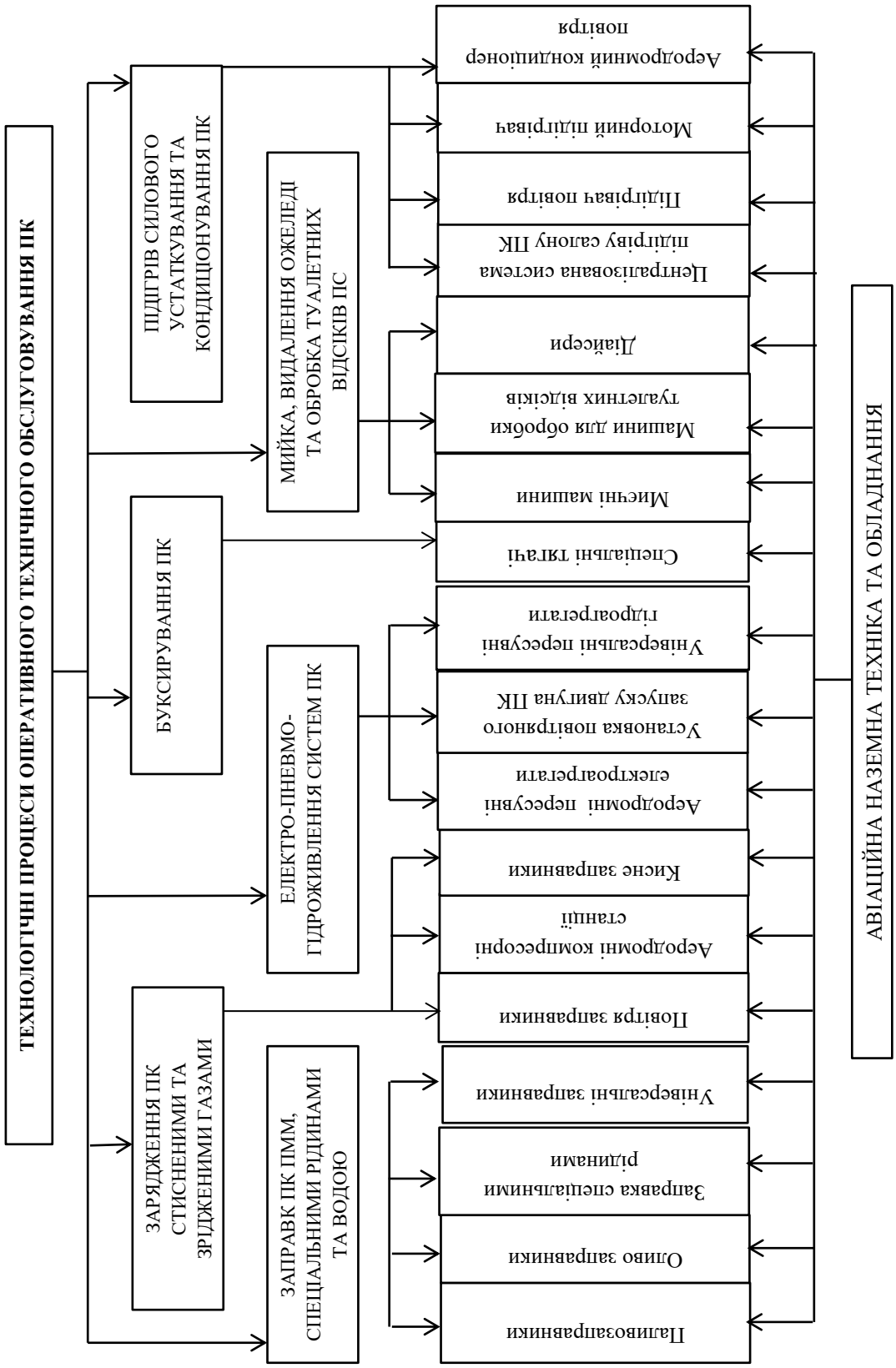


Рис. 1. Класифікація технологічних процесів оперативного технічного обладнання повітряних кораблів та авіаційної наземної техніки

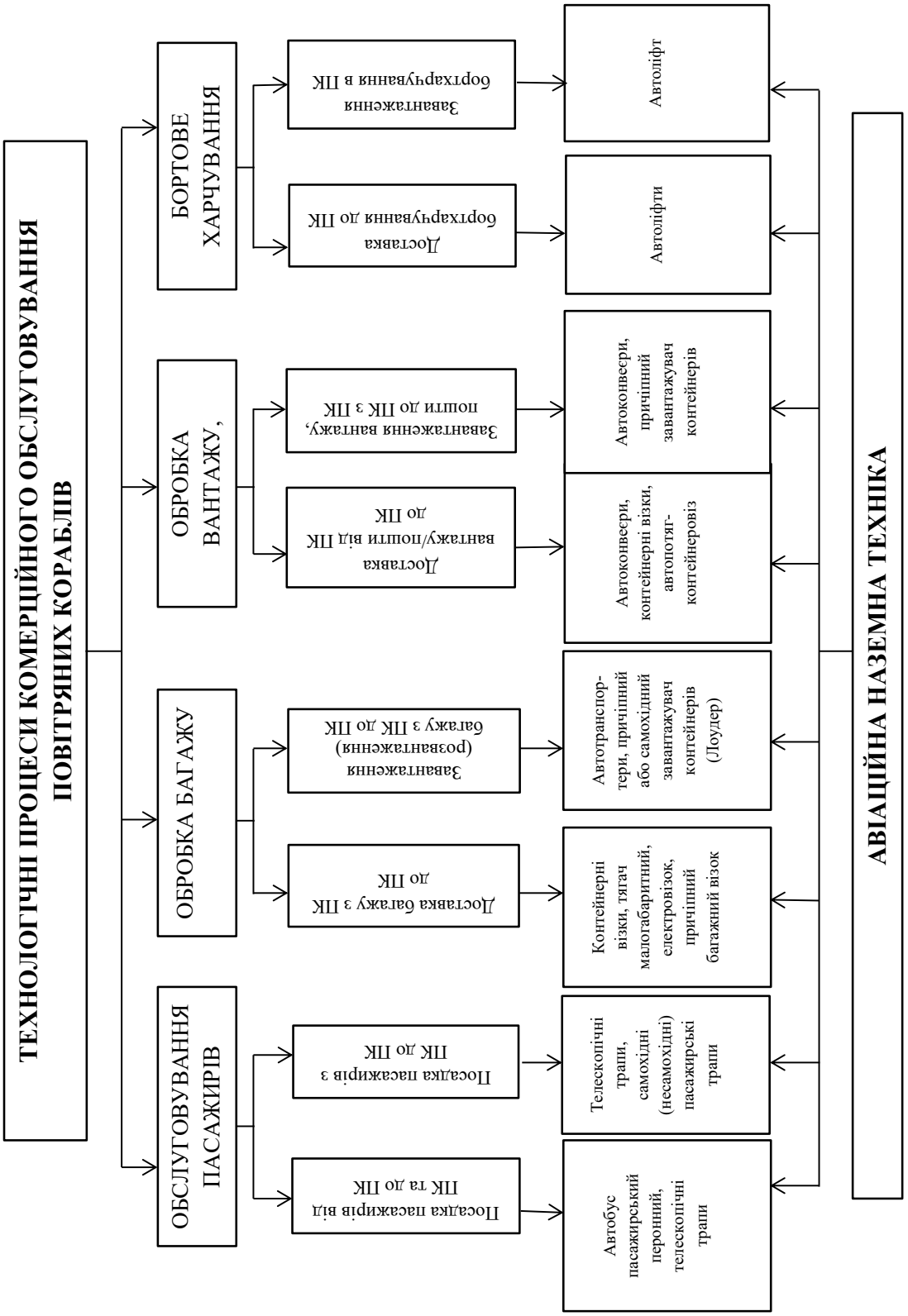


Рис. 2. Класифікація технологічних процесів комерційного обслуговування повітряних суден та авіаційної наземної техніки

ливості систем обслуговування та розробку вимог в у відповідності до реальних конструкцій з метою отримання оптимальних рішень.

Цикл функціонування системи масового обслуговування повторюється неодноразово. При цьому слід зауважити, що перехід від обслуговування чергової вимоги після обслуговування попередньої вимоги відбувається миттєво, або ж після невеликого очікування, коли система обслуговування знаходиться в стані простою. Завданням теорії масового обслуговування є пошук залежностей, які б виокремили якість роботи в системі:

– характеристика вхідного потоку;
– можливості систем обслуговування (апаратів, каналів);
– методів організації роботи систем обслуговування.

Кожна система масового обслуговування, залежно від числа апаратів, які вона обслуговує, та їх виробничого циклу, повинна відповідати певній пропускній здатності. Пропускна здатність системи обслуговування здебільшого залежить не тільки від параметрів самої системи, а й від характеру потоку замовлень. На практиці зазвичай моменти замовлень випадкові, а в більшості випадків також випадкова і сама тривалість обслуговування замовлення. Таким чином, процес функціонування більшості систем масового обслуговування являє собою випадковий процес. У зв'язку з чим можуть виникнути ситуації, коли система обслуговування не здатна впоратися із обслуговуванням вхідного потоку, тим самим, спричинивши черги на замовлення, створюється збійна ситуація в системі НОПК аеропорту [8].

Проаналізувавши систему НОПК, її можна розглянути як систему масового обслуговування. На доказ того твердження розглянемо завдання з організації та планування обслуговування ПК на пероні [9].

У такому випадку вимогою є ПК, а апаратом обслуговування – АНТ або технічні пероні бригади з обслуговування ПК. Фактичні моменти прильоту та вильоту ПК у більшості випадків мають місце відхилення від запланованого часу. Також і тривалість обслуговування ПК має випадкові коливання, які своєю чергою призводять до збійних ситуацій у системі НОПК аеропорту. Тому може виникнути ситуація, коли в потрібний момент може не бути вільної одиниці АНТ або ж бригади з обслуговування, внаслідок чого може статися затримка рейсу, а це своєю чергою призведе до економічних втрат. У зв'язку з цим визначення необхідної кількості АНТ або ж технічних перонних бригад для своєчасного обслуговування вхідного потоку замовлень є однією з основних завдань системи НОПК, яка в цілому характеризує надійність.

Відповідно до системи НОПК замовлення на обслуговування не може бути виконано будь-яким з наявних апаратів АНТ. Це своєю чергою зумовлено тим, що існує певна спеціалізація АНТ за видами обслуговування та типами ПК, у зв'язку з чим система НОПК є не повною мірою доступною, оскільки не всі апарати з обслуговування є затребуваними для тих чи інших видів технологічного обслуговування ПК. Досить розповсюдженим класом систем масового обслуговування є система з відмовами (системи із втратами). В цих системах замовлення, яке надійшло в часі, коли всі канали зайняті, отримує відмову на обслуговування та полишає систему, як таке, що не дістало схвалення. Це пов'язано в першу чергу з безпекою польотів. Однак у даному випадку деякі дослідники, науковці можуть надати приклад, коли ПК полишає аеродром та прямує на запасний, за несприятливих погодних умов, тобто замовлення залишилося таким, що не дістало згоди на обслуговування [10].

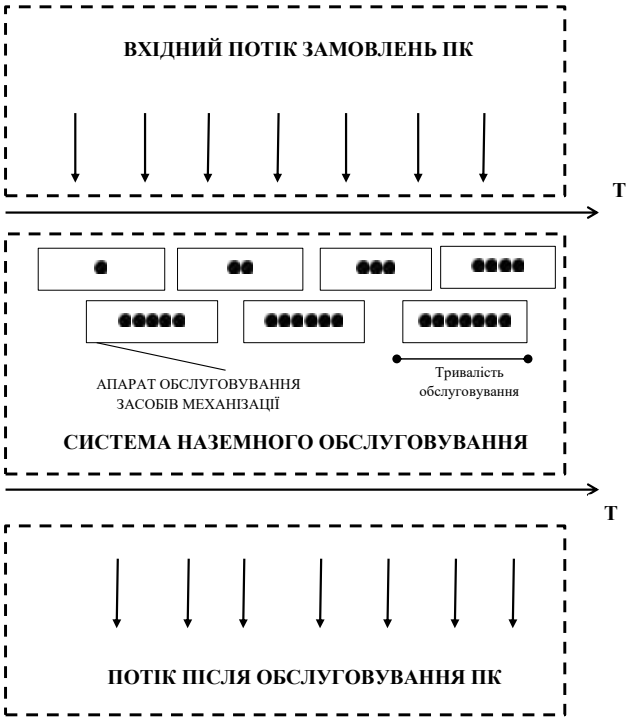


Рис. 3. Блок-схема організації оперативного обслуговування повітряних кораблів на пероні

Якщо ж розглянути функціонування системи НОПК за досить невеликий проміжок часу, до якого може увійти час закриття аеропорту, то сис-

тема НОПК вже постає як система з відмовами. Однак ПК у будь-якому разі повинен потрапити до аеропорту призначення після нормалізації метеоумов для доставки пасажирів, пошти, вантажу, багажу. Тому канали системи обслуговування повинні бути готовими до обслуговування замовлення у момент її надходження. При розробці моделі оперативного управління та плануванні роботи НОПК були враховані можливості виникнення подібних ситуацій,які розглядаються як модель збійних ситуацій в аеропорту. У даному випадку ми розглядаємо систему НОПК як багатоканальну систему масового обслуговування з очікуванням [11].

Основними показниками ефективності СМО є:

– коефіцієнт завантаження;
– середнє число вимог у черзі;
– середній час очікування початку обслуговування;
– середній час перебування вимоги у системі обслуговування;
– ймовірність відмови.

Наступним елементом СМО є вхідний потік замовлень на обслуговування. Потік вимог – це сукупність замовлень на обслуговування, які надходять до системи обслуговування. Процесу НОПК властиві всі особливості випадкового процесу. У більшості випадків причини, які пов'язані з експлуатацією ПК, аеропортів, аеродромів та інших елементів авіатранспортної системи, призводять до нерегулярності надходження замовлень на обслуговування та відсутність критерію постійності з виконання певного об'єму робіт НОПК. Тому для розробки адекватної методики оперативного планування НОПК є необхідним проведення аналізу вхідного потоку замовлень на обслуговування.

Під час НОПК вхідний потік замовлень на обслуговування можна представити у вигляді добового плану польотів (ДПП) ПК. Більшість методик, які використовуються для формалізованого опису функціонування системи НОПК має на меті підстави про те, що вхідний потік є найпростішим з усіх можливих. Але найпростіший потік повинен задовольняти вимогам: стаціонарності, ординарності, відсутності наслідків збійних ситуацій [12].

Однак інтенсивність вхідного потоку до аеропорту залежить від часу доби та пори року і тому не є константою. Зазвичай інтенсивність потоку вимог на обслуговування ПК по прильоту влітку більший, ніж взимку, а вдень також збільшений, ніж вночі (рис. 4).

Цей факт говорить про те, що вхідний потік є нестаціонарним на протязі доби. Те ж саме можна спостерігати, якщо проаналізувати потік протягом календарного року. Тому організація робіт з НОПК є оптимальною за умови інтенсивності потоку вимог і не буде оптимальною за інших умов. У зв'язку з чим для раціональною організації обслуговування виокремлюють періоди часу, які характеризовані постійною інтенсивністю потоку вимог та вирішують завдання для кожного періоду пори року [13].

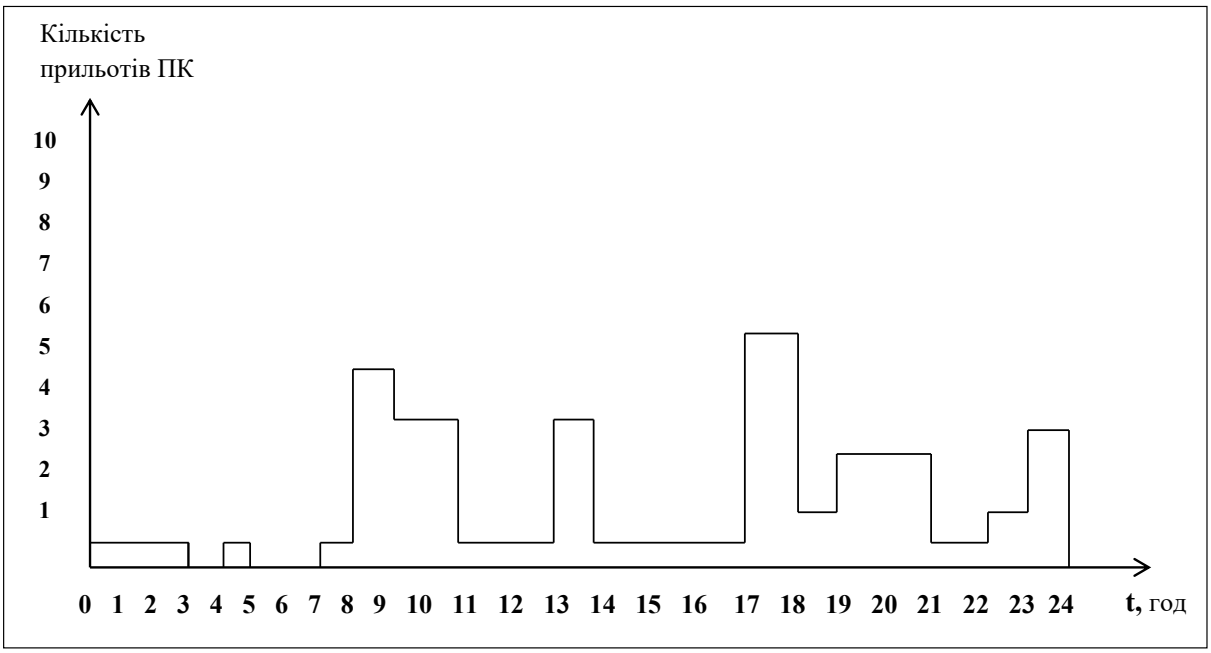


Рис. 4. Нестаціонарний вхідний потік замовлень на обслуговування

З огляду на нестаціонарний вхідний потік замовлення на обслуговування повинна бути виконана умова, про те, що виокремлені періоди часу, які мають постійну інтенсивність потоку, повинні бути значно більшими за середній час обслуговування однієї вимоги.

Аналіз списку використаних джерел вказує на те, що методики визначення потрібної кількості АНТ засновані виходячи з розрахунку максимальної інтенсивності повітряного руху протягом року та не відповідають періоду пікового навантаження. Протягом періоду пікового навантаження, останній характеризується короткими інтервалами між надходженнями замовлень, тому вхідний потік можна розглядати, як стаціонарний.

Іншою умовою того, що потік є найпростішим, є ординарність. Дана умова полягає в тому, що ймовірність потрапляння до елементарного інтервалу часу двох або більше подій дуже вірогідна у порівнянні з ймовірністю потрапляння однієї події, тобто до системи одночасно може надійти не більше, ніж одна вимога потоку. Однак умова ординарності потоку у деяких випадках є сумнівною. Наприклад, ПК доставив одночасно певну групу пасажирів або вантажу, які повинні бути в обслуговуванні системи НОПК. У цьому випадку потік пасажирів, що прилетіли, необхідно розглядати як неординарний. Під час виходу пасажирів з ПК до трапу пасажири вишукуються у чергу та обслуговуються засобом механізації наодинці. У цьому випадку потік можна розглянути як ординарний. Однак доставку пасажирів від ПК до аеровокзалу здійснюється перонним автобусом, яким одночасно може скористатися група пасажирів до 80-ти осіб. Такий приклад можна застосувати при обробці вантажу на пероні. Тому залежно від постановки питання дослідження процесів НОПК, а також від характеру надходження вимог, вхідний потік необхідно розглядати як ординарний чи неординарний.

Умова відсутності наслідків полягає в тому, що для будь-яких інтервалів часу подій, які припадають на один з них, не залежить від числа подій, які припадають на інший. Ця умова полягає в тому, що будь-який інтервал часу ПК, які потрапляють на обслуговування до системи, не залежить від числа замовлень, які вже надійшли. Для системи НОПК цю умову можна вважати вірною, оскільки задача оперативного планування вирішується у детермінованій постановці, оскільки в ССТ час прибуття ПК(вхідний потік) планується заздалегідь та при його побудові умова відсутності наслідків збійної ситуації фактично врахована. Однак відхилення фактичного часу прибуття ПК від планового можуть суттєво вплинути на умову, тому цей факт необхідно врахувати під час оперативного планування НОПК.

Якщо усі вищеперераховані умови дотримуються, то вхідний потік вимог є найпростішим. Як відомо з теорії масового обслуговування, найпростішому потоку властива дія того, що число подій, які припадають на певний інтервал часу розподіляється за законом Пуассона.

Потік вимог на обслуговування має дві основні форми завдання: аналітичну та емпіричну.

Аналітична форма полягає в завданні розподілу проміжків часу між надходженнями послідовних вимог. Аналітична форма задає потік за допомогою математичних формул, однак не завжди забезпечує достатню достовірність опису реального потоку. Зазвичай його застосовують для завдання потоку вимог в якому є випадковий, а не плановий характер вимоги на обслуговування, а також який має високу й достатньо постійну інтенсивність вхідного потоку. Однак, вхідний потік замовлень на обслуговування ПК фактично планується завчасно та задається розкладом і, не завжди його інтенсивність можна рахувати, як константу.

Емпірична форма полягає в завдані фактичного розкладу та можливих відхилень від нього. Емпірична форма завдання застосовується, як правило тоді, коли аналітична форма не надає необхідної достовірності. Зазвичай це має місце для процесів обслуговування ПК на пероні за проміжок часу періоду, який розглядається. В емпіричній формі потрібно враховувати планові моменти прильоту та вильоту ПК, фактичний розклад, а також можливі відхилення від нього [14].

Під час виконання дослідження потрібно використовувати емпіричну форму завдання вхідного потоку. В такому випадку інформація вхідного потоку буде відображати:

– тип повітряного корабля;
– тип рейсу(кінцевий, початковий, транзитний, оборотний);
– плановий час прибуття ПК;
– фактичний час прибуття ПК;
– об’єм та характер робіт з наземного обслуговування ПК.

Серед числа затримань авіарейсів найбільшою проблемою є збільшення числа авіакомпаній, які обслуговуються в аеропорту, кількість рейсів, збільшення пасажиропотоку, недосконалість технологічних процесів,нестача кадрового потенціалу, несправність АНТ, нераціональне використання ресурсів.

Основними ж порушеннями регулярності відправлень ПК є метеоумови, занадто пізнє при-

буття рейсів та затримки з вини служб аеропорту, які безпосередньо задіяні у процесі оперативного обслуговування рейсів [15].

Саме відсутність логістичного підходу до планування та організації взаємодії служб НОПК, слабка координація між аеропортовими службами та підприємствами є низький рівень розвитку технологій наземної підготовки ПК.

Ліквідація збійних ситуацій потребує від диспетчера НОПК вирішення надскладних завдань раціонального розподілу ресурсів аеропорту з метою виходу на планову роботу та мінімізацію фінансових втрат аеропорту.

Висновки. Значна частина НОПК здійснюється на базі аеропорту службами ССТ та СОПП. Окрім високих вимог до виконання робіт в частині забезпечення авіаційної безпеки, особливістю цих робіт є безпосередній контакт служби з об'єктом експлуатації, а також жорсткий дефіцит часу на виконання робіт. Потрібно враховувати випадкові фактори, які своєю чергою залежать від наявності стану наземних засобів механізації. Тому для підвищення ефективності авіаперевезень виробничий процес НОПК повинен бути зорганізовано належним чином задля усунення збійних ситуацій в аеропорту.

Система НОПК являє собою надскладну систему, яка характеризована величезною кількістю параметрів, які змінюються в часі. В умовах величезного розмаїття завдань, які вирішуються керівниками служб аеропорту – особливу актуальність набуває питання планування та раціонального розподілу ресурсів АНТ.

Аналіз оперативного управління НОПК вказує на те, що основний вид діяльності диспетчера з наземного контролю ПК полягає у прийнятті рішень. Прийняття рішень – це особливий вид діяльності диспетчера, який складається із вибору одного або декількох варіантів рішень, яке своєю чергою повинно забезпечити найкраще здійснення НОПК в аеропорту. Оскільки від вибору, тобто прийняття рішення, зазвичай залежить безпека та регулярність польотів ПК, а також економічні показники діяльності аеропорту.

В умовах ринкової економіки необхідно суттєво поліпшити систему планування та управління НОПК в аеропорту. Вирішення завдань, які іноді визначають відмову від звичних уявлень, застарілих методів прийняття рішень та уточнення наукових концепцій повинні враховувати сутність системи НОПК, а також елементи випадковості для перешкоджання збійних ситуацій в аеропорту.

Список літератури:

1. Андронов А.М., Хижняк А.Н. Математические методы планирования и управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятий гражданской авиации. Москва, (1977). 215 с.
2. Бабаскин В.В., Королькова М.А. Пути повышения эффективности работы авиапредприятия. Санкт-Петербург, 2011. 80 с.
3. Беленький А.С. Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования. Москва, 1992.
4. П. Бусленко В.Н. (1977). Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. Москва, 1977. 239 с.
5. Горлач Л.В. Разработка методов и алгоритмов оперативного управления процессом подготовки воздушных судов к рейсу : автореф. дис. … канд. тех. наук. Ленинград, 1990.
6. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Ленчевский В.Н. Средства обслуживания авиаперевозок : Справочник. Киев, 1987. 136 с.
7. Колясников В.А. Совершенствование технологии функционирования наземных служб для обеспечения безотказной работы аэропортового предприятия : автореф. дис. … канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2004. 24 с.
8. Куклев Е.А. Методы математического моделирования систем. Санкт-Петербург, 1998. 116 с.
9. Лисицин В.С., Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Автоматизация производственных процессов технической эксплуатации летательных аппаратов. Москва, 1985. 248 с.
10. Литвиненко А.Е. Моделирование производственных процессов в автоматизированных системах управления гражданской авиации. Учебное пособие. Киев, 1988. 72 с.
11. Принципы организации погрузочно-разгрузочных работ воздушных судов. ИАТА. 1991. 230 с.
12. Резер С.М. Взаимодействие транспортных систем. Москва, 1985. 246 с.
13. Русинов И.Я. Механизация наземного обслуживания воздушных перевозок. Москва, 1971. 252 с.
14. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: Учебник для вузов по спец. «Автоматизированные системы управления». Москва, 1985. 271 с.
15. Яшкин А.Р., Павлов А.Л. Организация управления наземными службами аэропортов. Теоретические основы оптимизации функционирования. Учебное пособие. 1983. 75 с.

Medynskyi D.V. OPTIMIZATION OF THE PROVISION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR GROUND HANDLING OF AIRCRAFTS BY AVIATION GROUND EQUIPMENT TO PREVENT FAILURE SITUATIONS AT THE AIRPORT

The work of transport should be considered as an industrial transport system, where transport enterprises and participants in the transport process are united by links of partnership and work in cooperation, performing the functions of a logistics principle with the participation of air transport. The interrelation of the rhythm and efficiency of the operation of airports, united by a single traffic schedule, requires a more optimal distribution of the hourly workload of airport services, the amount of work on servicing aircraft and preparing them for departure, both at the point of departure and at the point of arrival.

The ground handling system is considered as a set of subsystems, which in turn provide technical, commercial maintenance of aircrafts, passenger service, baggage handling, and preparation of the aircraft for departure. Based on the position of the systems approach each subsystem is considered as a separate lower level than the ground handling system, which has a specific and independent target function, the state of which can significantly affect the performance of the technological process system at the airport.

The technological process allows taking into account the physical state of technological systems at the airport in accordance with the technological schedules by the type of aircraft and the nature of the flight (initial, return, international, domestic), sequence and duration of the work performed.

The efficiency of the technological process of preparing aircrafts for departure depends on the operational work of aviation ground equipment. In the modern conditions of airport operation. The quality requirements for the planning of production chains of services are increasing, in particular, when ground handling aircraft in order to reduce emergency situations at the airport. The versatility of the types of technological work to ensure the operational activities of airports and the versatility in the use of ground equipment make it a certain difficulty in planning the work of special vehicles of the ground service for servicing aircrafts. In this regard it is necessary to fully use modern economic and mathematical, optimization methods of operational planning of the functioning of ground handling systems for aircrafts, which in turn will ensure the regularity of flights, flight safety and increase the technical and economic efficiency of ground handling processes at the airport.

Key words: *technological process, ground handling, aircraft, emergencies, airport, operational service, maintenance queuing system.*

УДК 656.61:339.168.6
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/20

Павлова Н.Л.
Одеський національний морський університет

Шибаєв О.Г.
Одеський національний морський університет

ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ВАРІАНТУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ МОРСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

Морське транспортування різних товарів і сировини в загальному світовому вантажообігу займає більше 60%. Вантажоперевезення морем є складним і трудомістким процесом, пов'язаним із рішенням цілого комплексу питань, що належать до різних рівнів планування (оперативного та стратегічного). Організацію морської доставки вантажів здійснюють зазвичай транспортно-експедиторські компанії. Однією із центральних проблем, пов'язаною з організацією вантажоперевезення морем, є проблема розробки й обґрунтування варіантів доставки, рішення якої передбачає вирішення комплексу задач, пов'язаних із вивченням та аналізом умов транспортування вантажів, траси руху суден, характеристикою портів заходу та ін.

У статті розглянуто методичні положення щодо формування й оцінки варіантів доставки вантажів при організації морських перевезень. Викладено основні принципи та засади формальної побудови всіляких варіантів схем руху суден, що проводиться на основі кореспонденції та структури вантажопотоків шляхом всілякого поєднання портів відправлення і призначення. Безліч допустимих варіантів схем доставки вантажів формується з урахуванням вимог до організації руху суден. Сформульовано основні засади та критерії моделювання завантаження суден з урахуванням схем їхнього руху. Представлено опис математичної моделі, яку пропонується використовувати для підготовки рішень про майбутню роботу суден, ключовим елементом котрої є схема руху суден. Сформовано алгоритм закріплення суден за варіантами робіт, а також основні логічні правила, покладені в його основу. Викладені методичні положення дають можливість підвищити ефективність і якість управлінських рішень при організації доставки вантажів морським транспортом, зокрема при побудові маршрутів суден, а також мінімізувати витрати, пов'язані з вантажоперевезенням морем.

Ключові слова: *транспортно-експедиторська компанія, морські перевезення, схема руху, варіант доставки вантажу, судно, порт.*

Постановка проблеми. Внаслідок зростання обсягу світового виробництва і товарообігу ринок транспортних послуг швидко розвивається. Морський транспорт відіграє провідну роль у структурі світового вантажообігу, забезпечуючи близько 60% перевезень, організація більшості яких здійснюється транспортно-експедиторськими компаніями.

Вантажоперевезення морським транспортом є складним і трудомістким процесом. Так, доставка вантажу майже завжди передбачає варіантність щодо користування різними транспортними коридорами та вузлами, можливості використання того чи іншого транспортного засобу [1–3]. Крім того, організація доставки вантажів морським транспортом вимагає збору й аналізу значного обсягу інформації. З урахуванням специфіки об'єму інформації та багатоваріантності альтернатив основними завданнями, що постають перед транспортно-експедиторськими компаніями, є забезпечення ефективного руху транспортних засобів, прогнозування та планування перевезень із побудовою найбільш ефективного маршруту з погляду витрат і часу на транспортування в різних видах повідомлень.

Таким чином, проблема розробки й обґрунтування варіантів морської доставки вантажів транспортно-експедиторськими компаніями є однією із центральних і вимагає реалізації проектних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях приділяється значна увага питанням оптимізації транспортних процесів і систем. Для випадків, коли характеристики роботи судів, напрямів або ліній суворо формалізовані, в роботах [4; 5] розглядалися імітаційні моделі з евристичними алгоритмами. Ці моделі статичні та не враховують середовище,

що динамічно змінюється, в якому функціонує морський транспорт. Також отримувані рішення не є оптимальними. У роботах [6; 7] здійснено знаходження сукупності допустимих маршрутів із подальшою їх оптимізацією. За подібного рішення стає можливим враховувати експлуатаційні обмеження та вимоги до організації руху флоту. Це дозволяє істотно понизити розмірність завдання і виключити у процесі рішення додаткові логічні перевірки.

У роботах [5; 7] запропонована двоетапна схема рішення задачі оперативного планування роботи флоту за допомогою оптимального закріплення суден за раніше сформованими маршрутами.

У праці [7] як інструмент рішення задачі розставляння флоту запропонована модель, у якої технологічні коефіцієнти є змінними величинами та здатні варіюватися в заданих межах.

Таким чином, основні завдання, пов'язані з організацією роботи суден різних типів, на досить високому рівні опрацьовані в науковій літературі. У більшості проаналізованих джерел представлені результати утворюють фундаментальну теоретичну і методичну базу, яка може бути доповнена і розвинена з урахуванням сучасних умов роботи транспортно-експедиторських компаній з організації доставки вантажів.

Постановка завдання. Метою статті є розробка методичних рекомендацій щодо прийняття проєктних рішень з оцінки варіантів доставки при експедируванні вантажів, що забезпечить підвищення ефективності транспортних операцій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рішення проблеми формування й оцінки варіантів доставки вантажів морським транспортом одержувачу передбачає вирішення таких завдань (рис. 1):

– вивчення траси руху суден (навігаційних умов, ширини каналів, що дозволяє сформувати вимоги до суден під перевезення вантажів);

– характеристики портів заходження суден (глибини біля причалів, обладнання перевантажувальної технікою, ширини причального фронту, наявності складських приміщень і т. д., що дозволить доповнити вимоги до суден);

– аналізу вантажів (питомо-навантажувального об'єму, габаритів вантажного місця, вимог до зберігання й умов перевезення);

– вибору суден, які доцільно використовувати для доставки вантажів.

Побудова варіантів доставки вантажів. Цей етап, у свою чергу, передбачає:

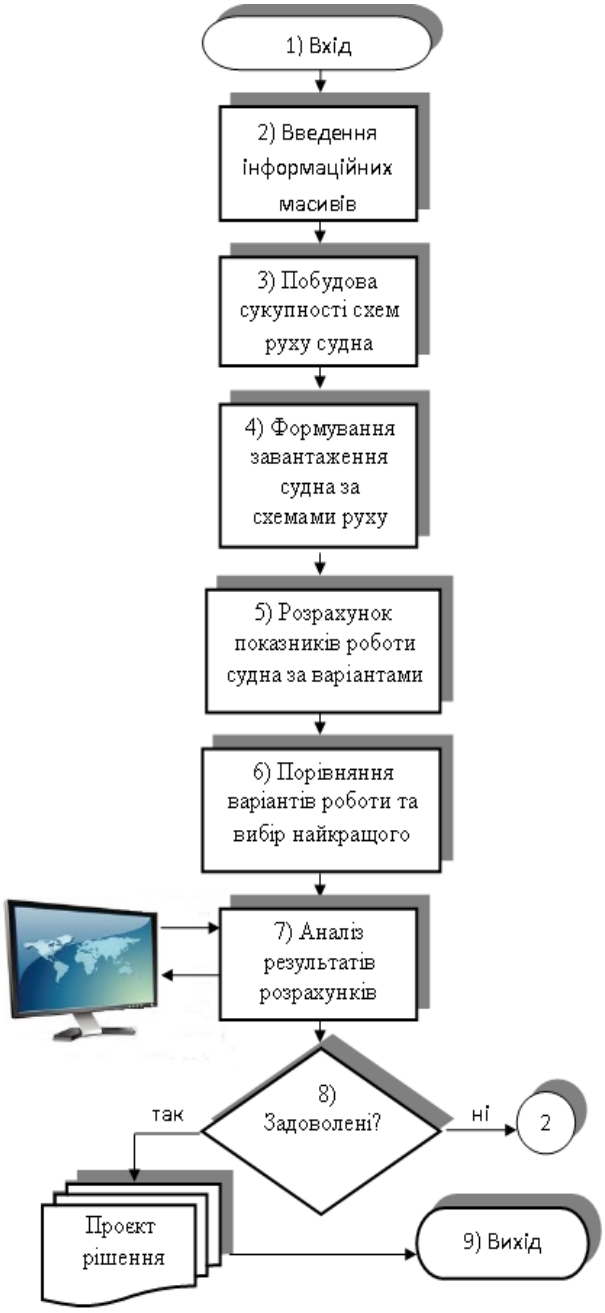


Рис. 1. Схема вирішення завдання з розроблення й оцінки варіантів

– формальну побудову схем руху судна на основі концепції та структури вантажопотоків шляхом всілякого поєднання портів відправлення і призначення;

– визначення сукупності допустимих варіантів схем з урахуванням вимог до організації руху судна;

– розрахунок завантаження судна за схемами руху часу рейсу, експлуатаційних і фінансових показників.

Формальна побудова всіляких варіантів схем руху проводиться поєднанням пар портів для пев-

ного періоду часу. У кожному поєднанні поділяються порти завантаження і розвантаження. Однакові найменування портів об'єднуються. Усередині кожного такого поєднання виконуються всілякі перестановки портів завантаження і розвантаження.

Проводиться перевірка можливості роботи розглянутого судна за схемами руху і відповідність ротації портів у них вимогам організації руху суден на лініях і практиці роботи судноплавства загалом. Варіанти схем руху, що не відповідають цим вимогам, виключаються з подальшого розгляду.

Перевірка можливості роботи судна за схемою руху, виходячи з його осідання, а також відповідності послідовності портів вимогам до організації руху флоту на лініях і практиці роботи судноплавної компанії виконується на основі попередньо сформованих матриць. У кожній матриці для логічної перевірки цих умов у верхньому рядку записуються всі порти регіону діяльності судноплавної компанії. У лівому стовпчику в першому випадку – судна, у другому – порти. Послідовність запису портів аналогічна з верхнім рядком матриць.

На перетині кореспондуючих портів, а також суден і портів вказується ознака 0 або 1. Якщо на перетині стоїть 1, то захід судна в порт допустимий або ця послідовність портів можлива, 0 – в іншому випадку.

З решти варіантів схем відповідно до заданого критерію доцільною ротації портів вибирається оптимальна схема руху, наприклад, по мінімуму відстаней.

Моделювання завантаження виконується за таких умов: виходячи з роду вантажу і його кількості Q_j для кожної пари портів j, визначаються середньозважені значення питомої навантажувального обсягу u_j і тарифної (фрахтової) ставки:

– судна можуть рухатися за схемами руху, що складаються з однієї, двох і більшого числа пар портів. Проводиться часткове або повне завантаження, розвантаження або довантаження в кожному проміжному порту на групу наступних портів;

– схеми руху, для яких неможливе раціональне завантаження судна, виключаються з розгляду. Для цього перевіряються умови:

$$\sum_{j=1}^{n_l} Q_j \geq K_н D_ч \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n_l} u_j Q_j \geq K_н W_к \qquad (2)$$

де $K_н$ – коефіцієнт, котрий встановлює нижні межі вантажопідйомності (вантажомісткості), за яких ще економічно доцільна робота судна за розглянутою схемою руху.

На кожну пару портів розраховується квота вантажопідйомності або вантажомісткості судна. Відповідно до квоти визначається маса вантажу, яка може бути прийнята на судно до повного використання вантажопідйомності $D_ч$ і місткості вантажних приміщень $W_к$.

Як відомо, значення чистої вантажопідйомності не є для судна постійною величиною, тому розрахунки по завантаженню виконуються ітеративно.

Після попередньої обробки вихідних даних встановлюються квоти вантажопідйомності та вантажомісткості судна на кожну пару портів схеми руху.

Для формулювання алгоритму наведемо короткий опис математичної моделі, прийнятої для підготовки рішень про майбутню роботу суден.

Є сукупність відомостей про структуру вантажопотоків: маса Qi; порти відправлення і призначення (пара портів i). Вантажопотоки можуть бути освоєні суднами C.

Безліч варіантів роботи кожного судна {Mc} включає в себе схеми руху та завантаження.

Виходячи з наведеної постановки, пропонується така математична модель задачі:

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{j=1}^{J_c} R_{cj} x_{cj} \to \min \qquad (3)$$

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{j=1}^{J_c} q_{icj} x_{icj} \leq Q_i, \quad (i=\overline{1, I}) \qquad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{J_c} x_{cj} = 1, \quad (c=\overline{1,C}), \qquad (5)$$

$$x_{cj} \in (0,1), \quad (c=\overline{1,C};\ j=\overline{1,J_c}) \qquad (6)$$

де R_{cj} – витрати вантажовласника при перевезенні вантажу c-им судном за j-ю схемою;

Q_i – маса вантажів, пред'явлених до експедиції між портами відправлення і призначення (пара портів i);

q_{icj} – завантаження судна c вантажем i по варіанту доставки j;

x_{cj} – параметр управління.

$$x_{cj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо судно закріплено за варіантом роботи M;} \\ 0 \text{ - в протилежному випадку.} \end{cases}$$

Всі інші позначення ті самі що і прийняті вище.

У наведеній математичній моделі цільова функція (3) визначає таке закріплення суден за варіантами роботи, яке забезпечить отримання мінімальних витрат від доставки вантажів одержувачу.

Обмеження (4) встановлює, що маса вантажу, який перевозиться суднами між двома кореспондуючими портами, повинна дорівнювати його заявленій кількості.

Рівняння (5) характеризує неприпустимість одночасного використання судна на декількох варіантах робіт.

Таким чином, виходячи зі структури моделі та її місця в загальному комплексі питань організації експедирування вантажів, необхідна розробка спеціального алгоритму розв'язання задачі. Строки та точність одержуваних результатів повинні відповідати термінам проведення узгодження при укладенні договору на транспортну експедицію.

– Судна закріплюються за варіантами робіт за мінімальним значенням витрат за умови виконання системи обмежень (4) – (6).

– Послідовність розгляду суден залежить від величини R_c, яка визначається як середнє значення доходів від роботи судна на варіантах $\{M_c\}$:

$$\overline{R_c} = \frac{1}{n_c}\sum_{M=1}^{n} R_c^M \qquad (7)$$

Відповідно до викладеного логічними правилами значення R_c упорядковуються, і проводиться їх нова індексація в порядку убування.

$$\overline{R}_1 < \overline{R}_1 < \ldots < \overline{R}_m \qquad (8)$$

Для кожного судна варіанти робіт розташовуються в аналогічній послідовності. Перший варіант забезпечує отримання максимального значення доходу судну с, відповідно останній варіант – мінімального.

$$\overline{R}_c^1 < \overline{R}_c^2 < \ldots < \overline{R}_c^{n_c} \qquad (9)$$

Витрати судна від роботи за схемою руху розраховуються за такою залежністю:

$$R_c^M = \sum_{j=1}^{J_M} r_j q_{cj}^M, \ (c=\overline{1,m};\ M=\overline{1,n_c}) \qquad (10)$$

Будується таблиця розрахунку. У перших двох рядках таблиці вказуються судна і варіанти їх робіт відповідно до пріоритетних рядів (3.8) – (3.9). В останньому рядку відповідні їм витрати (3.12). Останній стовпець містить кількість вантажів, заявлених до перевезення Qj. На перетині номерів варіантів робіт і пар портів вказується величина завантаження, якщо ця пара портів входить у розглянуту схему руху. Якщо пара портів не входить у схему руху, то величина завантаження приймається рівною 0 (табл. 1).

Закріплюються судна за варіантами робіт. Порядок розрахунку по закріпленню суден за варіантами робіт представлений на рис. 2.

Послідовність операцій передбачає:

– вибір із пріоритетного ряду першого судна. Аналіз можливості закріплення його за варіантом роботи M_1^1, тобто перевірка виконання системи обмежень (4) – (5). У разі задоволення всіх обмежень судно однозначно закріплюється за маршрутом M_1^1 і одночасно коригується права частина обмежень;

– перехід до наступного судна відповідно до пріоритетних рядів (8);

Таблиця 1

Закріплення суден за варіантами робіт

									Кількість вантажу Q_i
1			…			m			
M_1			…			M_m			
1	…	n_1				1	…	n_m	
q_{11}^1 …… $q_{11}^{n_1}$ …… q_{m1}^1 …… $q_{m1}^{n_m}$ q_{1j}^1 …… $q_{1j}^{n_1}$ …… q_{mj}^1 …… $q_{mj}^{n_m}$ q_{1J}^1 …… $q_{1J}^{n_1}$ …… q_{mJ}^1 …… $q_{mJ}^{n_m}$									Q_i … Q_j … Q_J
R_1^1	……	R_1^{n1}	……	……	……	R_m^1	…..	$R_m^{n_m}$	

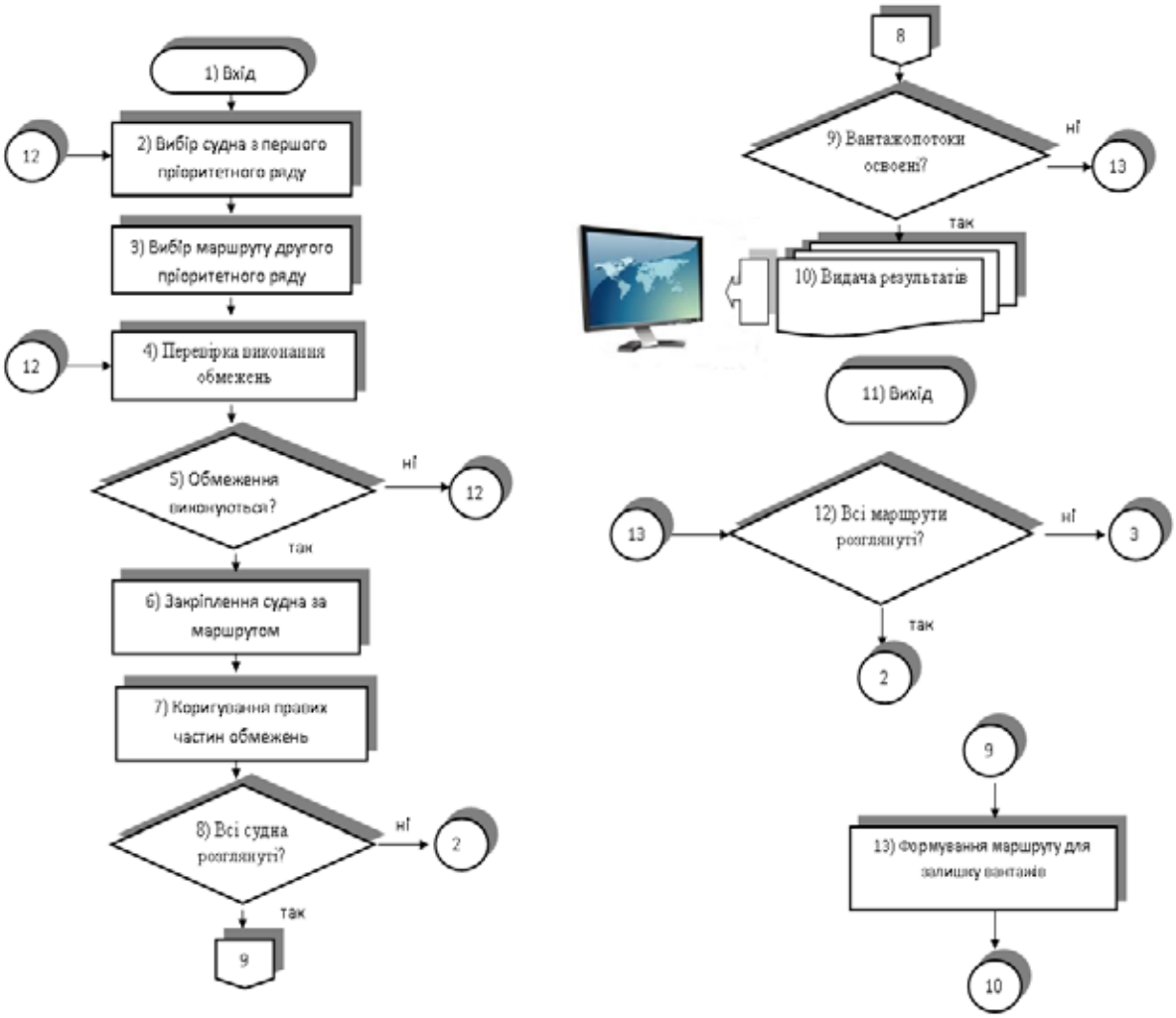


Рис. 2. Алгоритм закріплення суден за варіантами робіт

– якщо маршрут не задовольняє обмеження (4) – (5), то здійснюється перехід до розгляду варіанту щодо пріоритетного ряду (9).

Зазначений розрахунок виконується доти, поки не будуть закріплені всі судна або вичерпаний обсяг перевезень.

Висновки. Викладені методичні положення дають можливість підвищити ефективність і якість управлінських рішень при організації доставки вантажів морським транспортом, зокрема при побудові маршрутів суден, а також мінімізувати витрати, пов'язані з вантажоперевезенням морем.

Список літератури:

1. Плужников К.И. Транспортное экспедирование. Москва : РосКонсультант, 1999. 576 с.
2. Организация и планирование работы морского флота / под общ. ред. А.А. Союзова. Москва : Транспорт. 1979. 416 с.
3. Korol V.Y. Systems representation and functional unity of transport, vehicular and cargo handling processes. *Modern engineering and innovative technologies. Heutiges Ingenieurwesen und innovative Technologien: International periodic scientific journal. Sergeieva&Co Karlsruhe.* 2018. № 5. Vol. 3. P. 72–79. doi 10.30890/2567-5273.
4. Громовой Э.П. Математические методы и модели в планировании и управлении на морском транспорте. Москва : Транспорт, 1979. 360 с.
5. Шибаев А.Г. Обобщение и развитие моделей оптимальной расстановки флота морской судоходной компании. *Вісник Одеського державного морського університету*. 1998. № 2. С. 66–72.
6. Шибаев А.Г., Вишневський Д.О. Обоснование параметров эффективности линейного сервиса универсальных судов для грузовладельца и судовладельца. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2015. № 4 (46). С. 10–25.
7. Левый В.Д. Оперативное управление работой флота. Москва : Транспорт, 1981. 157 с.

Pavlova N.L., Shibayev O.G. PROJECT DECISIONS TO JUSTIFY THE OPTION OF DELIVERY OF CARGO BY MARITIME TRANSPORT

Maritime transportation of various cargoes and raw materials in the total world cargo turnover is over 60%. Shipping is a complex and time-consuming process involving a number of issues related to different levels of planning (operational and strategic). The organization of sea delivery of cargo is carried out, as a rule, by freight forwarding companies. One of the central problems associated with the organization of maritime freight is the problem of developing and justifying delivery options, the solution of which involves solving a set of problems related to the study and analysis of cargo transportation conditions, ship routes, characteristics of ports of call, etc.

The article considers the methodological provisions for the formation and evaluation of options for the delivery of cargo in the organization of maritime transport. The basic principles and principles of formal construction of various variants of schemes of movement of vessels which are carried out on the basis of correspondence and structure of cargo flows by various combination of ports of departure and destination are stated. The set of admissible variants of schemes of delivery of cargoes is formed taking into account requirements to the organization of movement of vessels. The basic principles and criteria for modeling the loading of ships are formulated, taking into account the schemes of their movement. A description of the mathematical model that is proposed to be used to prepare decisions on the future operation of ships, a key element of which is the scheme of ship traffic. The algorithm of fixing of vessels on variants of works, and also the basic logical rules which are put in its basis is formed. These guidelines make it possible to increase the efficiency and quality of management decisions in the organization of cargo delivery by sea, in particular in the construction of ship routes, as well as to minimize the costs associated with maritime freight.

Key words: *freight forwarding company, maritime transportation, traffic scheme, cargo delivery option, ship, port.*

УДК 629.463.001.63
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/21

Фомін О.В.
Державний університет інфраструктури та технологій

Кара С.В.
Філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту»
АТ «Українська залізниця»

Прокопенко П.М.
Державний університет інфраструктури та технологій

Горбунов М.І.
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Фомін В.В.
АТ «Українська залізниця»

КОМПЛЕКСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ПІСЛЯ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

З метою виконання безперебійних і безпечних пасажирських перевезень актуальним є завдання щодо забезпечення експлуатації рухомого складу поза подовженим строком служби, у т. ч. пасажирських вагонів. Технічний стан після виконання планових ремонтів парку пасажирських вагонів і візків пасажирських вагонів після тривалого періоду експлуатації показує, що значна їх частина перебуває у задовільному технічному стані та має перспективи для подальшої безпечної експлуатації. На залізницях України нині експлуатуються пасажирські вагони різних моделей і модифікацій із терміном служби, який перевищує встановлений заводом виробником або який наближається до граничного. Щоб вирішити питання можливості подальшої безпечної експлуатації із закінченим призначеним терміном служби, виконується технічне діагностування пасажирських вагонів і їхніх візків. Зменшено фінансування для проведення закупки нового рухомого складу, у недостатній кількості проведено капітальні ремонти пасажирського рухомого складу для виконання безперебійних пасажирських перевезень залізничним транспортом. Актуальним є завдання виконання робіт із комплексного дослідження міцнісних характеристик пасажирських вагонів із візками для визначення залишкового ресурсу та можливості подальшої безпечної експлуатації пасажирських вагонів із візками в межах України за межами встановленого заводом-виробником терміну служби. Проведення комплексу робіт щодо визначення міцнісних характеристик несучих конструкцій пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНИИ дасть змогу продовжити термін експлуатації технічно справних кузовів пасажирських вагонів і рам візків без надлишкових витрат на їхнє повне оновлення. У межах цієї роботи проведено аналіз умов експлуатації пасажирських вагонів і візків, описано процес контрольних випробувань кузовів пасажирського вагона та візків, досліджено міцнісні характеристики кузовів пасажирського вагона та візків.

Ключові слова: *пасажирський вагон, візок, строк служби, випробування, несучі конструкції, міцність.*

Постановка проблеми. Необхідно сформулювати доцільність виконання комплексу робіт із визначення й оцінювання міцнісних характеристик кузовів пасажирських вагонів і їхніх візків (тип КВЗ-ЦНИИ) після тривалої експлуатації.

Проведений комплекс робіт з оцінки та визначення показників міцності кузова пасажирського вагона та рами візка зі встановленням можливості подальшої безпечної експлуатації дослідних об’єктів. Проведений аналіз стану кузовів пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНИИ, який вказує на те, що більша їх частина перебуває у задовільному технічному стані, але визначення можливості подальшої безпечної експлуатації кузовів і рам візків пасажирських вагонів експлуатації вагонів потребує теоретичних та експериментальних підтверджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню несучої здатності кузовів пасажирських вагонів і рам візків типу КВЗ-ЦНИИ

приділено не достатньо уваги. Робота [1] описує вивчення несучої здатності напіввагонів 12-9745. У матеріалі [2] описано покращення несучих конструкцій вагонів, у т. ч. і шляхом збільшення терміну експлуатації. Підвищення терміну досягається методом покращення конструктивних особливостей, як приклад, використанням матеріалів із покращеними характеристиками. Роботи з покращення несучої конструкції кузова вантажного вагона з метою забезпечення надійності його закріплення на палубі порому описані у [3; 4]. Оцінка точності транзиту через залізничні колії для переміщення сировини та готової продукції зроблена у [5; 6]. Особливості конструкції вагона для інтермодальних перевезень наведені у [7]. Вагон включає в собі знижену середню частину, а оборотна частина дає можливість здійснювати завантаження / вивантаження автотехніки самокатом. Праця [8] описує дослідження з визначення й оцінки характеру та рівня впливу різних моделей вантажних візків на показники міцності несучих конструкцій вагонів, але не передбачене питання визначення впливу на кузови, які експлуатуються з терміном, що перевищує встановлений. У роботах [9; 10] проаналізовано особливість руху і взаємодію одиниць сучасного рухомого складу. Показники, які характеризують експлуатаційні зноси, не розглянуті. Із викладеного вище аналізу можна зробити висновок, що нині питання можливості подальшої експлуатації несучих конструкцій кузовів і рам візків пасажирських вагонів за межами встановленого терміну служби повною мірою не вирішувалося.

Постановка завдання. Мета статті – описання практичних і теоретичних аспектів проведення комплексних досліджень кузовів і рам візків пасажирських вагонів із визначенням показників міцності несучих конструкцій кузовів і рам візків та встановлення на основі отриманих результатів можливості їх подальшої безпечної експлуатації на залізницях України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктами досліджень було обрано некупейний пасажирський вагон побудови КВЗ 1979 р. побудови (рис. 1) і візок типу КВЗ-ЦНИИ 1974 р. виготовлення (рис. 2).

Комплексні дослідження кузова пасажирського вагона. Виконавши аналіз особливості конструкції несучих систем не купейного пасажирського вагона та відмови в експлуатації, розроблено схему встановлення тензорезисторів на несучих конструкціях пасажирського вагона (рис. 3).

Комплекс робіт із визначення й оцінки показників міцності кузова пасажирського вагона включав у себе такі випробування: випробування скидання із клинів і типові випробування на міцність при зіткненні.

Завдання випробувань скидання із клинів – оцінка власних частот коливань і динамічних напружень в елементах рами кузова вагона. Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання із клинів». Суть випробування полягає в тому, що під колеса досліджуваного об'єкта залежно від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

Завданням випробувань на міцність при зіткненні є визначення й оцінювання динамічних напружень і деформацій у несучих конструкціях рами кузова вагона в дослідних місцях при прикладанні нормативних навантажень через автозчеп і визначення коефіцієнту запасу опору втомі.

Рис. 1. Дослідний пасажирський вагон

Рис. 2. Дослідний візок типу КВЗ-ЦНИИ

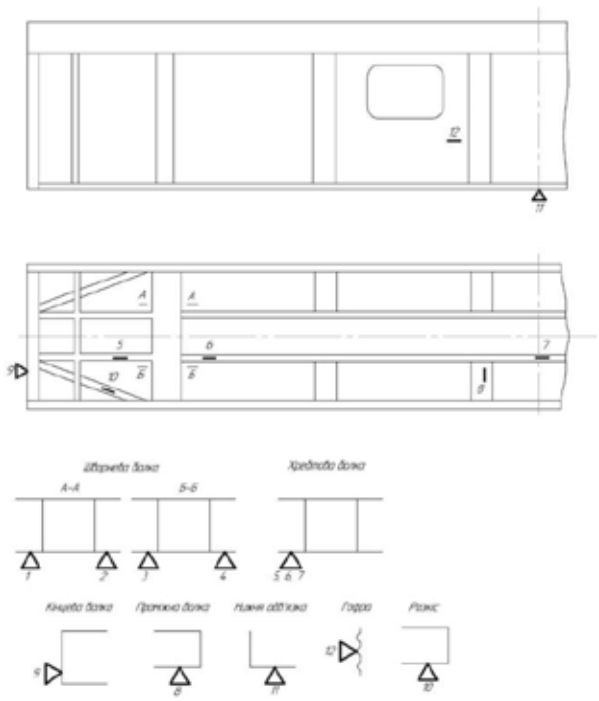


Рис. 3. Схема розміщення тензорезисторів на рамі вагона

Для визначення поздовжніх зусиль, що діють на випробовуваний вагон в момент удару, застосовується автозчеп-динамометр, обладнаний тензорезисторами та попередньо проградуйований статичним навантаженням до 3,5 МН на стенді.

Схема встановлення рухомих одиниць під час ударних випробувань наведена на рис. 4.

Співудари вагона при випробуваннях на співудар проводять у діапазонах швидкостей: від 3 до 6 км/год – 3 удари; від 6 до 10 км/год – 3 удари; від 10 до 6 км/год – 1 удар.

При визначенні залишкового строку служби вагона враховується вертикальне та поздовжнє динамічні навантаження, які виникають у процесі експлуатації. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$T_p = \frac{\left(\dfrac{\sigma_{a,N}}{[n]}\right)^m \cdot N_0}{N_{cI} \cdot \sum_j \left(\sigma_{aj}^I\right)^m \cdot P_j^I + N_{cII} \cdot \sum_k \left(\sigma_{aj}^{II}\right)^m \cdot P_k^{II}} \quad (1)$$

де T_p – розрахунковий залишковий строк служби вагона, роки;

$\sigma_{a,N}$ – межа витривалості (по амплітуді) для контрольної зони при симетричному циклі та встановленому режимі навантаження при базовому числі циклів, МПа;

M – показник ступеня в рівнянні кривої втоми. Для зварних конструкцій із прокату без зміцнювальної обробки швів $m=4$;

$[n]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу опору втоми для вибраної зони вагона, $[n]=1{,}5$;

N_0 – базове число циклів, $N_0 = 10^7$;

N_{cI} N_{cII} – число циклів за 1 рік експлуатації для кожного з експлуатаційного навантаження (вертикального та повздовжнього);

$\sigma_{aj}^I, \sigma_{aj}^{II}$ – амплітуди динамічних напруг, приведених до симетричного циклу для кожного з експлуатаційних навантажень і їхніх діапазонів, МПа;

P_j – ймовірність появи амплітуди з рівнем σ_{aj}.

$$\sigma_{aN} = \sigma_{aN}^{-}\left(1 - z_p \upsilon\right), \quad (2)$$

де z_p – квантиль розподілення, що відповідає односторонній ймовірності 95%, $z_p = 1{,}645$;

υ – коефіцієнт варіації порогу витривалості деталі:

– для зварних рам і балок із листового та фасонного прокату при автоматичній зварці під шаром флюсу і всередині захисного газу $\upsilon = 0{,}05$;

– також при напівавтоматичній і ручній зварці $\upsilon = 0{,}07$;

σ_{aN}^{-} – середнє розрахункове значення порогу витривалості рами:

$$\sigma_{aN}^{-} = \frac{\sigma_{-1}^{-}}{(K_\sigma^{-})_k}, \quad (3)$$

σ_{-1}^{-} – середнє значення порогу витривалості гладкого стандартного зразка із матеріала рами при симетричному циклі згину на базі N_0.

$(K_\sigma^{-})_k$ – середнє значення коефіцієнта зниження порогу витривалості рами щодо порогу витривалості гладкого стандартного зразка, $(K_\sigma^{-})_k = 4{,}5$.

Для оцінки показників опору втомі враховуються напруження несучих конструкцій вагону під час випробувань:

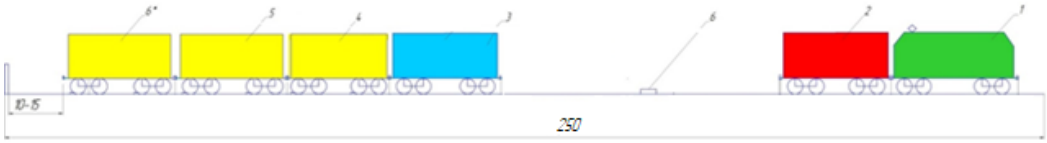


Рис. 4. Схема розміщення рухомого складу під час випробувань: 1 – Локомотив; 2 – вагон бойок; 3 – дослідний вагон; 4, 5, 6* – вагони підпори; 6 – пристрій для вимірювання швидкості

– сил, що виникають під час руху вагону під час коливань підскакування, скручування кузова, галопування та бокової хитавиці;

– сили взаємодії між вагонами, вагона з локомотивом, гальмування, співударів.

Оцінка n – запасу опори втомі виконується таким чином.

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,e}} \geq [n] \quad (4)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі в разі симетричного циклу та сталого режиму навантаження на базі випробування $N_0=10^7$ циклів, МПа.

$\sigma_{a,e}$ – розрахункове значення амплітуди динамічного напруження умовного симетричного циклу, приведене до бази N_0, еквівалентне за пошкоджуваною дією реальному режиму експлуатаційних випадкових напружень протягом проектного терміну служби, МПа.

Комплексні дослідження рами візка типу КВЗ-ЦНИИ пасажирського вагона. Відповідно до розробленої схеми на основі аналізу особливостей конструкції рами візка та відмов в експлуатації розроблено схему (рис. 5) встановлення тензорезисторів на рамі візка.

Після встановлення та підключення засобів вимірювальної техніки до реєструючої апаратури було сформовано вимірювальний комплекс для діагностики та випробувань рухомого складу, який складається із програмно-апаратного автоматичного реєстратора, комплекту комунікаційних кабелів, комп'ютера і програмного забезпечення. Після підключення та перевірки вимірювального комплексу проведено ходові міцнісні випробування для визначення блоків навантажень у дослідних місцях, які надалі будуть використані для оцінки показників міцності рами візка типу КВЗ-ЦНИИ.

На основі отриманих результатів ходових міцнісних випробувань дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху, характерними особливостями ділянки шляху (пряма, крива, стрілки, тощо), режимами руху (розгін, гальмування) вагона та визначається амплітудно-частотний склад напружено-деформованого стану в елементах конструкції у діапазоні від 0,3 Гц до 30,0 Гц з метою оцінки коефіцієнту запасу опору втомі за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{a,N}}{\sigma_{a,э}} \geq [n], \quad (5)$$

де $\sigma_{a,N}$ – границя витривалості (за амплітудою) натурної деталі за симетричним циклом і встановленим режимом навантажень;

$\sigma_{a,э}$ – розрахункова величина еквівалентної амплітуди динамічного напруження у реальному режимі експлуатаційних випадкових навантажень за проектний термін служби конструкції;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу опору втомі.

Динамічна складова частина напружень розрахована таким чином:

$$\sigma_{a,э} = \sqrt[m]{\frac{T_P f_Э}{N_0} \sum_{j=1}^{n} K_{yrj} \sum^{Kvi} P_{vi} \sum^{K_{\sigma i}} \sigma_{ai}^{m} P_{\sigma i}}, \quad (6)$$

де m – показник ступеня в рівнянні кривої втоми в амплітудах

$$m = \frac{A}{(\bar{K}_b)_k}, \quad (7)$$

де A – коефіцієнт згідно з [11],

$(\bar{K}_b)_k$ – середнє значення загального коефіцієнту зниження границі витривалості натурної деталі щодо границі витривалості гладкого стандартного зразка згідно з [11].

Ця публікація виконана в рамках проєкту: «Розроблення концептуальних засад для відновлення ефективного функціонування застарілих вантажних вагонів (Development of conceptual

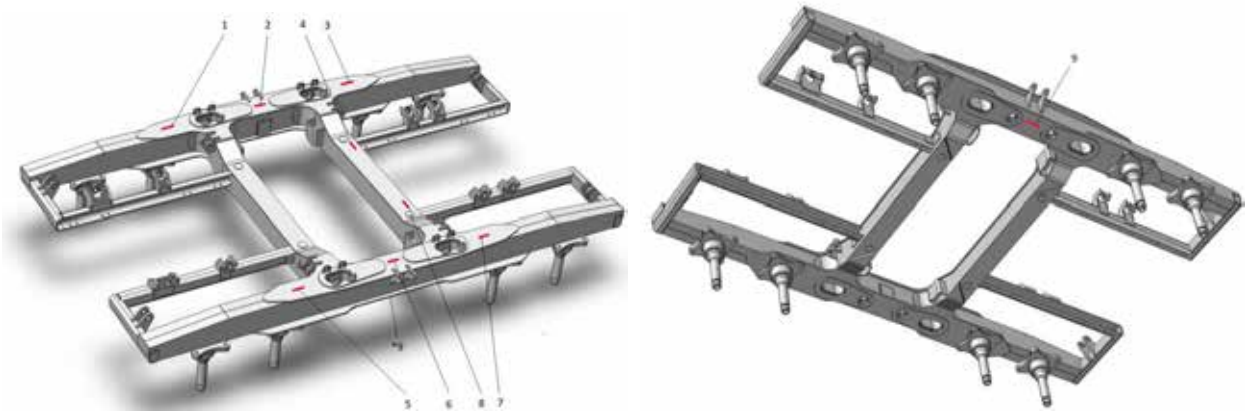


Рис. 5. Схема встановлення тензорезисторів на візку

frameworks for restoring the efficient operation of obsolete freight cars)» (Реєстраційний номер проєкту: 2020.02/0122), фінансування якого здійснюється Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету.

Висновки. За результатами проведених комплексних теоретичних і практичних досліджень із визначення міцнісних показників і можливості подальшої безпечної експлуатації несучих металевих конструкцій кузова та рами візка типу КВЗ-ЦНИИ пасажирського вагона встановлено, що стан несучих металевих конструкцій кузовів і рам візків пасажирських вагонів після тривалої експлуатації не наближається до гранично допустимих: для кузовів [n] = 1,5; для візків [n] = 1,7 згідно з [11].

Таким чином, отримані теоретичні та практичні результати дозволяють розробити комплекс робіт і заходів для забезпечення подальшої безпечної експлуатації пасажирських вагонів із візками, які експлуатуються на залізницях України, та встановлення терміну їхньої подальшої роботи.

Список літератури:

1. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.* 2013. Вип. 6 (83). С. 87–91.

2. Фомін О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* 2012. № 26. С. 29–33.

3. Lovska, A.A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 1. P. 49–54.

4. Nader M., Sala M., Korzeb J., Kostrzewski A. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczep siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. *Logistyka*. 2014. № 4. P. 2272–2279.

5. Фомін О.В., Гостра А.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів, *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології».* 2015. Вип. 26–27. С. 137–147.

6. Divya Priya G., Swarnakumar A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. Vol. 2. № 6. P. 1568–1580.

7. Krason W., Niezgoda 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. Iss. 4. P. 843–851.

8. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles / S. Sapronova, V. Tkachenko, O. Fomin, V. Gatchenko, S. Maliuk. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6. Issue 7 (90). P. 19–25. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.116194.

9. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production / S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. *Scientific Bulletin of National Mining University*. Issue 1. 2018. P. 162–169 DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/3.

10. Durability Determination of the Bearing Structure of an Open Freight Wagon Body Made of Round Pipes during its Transportation on the Railway Ferry / O. Fomin, J. Gerlici, A. Lovska, K. Kravchenko, P. Prokopenko, A. Fomina, V. Hause. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina.* 21. № 1. 2019. P. 28–34.

11. ДСТУ 7774:2015 Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частини вагонів.

Fomin O.V., Kara S.V., Prokopenko P.M., Gorbynov N.I., Fonin V.V. COMPLEX RESEARCH STRENGTH CHARACTERISTICS OF PASSENGER WAGON AFTER A LONG OPERATION

To ensure uninterrupted and safe performance of passenger transport, the task of ensuring the operation of rolling stock outside the extended service life, including passenger wagon, remains relevant. The analysis of the technical condition, after the planned types of repairs, the fleet of passenger wagon and carriages of passenger wagon after a long period of operation shows that a significant part of them is in satisfactory technical condition and has prospects for further safe operation. At present, passenger cars of various models and their modifications with an extended service life, which is approaching the limit, are in operation on the railway network of Ukraine. To resolve the issue of the possibility of further operation with an expired service life, their technical diagnosis is carried out. Due to insufficient funding for the purchase of new wagon, and insufficient capital repairs of passenger rolling stock, to ensure the smooth performance of passenger transport by rail, the task of conducting a comprehensive study of the strength characteristics of passenger wagon with carts, to determine residual resource and the possibility of further safe operation of passenger

wagon with carts within Ukraine outside the service life set by the manufacturer. Carrying out a set of works to determine the strength characteristics of non-seeded structures of passenger cars and bogie frames of KVZ-TSNII type will allow to extend the service life of technically serviceable bodies of passenger wagon and bogie frames without excessive costs for their complete renovation. Within the framework of this work the analysis of conditions of operation of passenger cars and carts is carried out, the process of control tests of bodies of passenger wagon and carts is described, research of strength characteristics of bodies of passenger cars and carts is carried out.

Key words: *passenger wagon, trolley, service life, tests, load-bearing structures, strength.*

УДК 629.463.62
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/22

Фомін О.В.
Державний університет інфраструктури та технологій

Ловська А.О.
Український державний університет залізничного транспорту

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З В'ЯЗКИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ У ПОВЗДОВЖНІХ БАЛКАХ

Розвиток та успішне функціонування залізничної галузі вимагає впровадження в експлуатацію інноваційних конструкцій рухомого складу. Досягти цього можливо за рахунок використання нових технічних рішень на стадії проектування несучих конструкцій вагонів із використанням принципів мультифункціональності (можливості виконувати декілька функцій).

Для зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів і покращення втомної міцності пропонується впровадження в них матеріалів із в'язкими властивостями. Таке рішення реалізоване на прикладі довгобазної несучої конструкції вагона-платформи для перевезення контейнерів моделі 13-7024 побудови ПАТ «КВБЗ».

Розміщення в'язких елементів передбачається у повздовжніх балках рами як основних несучих елементів. Для цього пропонується заміна основних повздовжніх балок рами балками П-подібного профілю, перекритими горизонтальними листами. Усередині профілю розміщується матеріал із в'язкими властивостями. Передбачається гасіння динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію, за рахунок сил в'язкого опору, що виникають в основних повздовжніх балках рами.

Для визначення динамічної навантаженості вагона-платформи із в'язкими зв'язками у повздовжніх балках проведено математичне моделювання. Дослідження проведені у плоскій системі координат – площині XZ. Розв'язок диференціальних рівнянь руху здійснений у програмному комплексі MathCad.

Прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, склали близько 2,1 м/с^2 (≈ 0,2g) і не перевищують допустимі значення відповідно до нормативної документації.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу, зменшенню його динамічної навантаженості в експлуатації, покращенню втомної міцності, а також підвищенню ефективності використання залізничного транспорту.

Ключові слова: *вагон-платформа, несуча конструкція, динамічна навантаженість, моделювання динаміки, прискорення конструкції.*

Постановка проблеми. Забезпечення конкурентоспроможності залізничної галузі на ринку транспортних перевезень зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію інноваційних конструкцій рухомого складу. Важливо зазначити, що на стадії проектування такого рухомого складу особлива увага повинна приділятися несучим конструкціям. Для створення інноваційних несучих конструкцій вагонів необхідне забезпечення їхньої мультифункціональності, під якою розуміються можливості виконувати об'єктом декілька функцій в експлуатації.

Водночас однією з найпоширеніших проблем залишається забезпечення втомної міцності несучих конструкцій вагонів, особливо довгобазних, наприклад, вагонів-платформ. Відомо, що такі вагони випробовують дію періодичних циклічних навантажень у вертикальній і повздовжній площинах. Це зумовлює пошкодження несучих елементів конструкції вагонів, тому важливим при проектуванні таких вагонів є впровадження заходів, спрямованих на підвищення втомної міцності несучих конструкцій шляхом використання нових інноваційних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження міцності несучої конструкції вагона-платформи для комбінованих перевезень описані у роботі [1]. Розрахунки проводилися на основі стандартів PN-EN.

Особливості проектування, аналізу та проектної розробки залізничних вагонів наведено у [2]. Дослідження проведені для Індійської залізниці.

Використані міжнародні стандарти для різних умов завантаження, дотримання оптимальних габаритів вагонів тощо.

Однак при проектуванні конструкції вагонів не враховано заходи щодо зменшення втомної міцності їхніх несучих конструкцій за експлуатаційних режимів навантаження.

Динаміка несучої конструкції вагона вивчається у роботі [3]. До уваги взяте використання різних типів візків під вагонами, однак авторами не проводилося дослідження впливу технічних характеристик візків на втомну міцність несучих конструкцій вагонів.

Результати розрахунку на міцність несучої конструкції вагона-платформи наведені в [4]. Вагон має понижену середню частину рами, а хребтова балка проходить лише в консольних частинах, однак у роботі не зазначено, чи покращується втомна міцність несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням запропонованих технічних рішень.

Аналіз конструкцій інноваційного рухомого складу, побудови «Уралвагонзавода» проведений у праці [5]. Висвітлені питання щодо модернізації рухомого складу та його складників для підвищення ефективності роботи. Заходи щодо зменшення динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів для покращення втомної міцності в роботі не розглядаються.

Особливості конструкції та проектування універсального довгобазного вагона для інтермодальних перевезень у Європі висвітлюються у [6]. Наведені результати розрахунку несучої конструкції вагона на міцність, однак при проектуванні вагона не запропоновано заходів щодо зменшення його динамічної навантаженості в експлуатації.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень міцнісних якостей елементів рухомого складу на прикладі хребтової балки вантажного вагона висвітлюється у [7]. Розрахунки виконано з використанням сучасного пакету прикладних програм. Важливо зазначити, що такий підхід може бути реалізований стосовно металевих несучих конструкцій вагонів. Тобто використання його для дослідження мультифункціональних і мультиматеріальних конструкцій не є доцільним.

Аналіз літературних джерел [1–7] дозволяє зробити висновок, що досі питання покращення втомної міцності несучих конструкцій довгобазних вагонів із в'язкими зв'язками у повздовжніх балках не висвітлювалися. Це викликає необхідність проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Постановка завдання. Метою статті є визначення вертикальних прискорень несучої конструкції вагона-платформи із в'язкими зв'язками у повздовжніх балках для покращення втомної міцності в експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для зменшення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи та підвищення втомної міцності за експлуатаційних режимів пропонується впровадження у неї в'язких елементів. Розміщення в'язких елементів передбачається у повздовжніх балках рами як її основних несучих елементах. Для цього пропонується заміна основних повздовжніх балок рами на балки П-подібного профілю, перекритого горизонтальним листом (рис. 1). Усередині профілю розміщується матеріал із в'язкими властивостями.

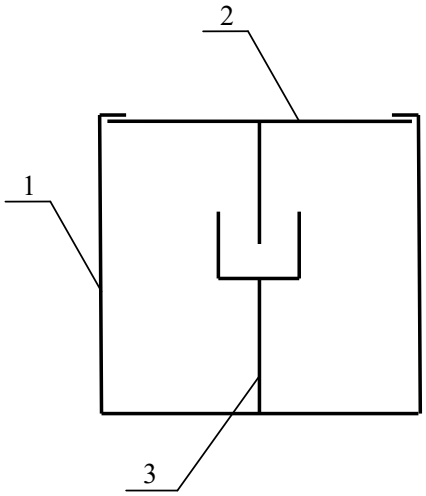


Рис. 1. Переріз основної повздовжньої балки рами вагона-платформи: 1 – П-подібний профіль; 2 – горизонтальний лист; 3 – матеріал із в'язкими властивостями

Передбачається гасіння динамічних навантажень, які діють на несучу конструкцію, за рахунок сил в'язкого опору, що виникають в основних повздовжніх балках рами.

Для визначення динамічної навантаженості вагона-платформи із в'язкими зв'язками у повздовжніх балках проведено математичне моделювання. Як прототип обрано вагон-платформу моделі 13-7024 побудови ПАТ «КВБЗ» з урахуванням запропонованого удосконалення. Дослідження проведені у плоскій системі координат – площині XZ. Розрахункова схема наведена на рис. 2.

Вагон-платформа розглядається як система із трьох твердих тіл: рами та двох візків моделі 18-100 з ресорними комплектами, які мають жорсткість і

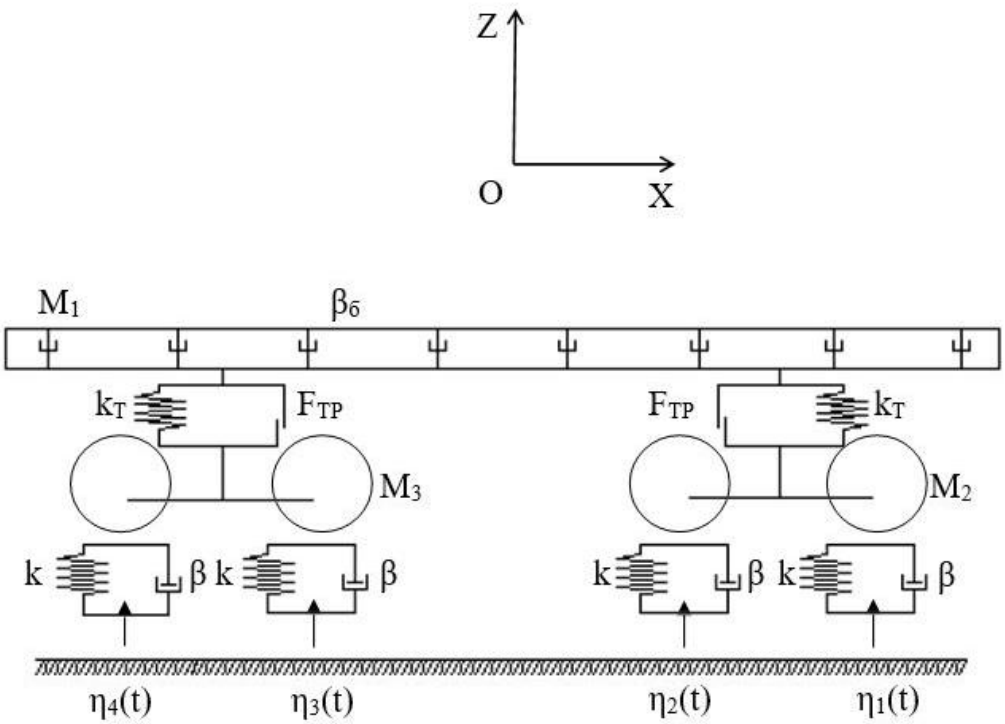


Рис. 2. Розрахункова схема вагона-платформи

коефіцієнт відносного тертя. Розглянутий випадок руху вагона у порожньому стані.

Прийнято припущення, що на систему накладені такі зв'язки:

– переміщення рами та візків вагона-платформи уздовж осі колії однакові: $q_1 = q_2 = q_3$;

– колісні пари рухаються без проковзування:

$\psi_{ij} = x_{ij}/R$, (i, j = 1, 2), де R – радіус колеса, 0,475 м;

– через відсутність пружних елементів у буксовому підвішуванні підстрибування візків визначаються підстрибуванням колісних пар.

При складанні рівнянь руху вагона враховано, що він рухається пружно-в'язкою колією [8]. Реакції колії пропорційні як її деформації, так і швидкості цієї деформації.

Диференціальні рівняння руху вагона-платформи мають вигляд:

$$M_1 \cdot \ddot{q}_1 + C_{1,1} \cdot q_1 + C_{1,2} \cdot q_2 + C_{1,3} \cdot q_3 + \beta_б \cdot \dot{q}_1 = \\ = -F_{TP} \cdot \left(sign\left(\dot{\delta}_1\right) + sign\left(\dot{\delta}_2\right) \right) + \beta_б \cdot \dot{\eta}(t), \quad (1)$$

$$M_2 \cdot \ddot{q}_2 + C_{2,1} \cdot q_1 + C_{2,2} \cdot q_2 + B_{2,2} \cdot \dot{q}_2 = \\ = F_{TP} \cdot sign\left(\dot{\delta}_1\right) + k\left(\eta_1 + \eta_2\right) + \beta\left(\dot{\eta}_1 + \dot{\eta}_2\right), \quad (2)$$

$$M_3 \cdot \ddot{q}_3 + C_{3,1} \cdot q_1 + C_{3,3} \cdot q_3 + B_{3,3} \cdot \dot{q}_3 = \\ = F_{TP} \cdot sign\left(\dot{\delta}_2\right) + k\left(\eta_3 + \eta_4\right) + \beta\left(\dot{\eta}_3 + \dot{\eta}_4\right), \quad (3)$$

де M_1 – маса несучої конструкції вагона-платформи; M_2, M_3 – маса відповідно першого та другого за ходом руху візка; $\beta_б$ – коефіцієнт в'язкого опору матеріалу, який знаходиться у повздовжніх балках; C_{ij} – характеристики пружності елементів коливальної системи, що визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин k_T; B_{ij} – функція розсіювання; a – половина бази візка; k – жорсткість колії; β – коефіцієнт демпфірування; F_{TP} – сила абсолютного тертя у ресорному комплекті; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; $\eta(t)$ – нерівність колії.

Прийнято припущення, що в'язкий зв'язок у повздовжніх балках рами вагона-платформи працює за вимушених коливань вагона, тобто не впливає на власні коливання несучої конструкції.

Враховано, що вагон рухається стиковою нерівністю, яка описується періодичною функцією [8]:

$$\eta(t) = \frac{h}{2}\left(1 - \cos \omega t\right), \quad (4)$$

де h – глибина нерівності; ω – частота коливань, що визначається за формулою $\omega = 2\pi V/L$ (V – швидкість руху вагона, L – довжина нерівності).

Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики несучої конструкції вагона-платформи, ресорного підвішування, збурюючої дії (рейкової нерівності). Значення коефіцієнту в'язкого опору прийнято рівним 1100 кН·с/м. Розв'язок диференціальних рівнянь руху (1–3) здійснений у програмному комплексі MathCad [9–11].

Розв'язок рівнянь визначався у вигляді

$$F(t,y)=\begin{bmatrix} y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ \dfrac{-F_{TP}\cdot\left(sign\left(\dot{\delta}_1\right)+sign\left(\dot{\delta}_2\right)\right)+\beta_б\cdot\dot{\eta}(t)-C_{1,2}\cdot y_2-C_{1,3}\cdot y_3-\beta_б\cdot y_4}{M_1} \\ \dfrac{F_{TP}\cdot sign\left(\dot{\delta}_1\right)+k\left(\eta_1+\eta_2\right)+\beta\left(\dot{\eta}_1+\dot{\eta}_2\right)-C_{2,1}\cdot y_1-C_{2,2}\cdot y_2-B_{2,2}\cdot y_5}{M_2} \\ \dfrac{F_{TP}\cdot sign\left(\dot{\delta}_2\right)+k\left(\eta_3+\eta_4\right)+\beta\left(\dot{\eta}_3+\dot{\eta}_4\right)-C_{3,1}\cdot y_1-C_{3,3}\cdot y_3-B_{3,3}\cdot y_6}{M_3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Z = rkfixed(Y0, tn, tk, n, F).$$

$$y_1 = q_1,\ y_2 = q_2,\ y_3 = q_3,\ y_4 = \dot{y}_1,\ y_5 = \dot{y}_2,\ y_6 = \dot{y}_3.$$

Початкові переміщення та швидкості прийняті рівними нулю [12].

$$Y0 = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

Результати розрахунку наведені на рис. 3, 4.

Отже, прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, становлять близько 2,1 м/с^2 (≈ 0,2g) і не перевищують допустимі значення [13; 14], (рис. 5). Допустимі прискорення несучої конструкції прийняті рівними 0,75g («допустимий» хід руху).

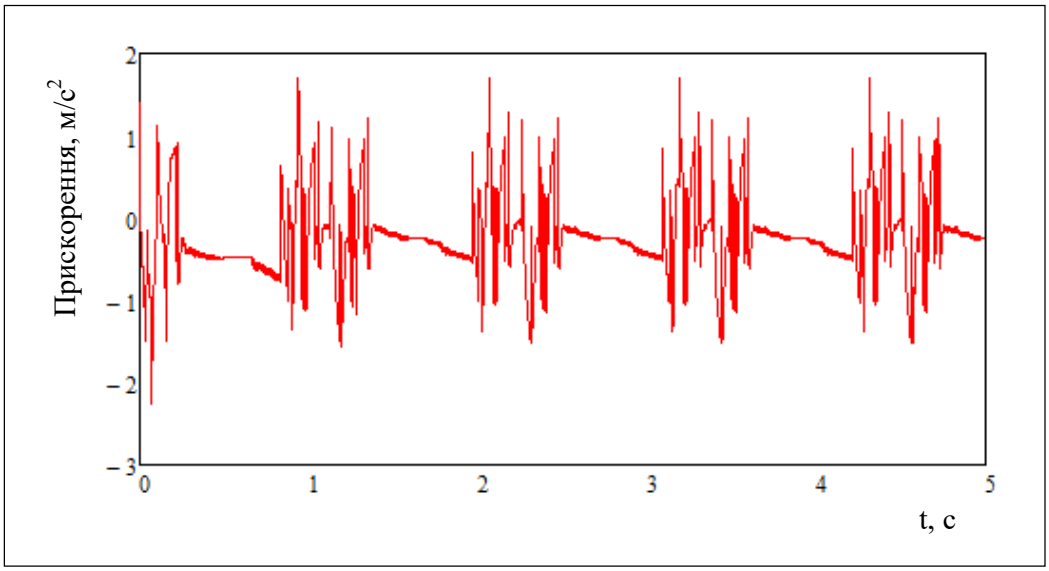


Рис. 3. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи в центрі мас

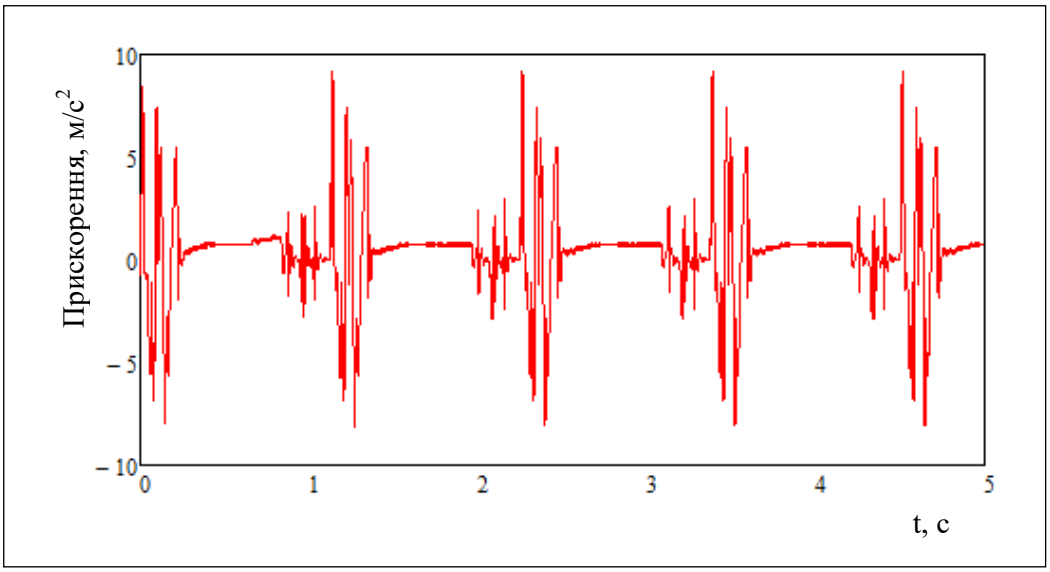


Рис. 4. Прискорення візків

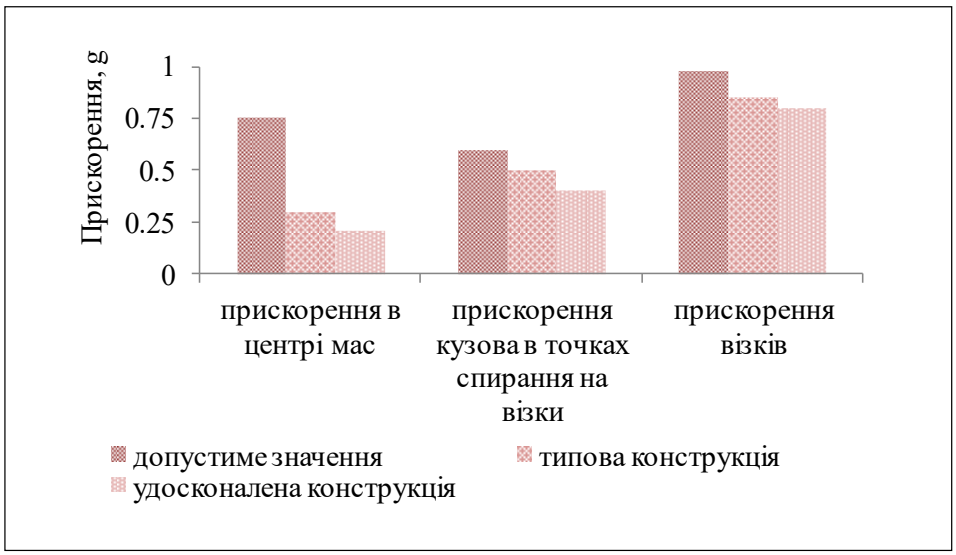


Рис. 5. Прискорення, які діють на вагон-платформу

Прискорення в зонах спирання несучої конструкції на візки дорівнюють близько 0,45 g, а прискорення візків – близько 0,8 g.

Висновки. Для зменшення динамічної навантаженості довгобазного вагона-платформи запропоновано удосконалення його конструкції. Особливістю удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи є виконання основних повздовжніх балок рами з П-подібного профілю, перекритого горизонтальним листом. Усередині профілю розміщується матеріал із в'язкими властивостями. Завдяки цьому забезпечується перетворення динамічних навантажень, що діють на повздовжню балку, в роботу сил в'язкого опору.

Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи з урахуванням заходів щодо удосконалення. Встановлено, що прискорення, які діють на несучу конструкцію в центрі мас, становлять близько 0,2g, що нижче майже на 15% порівняно з типовою конструкцією. Прискорення, які діють у зонах спирання несучої конструкції вагона-платформи на візки, дорівнює близько 0,45 g, а прискорення візків – близько 0,8 g.

Проведені дослідження сприятимуть створенню інноваційних конструкцій рухомого складу, зменшенню його динамічної навантаженості в експлуатації, покращенню втомної міцності, а також підвищенню ефективності використання залізничного транспорту.

Список літератури:

1. Krason W. Niezgoda 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. № 4. P. 843–851.

2. 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. URL: https://www.researchgate.net/publication/340001068.

3. 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.

4. 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. I*OP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019, Vol. 664. 012026, doi: 10.1088/1757-899X/664/1/012026

5. Инновационный подвижной состав производства «Уралвагонзавода» для железных дорог «пространства 1520 мм». *Транспорт Российской Федерации*. 2010. № 3 (28). С. 20–21.

6. Marton Peter, Gerlici Juraj, Fabián Peter. Versatile, efficient and long wagon for intermodal transport in Europe. *Communications*. 2013. № 2. P. 118–123.

7. Недужа Л.О., Швець А.О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.* 2018. № 1 (73). P. 131–147.

8. Дьомін Ю.В., Черняк Г.Ю. Основи динаміки вагонів : навчальний посібник. Київ, 2003. 269 с.

9. Fomin O., Lovska A., Píštěk V., Kučera P. Research of stability of containers in the combined trains during transportation by railroad ferry. *MM Science Journal.* 2020. Martch. P. 3728–3733.

10. Fomin O., Lovska A., Píštěk V., Kučera P. Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries. *Vibroengineering Procedia*. 2019. Vol. 29. P. 124–129.

11. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/matecconf/201823002037.

12. Fomin O., Lovska A. Improvements in passenger car body for higher stability of train ferry. *Engineering Science and Technology*. September. 2020, Vol. 23. P. 1455–1465. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.010.

13. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.

14. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.

Fomin O.V., Lovska A.O. DETERMINATION OF VERTICAL ACCELERATIONS IN THE CARRYING STRUCTURE OF THE FLAT WAGON WITH VISCOUS BONDS IN LONGITUDINAL BEAMS

The development and successful operation of the railway industry requires the introduction of innovative rolling stock structures. This can be achieved through the use of new technical solutions at the design stage of load-bearing structures of wagons using the principles of multifunctionality (the ability to perform several functions).

To reduce the dynamic load on the load-bearing structures of wagons, and as a consequence to improve the fatigue strength, it is proposed to introduce materials with viscous properties. This solution is implemented on the example of a long-base load-bearing structure of a flat wagon for transportation of containers of model 13-7024 of construction PUBLIC JOINT STOCK COMPANY "KVBZ".

The placement of viscous elements is provided in the longitudinal beams of the frame as its main supporting elements. For this purpose, it is proposed to replace the main longitudinal beams of the frame with beams of U-shaped profile, covered with horizontal sheets. In the middle of the profile is a material with viscous properties. This provides for the damping of dynamic loads acting on the load-bearing structure, due to the forces of viscous resistance arising in the main longitudinal beams of the frame.

To determine the dynamic load of the flat wagon with viscous connections in the longitudinal beams, mathematical modeling was performed. The research was conducted in a flat wagon coordinate system – the XZ plane. The solution of differential equations of motion is carried out in the MathCad software package.

The accelerations acting on the load-bearing structure of the flat wagon were about 2.1 m/s^2 (≈ 0.2 g) and do not exceed the permissible values in accordance with the regulatory documentation.

The conducted researches will promote creation of innovative designs of a rolling stock, reduction of its dynamic loading in operation, and accordingly and improvement of fatigue strength, and also increase of efficiency of use of railway transport.

Key words: *flat wagon, supporting structure, dynamic loading, dynamics modeling, structure acceleration.*

УДК 625.748:621.397.43
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/23

Чумак М.О.
Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДІВ

У статті досліджується проблема травматизму та виникнення ДТП на нерегульованих пішохідних переходах. Аналізуються статистичні дані ДТП, які виникають на дорогах України. Транспорт, будучи необхідною умовою існування й економічного розвитку сучасного суспільства, одночасно є істотним джерелом економічних витрат, що виникають внаслідок: дорожньої перевантаженості, аварійних ситуацій, шкідливого впливу дорожнього руху на навколишнє середовище і здоров'я населення. Найбільший потенціал зниження загального рівня аварійності має скорочення кількості ДТП в населених пунктах, а найбільший потенціал щодо зниження загальної тяжкості ДТП – скорочення кількості ДТП на дорогах поза населеними пунктами.

Визначається напрям дослідження та розробок у транспортній системи нашої країни. Основною задачею цієї роботи е проектування Інтелектуальної транспортної системи.

Інтелектуальні транспортні системи (ITC) – це вдосконалені програми, спрямовані на надання інноваційних послуг, що стосуються різних видів транспорту й управління трафіком і дозволяють різним користувачам бути більш поінформованими та приймати більш безпечні, скоординовані та «розумні» рішення за допомогою транспортних мереж. Розумна транспортна система стає незамінним компонентом. У будь-якому місті мобільність є ключовою проблемою; громадяни використовують транспортну систему для подорожі по місту. Залучення громадян із Інтелектуальною транспортною системою може заощадити свій час і зробити місто ще розумнішим. Інтелектуальна транспортна система має на меті досягти ефективності руху за рахунок мінімізації транспортних проблем. Вона забезпечує користувачів попередньою інформацією про рух у режимі реального часу, наявність сидінь тощо, що скорочує час подорожі пасажирів, а також підвищує їхню безпеку та комфорт.

Розробляється система, здатна значно зменшити кількість аварійних ситуацій на ділянках доріг із нерегульованими пішохідними переходами. Аналізується її подальша ефективність і перспективи розвитку.

Ключові слова: *безпека, інтелектуальні транспортні системи, пішохід, дорожньо-транспортна пригода, дорожня безпека.*

Постановка проблеми. Щороку кількість травм і смертей під час перетину доріг невпинно зростає. Це явище характерне для різних доріг і магістралей по всій країні. На жаль, представники уряду виявляють дуже мало інтересу до цього проблемного питання. Безпека пішоходів за останні кілька років знизилася з низки причин:

– Щодня мільйони людей, перетинаючи дороги, бачать, що місця переходу дорожнього полотна майже не забезпечені засобами безпеки.

– У тих самих місцях, де встановлені системи та прилади для більш безпечного регулювання дорожнього руху, навіть серед молодих і сучасних людей не вистачає обізнаності з цього питання.

– На деяких великих і магістральних дорогах немало сигналізованих систем, але люди зазвичай ігнорують їх і перетинають дорожнє полотно, порушуючи правила дорожнього руху [1].

У більшості розвинених країн використання зебри, перемикання кнопок, вдосконаленого попереджувального знака тощо застосовується ефективно й успішно. Результатом є мінімальний рівень аварійності, тоді як на наших дорогах і магістралях ми можемо зустріти багато пішоходів, котрі переходять через дороги поза межами «зебри» чи пішохідних мостів. Більшість людей просто не користуються ними або система дорожнього руху не дозволяє їх правильно використовувати.

Статистичний погляд на це питання. Завдяки посиленню економічного зростання країни у наших містах спостерігається швидка урбанізація та зростання обсягів руху. Це призвело до збільшення розширення міст і подальшого збільшення використання поїздок на громадському транспорті. Поїздки на громадському транспорті пов'язані з рухом пішоходів як до місця виїзду, так і до місця призначення або обох, а іноді до

пунктів пересадки. Пішоходу доводиться переходити дорогу з багатьох причин. Через свою терміновість у прийнятті рішень або цінність часу пішохід дотримується поведінки, яка потенційно створює аварійну ситуацію. Як результат, рівень ДТП на пішохідних переходах різко збільшується.

Кількість жертв-пішоходів щороку збільшується. Цей факт привертає увагу. Люди постраждали та загинули через відсутність обізнаності.

Статистичні дані говорять про те, що серед усіх видів ДТП наїзд на пішохода займає одну з лідируючих позицій. Незважаючи на четверте місце за кількістю ДТП, наїзд на пішохода є другим за кількістю травмованих, постраждалих і загиблих осіб (табл. 1).

За застосуванням Інтелектуальні транспортні системи (далі – ІТС) можна класифікувати на: управління дорожнім рухом, охорону навколишнього середовища, управління вантажоперевезеннями, громадський транспорт, безпеку та безпеку дорожнього руху, автомобільну телематику, зарядку користувачів дорожнього руху й управління паркуванням.

Очікується, що сегмент заявок на управління трафіком у США складе 3,83 млрд доларів при CAGR 7,45% з 2019 по 2025 рр. Впровадження ІТС значною мірою визначається урядовими нормами Європи та Північної Америки. Системи управління дорожнім рухом підвищують надійність та експлуатаційні характеристики дорожніх мереж. Вони включають у себе системи виявлення транспортних засобів, системи управління мостовим рухом, а також системи обліку пандусів. Збільшення заторів призводить до втрати палива, часу руху та грошових втрат, негативно впливає на соціально-економічне зростання та розвиток країни. Тому системи управління дорожнім рухом розгорнуті для мінімізації фінансового навантаження на транспортні органи й уряди [2, с. 11, 88, 102].

ІТС у США

У місті Глазго ІТС регулярно надає інформацію про громадські автобуси, розклад руху автобусів, доступність сидінь, поточне розташування автобуса, час, необхідний для досягнення конкретного пункту призначення, наступне розташування автобуса та щільність пасажирів всередині.

Ієн Ланглендс, ГІС і менеджер даних (міська рада Глазго) пояснює, що автобусні оператори міста мають датчики у своїх автобусах. Отже, якщо автобус іде надто швидко до наступної зупинки, він тимчасово і дуже незначно сповільнюється на червоне світло, трохи довше, ніж слід, щоб переконатися, що не випереджає графік. Система була розроблена настільки спритно, що пасажири та навіть водії не знають про затримку, оскільки вони затримуються дуже мало [3].

У квітні 2017 р. місто Гейнсвілль, штат Флорида, розпочало роботу над пілотним проектом із Connected Signals, Inc., провайдером інформації про передбачувані сигнали дорожнього руху в режимі реального часу, в рамках перевіреної I-STREET Інституту транспорту університету Флориди. I-STREET був створений у партнерстві з Ініціативою з підключення транспортних засобів (FDOT) до штату Флорида для тестування підключених та автономних технологій транспортних засобів.

Пілот, один із перших подібних у Флориді, продовжує розгортатися, і сьогодні майже всі сигнали трафіку Гейнсвілла є у мережі Інтернет із інформацією про смарт-сигнали підключених сигналів.

Підключені сигнали надійно агрегують інформацію сигналу в реальному часі через запатентований пристрій збору даних подають його за допо-

Таблиця 1

Статистична структура ДТП за видами за період з 01 січня по 31 жовтня 2020 р. [1]

Вид автопригоди	Усього ДТП	ДТП із постраждалими	Загинуло осіб	Травмовано осіб
зіткнення	85 288	9251	960	13 744
наїзд на транспортний засіб, що стоїть	20 150	428	55	511
наїзд на перешкоду	16 973	2 388	428	2 976
наїзд на пішохода	6 624	5 946	901	5 458
перекидання тз	3 211	1 774	306	2 207
наїзд на велосипедиста	1 926	1 548	179	1 444
наїзд на тварин	661	26	5	31
падіння вантажів	402	10	1	12
падіння пасажира	350	304	4	317
наїзд на гужовий транспорт	41	19	3	26
загалом	**135 626**	**21 694**	**2 842**	**26 726**

могою алгоритмів прогнозування для визначення інформації (наприклад, коли світло буде змінюватися з червоного на зелене, і навпаки).

Двигун прогнозування підключених сигналів використовує передові методи машинного навчання та статистики для інтеграції широкого спектра інформації, включаючи поточний стан світла, плани світла, час доби, виклики транспортних засобів і пішоходів та поведінку, щоб визначити, коли світло зміниться.

Потім інформація передається водіям Гейнсвілла через безкоштовний додаток мобільного телефону. Ця інформація у підсумку також стане доступною шляхом прямої інтеграції в дисплеї та силові агрегати підключених автомобілів [3].

Системи GPS стільникового телефону зазвичай галасливі та відносно неточні, тому важко визначити, де саме знаходиться користувач і як швидко він іде. Це може бути проблемою при спробі визначити, до якого світла наближається користувач. Це створює ще більші проблеми при спробі виявити, коли буде червоне світло [3].

Connected Signals розробила передові методи локалізації, які допомагають вирішити ці питання. Деякі з них уже зафіксовані у наявних програмах, а інші – у майбутніх продуктах. Для автомобільних додатків ще більшої точності можна досягти, отримуючи інформацію від систем транспортних засобів (GPS, спідометрів, поворотників, стану педалі гальма тощо), що сприяє більш широкому спектру підтримуваних функціональних можливостей.

Нині доступні функції включають у себе відлік червоного світла та індикатори швидкості зеленої хвилі, щоб водії приймали розумніші рішення: зняти ногу з педалі, швидше загальмувати або не поспішати «вмикати світло» тощо. Індикатор швидкості зеленої хвилі може допомогти водіям безпечно регулювати свою швидкість, щоб потрапити на хвилю зелених вогнів і уникнути зупинки взагалі. Ці дані за спільного використання із транспортними засобами та водіями можуть підвищити ефективність використання палива на 8–15% та зменшити аварію на червоному світлі на 25% [3].

Європейський досвід

Дедалі більше країн Європи щороку витрачають великі суми на фінансування транспорту та впровадження технологій ITC, які допомагають підтримувати ефективність наявної інфраструктури та сприяють зменшенню забруднення навколишнього середовища, контролюючи потоки руху та керуючи обсягом руху. Розвиток сучасної міської транспортної мережі допоможе забезпечити її ефективність, оптимізацію, конкурентоспроможність та економічний потенціал.

Однією з належних практик в урбанізованій галузі впровадження програм ITC є використання міських схем контролю доступу. Незважаючи на зростаючі проблеми з міськими заторами та якістю міського повітря, такі розумні ITC-рішення покращують як якість життя, так і економіку, орієнтовані на користувачів, безпечний та екологічно чистий спосіб життя у сучасних містах [4].

Дія з обмеженим дорожнім рухом

28% італійських міст із більш ніж 100 000 жителів обладнані міською системою доступу (46% усіх італійців, котрі живуть у містах із більш ніж 100 000 жителів, мають можливість користуватися системою щодня). Італія була однією з перших у світі країн, які здійснили електронне запровадження обмежених зон доступу.

Ця система розроблена для автоматичного управління транспортними засобами, що в'їжджають на територію, віднесену Державною адміністрацією до «зони обмеженого руху». Система авторизує транспортний засіб на основі його номерних знаків, хоча використовує камери автоматичного розпізнавання номерних номерів (ANPR) і готує відповідну документацію для видачі штрафу, якщо транспортний засіб не був дозволений на в'їзд [3].

Як це працює?

Під час руху в зону немає жодних перешкод і будь-яких інших бар'єрів, однак доступ надається лише власникам дозволу на доступ. Дозвіл на доступ може бути наданий дуже обмежено чи широко відповідно до місцевої транспортної політики. Дозвіл на доступ пов'язується з номером номерних знаків транспортних засобів, тому водії повинні подати заяву на дозвіл і зареєструвати свій автомобіль. Обмеження доступу може бути дійсним лише в певні години дня, один день, кілька днів, для більш тривалого користування (тижні чи місяці) або для постійного користування.

Незабаром міста почали надавати дозволи відповідно до екологічних проблем, тому критерієм доступу став клас викидів транспортних засобів. Зараз приблизно чверть усіх електронно-примусових зон є зонами з низьким рівнем викидів, які частково скорочують забруднення, наприклад, зона Болоньї, в якій не тільки абсолютна кількість трафіку скоротилася на 23–31% (залежно на час доби), але й викиди ПМ10 (тверді частинки (ПМ) – термін для твердих або рідких частинок, що знаходяться у повітрі) були зменшені на 47%

(Болонью визнано Генеральним управлінням комісій із питань мобільності та транспорту стане найкращою європейською практикою у 2012 р.) [5, с. 4, с. 99].

Розробки ITC у країнах Азії

Sumitomo Electric Industries, Ltd. та NTT DOCOMO, INC. Спільно випробовували в режимі реального часу збір і доставку інформації про дорожній рух за допомогою датчиків високої чіткості, підключених через систему мобільного зв'язку 5-го покоління (5G) для розширеної підтримки водіння [4; 6].

Система мережевих датчиків, встановлених на транспортних засобах та уздовж узбіччя або в будівлях, збирає інформацію про рух, яка аналізується в режимі реального часу, а потім подається назад водіям і пішоходам. Результати тесту будуть представлені на заході «Mietekita Chotto Saki no Mirai (погляд у недалеке майбутнє)», який відбудеться у Національному музеї нових наук та інновацій (Міраікан) із 9 по 11 листопада.

Цей тест проводиться на курсі в рамках робіт «Йокогама» компанії Sumitomo Electric. Датчики встановлені вздовж ходу й у транспортних засобах. Транспортні засоби також оснащені терміналами DOCOMO 5G, що спілкуються з базовими станціями DOCOMO 5G.

Ультрависока швидкість передачі даних 5G, надвисока ємність даних і наднизька затримка дозволяє системі збирати й аналізувати дані високої чіткості про рух транспортних засобів і їхнє оточення, пішоходів і дорожні умови. Дані збираються за допомогою камер високої чіткості, датчиків LiDAR, які використовують лазерне світло для вимірювання відстаней і положень цілей і датчиків міліметрових хвиль, що використовують радіохвилі для вимірювання відстаней і позицій [6; 7].

Тест дозволяє Sumitomo Electric та DOCOMO вивчити, як забезпечити миттєвість і видимість даних про рух і як зробити системи максимально зручними для користувачів, щоб забезпечити транспортні засоби та пішоходів безпечною, практичною допомогою.

Sumitomo Electric досліджує та розробляє датчики та інше обладнання для збору даних про рух транспортних засобів і пішоходів, а також для зв'язку транспортних засобів (рис. 1).

DOCOMO досліджує та розробляє технології для підключення транспортних засобів за допо-

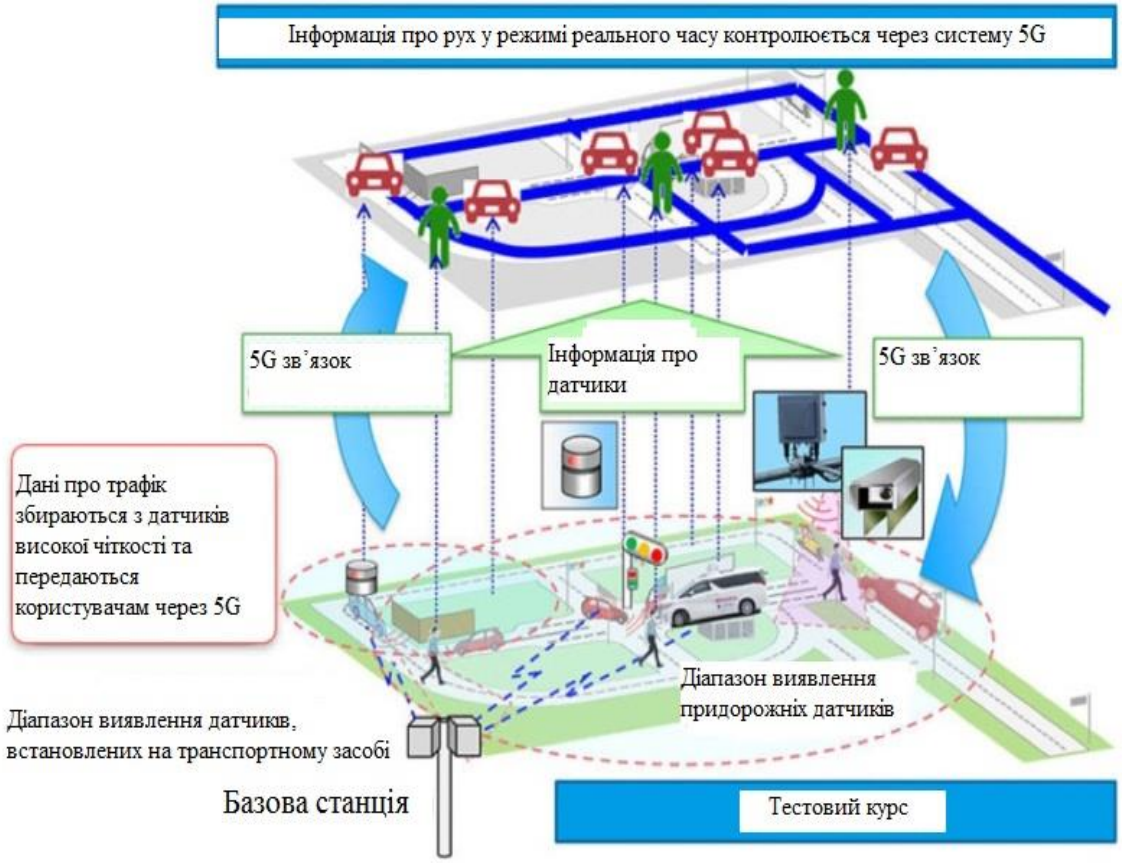


Рис. 1. Схематичний принцип роботи система мережевих датчиків DOCOMO [8, с. 35, 138, 222]

могою сучасних бездротових систем, включаючи наявні LTE та новітні 5G технології. Система зв'язку 5G DOCOMO дозволить високоефективним датчикам збирати, аналізувати та надавати детальну інформацію про трафік у режимі реального часу водіям у будь-який час і в будь-якому місці [6; 7].

Sumitomo Electric та DOCOMO продовжуватимуть розвивати свою вдосконалену систему допомоги водінню, засновану на мобільному зв'язку 5G для підвищення безпеки водіння [8, с. 341, 523, 614].

Постановка завдання. Основні цілі та завдання нашого тематичного дослідження:

– продемонструвати, що безпека пішоходів має викликати велике занепокоєння;

– розробити ІТС, здатну значно зменшити кількість ДТП за участю пішоходів;

– упровадити інноваційну систему, яка може бути застосована на наших дорогах;

– рекомендувати зацікавленим відомствам уряду загальну систему дорожнього руху, що сприятиме безпеці пішоходів і забезпечить безпечніший проїзд дорогами нашої країни.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основними компонентами системи візуалізації нерегульованих пішохідних переходів є:

– датчики руху

– візуальний індикатор (цифровий екран або різнокольорова світлодіодна стрічка);

– швідкісний USB кабель;

– блок керування.

Розглянемо кожний із цих компонентів більш детально.

Датчик руху. Принцип роботи заснований на відстеженні рівня ІЧ-випромінювання в полі зору датчика (зазвичай піроелектричного). Сигнал на виході датчика монотонно залежить від рівня ІК випромінювання, усередненого по полю зору датчика. У разі появи людини (або іншого масивного об'єкта з температурою більшою, ніж температура фону) на виході піроелектричного датчика підвищується напруга. Щоб визначити, чи рухається об'єкт, у датчику використовується оптична система – лінза Френеля. Іноді замість лінзи Френеля використовується система увігнутих сегментних дзеркал. Сегменти оптичної системи (лінзи або дзеркала) фокусують ІЧ-випромінювання на піроелемент, що видає електроімпульс. У міру переміщення джерела інфрачервоного випромінювання воно вловлюється і фокусується різними сегментами оптичної системи, що формує кілька послідовних імпульсів. Залежно від установки чутливості датчика для видачі підсумкового сигналу на піроелемент датчика має надійти 2 або 3 імпульси [9].

Візуальний індикатор. Це будь-який пристрій, що зміною свого кольору або зображення, розміщеному на ньому, може сповіщати водія та пішоходів про небезпеку.

Швидкісний USB кабель. Для роботи системи нами був обраний саме дротовий спосіб, а не бездротовий. Для чого це було зроблено?

Середня швидкість зупинки середньостатистичного легкового автомобіля зі швидкості 60 км/г становить приблизно 3 та 4 секунди, і це без урахування погодних умов і стану дорожнього покриття, але вже з урахуванням швидкості реакції водія на сприйнятий їм дорожній сигнал. За таких умов, особливо коли йдеться про людське життя та здоров'я, система не повинна бути залежною від технологій передачі Інтернет-зв'язку та втрачати дорогоцінні секунди. Чим більш автономною буду система, тим менше зовнішніх факторів вплинуть на швидкість її роботи, а отже, для системи знадобиться швидкісний USB кабель довжиною, рівною двом гальмівним шляхам автомобіля (з обох кінців руху дорожнього полотна), яких буде вираховуватися з урахуванням найнесприятливіших ситуацій, а також ширини проїзної частини та висоті кріплення кабелю на землею.

Блок керування повинен бути під'єднаний до електричного живлення (220V), з якого через USB кабель воно вже буде надходити до датчиків руху та візуальних індикаторів. Також він має приймати сигнали від датчиків руху, обробляти їх і передавати вже на візуальні індикатори інформацію про наявність руху біля пішохідного переходу чи на дорожньому полотні.

Принцип роботи системи. Датчики руху будуть встановлені з кожної сторони руху дорожнього полотна на відстані, трохи завищеній від відстані гальмівного шляху автомобілів, які рухаються з максимально допустимою швидкістю на певному відрізку дороги. Датчики руху з дорожнього полотна передають інформацію на візуальні індикатори для пішоходів, які встановлені на узбіччі безпосередньо перед пішохідним переходом. Біля цих індикаторів перед пішохідним переходом теж встановлені датчики руху, що подають інформацію водіям на візуальні індикатори, встановлені з кожної сторони руху дорожнього полотна на відстані, трохи завищеній від відстані гальмівного шляху автомобілів, які рухаються з максимально допустимою швидкістю на певному відрізку дороги. Схематично система представлена на рис. 2.

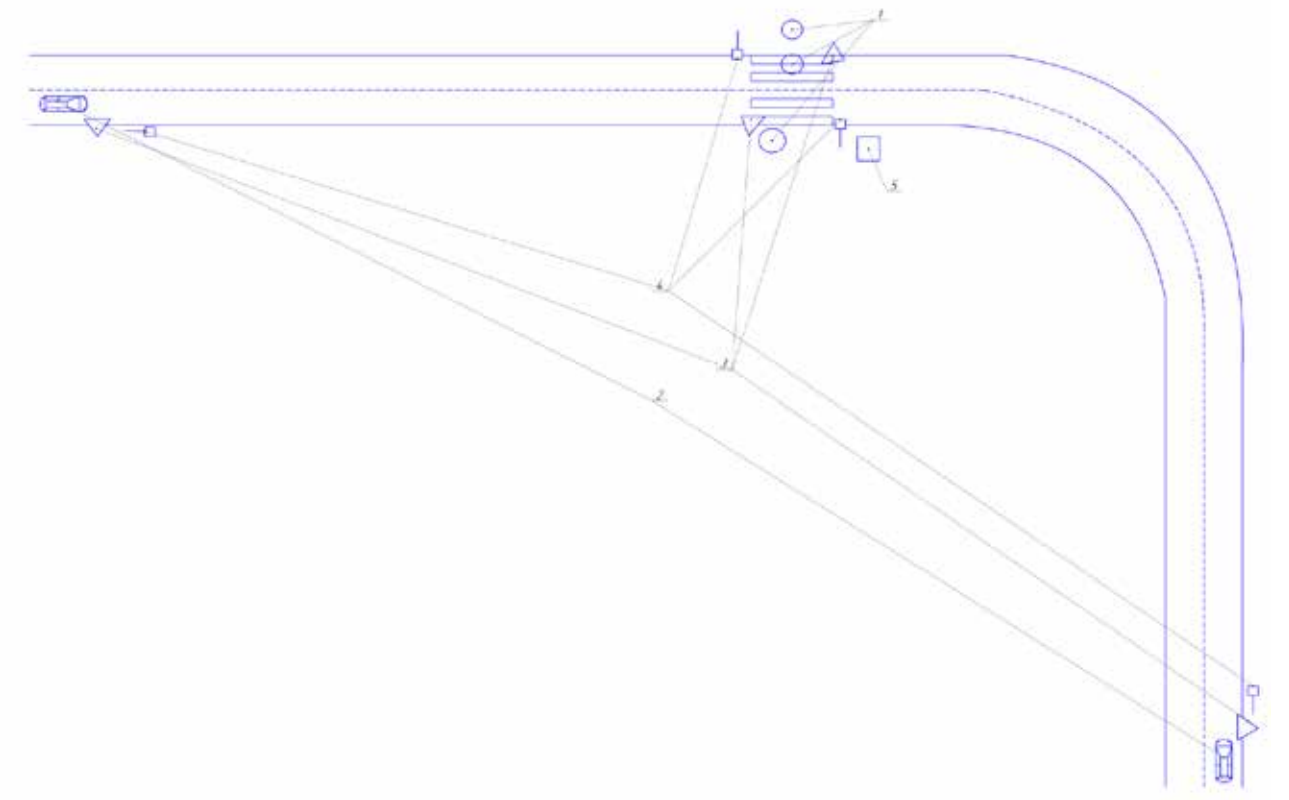


Рис. 2. Схема кладу та дії системи візуалізації нерегульованих пішохідних переходів: 1 – пішоходи; 2 – транспортні засоби; 3 – датчики руху; 4 – візуальні індикатори; 5 – блок керування системою

Визначення довжини USB кабелю буде враховуватися з формули:

$$S_к = S_{тп} \times 2 + S_{шд} + H_д \quad (1)$$

де: $S_к$ – довжина кабелю USB; $S_{тп}$ – довжина гальмівного шляху; $S_{шд}$ – ширина дорожнього полотна; $H_д$ – висота кріплення блоку керування або сума висот кріплення блоку керування, датчиків руху та візуальних індикаторів.

Довжина гальмівного шляху – таблична величина, яку доцільно обирати за найгіршими погодними показниками.

Довжина гальмівного шляху автомобіля залежно від декількох факторів може становити від 25 до 150 метрів. Довжина залежить від здатності конкретної моделі авто скидати швидкість до потрібного показника, включаючи зупинку, і залишатися стійким і керованим.

Теоретично для оцінки гальмівних характеристик авто застосовують кілька показників: гальмівний шлях, максимальне значення уповільнення, час спрацьовування механізмів гальмування, діапазон зміни зусиль гальмування, зменшення ефективності гальмування через сильного нагріву.

Спроєктована система підвищить інформативність щодо дорожньої ситуації на проблемній ділянці дорожнього полотна для всіх учасників дорожнього руху. Потенційно вона може зменшити рівень навантаження на дорожні служби та роботу органів правопорядку, які здійснюють регулювання дорожнього руху.

Висновки. Проаналізувавши статистичні дані щодо кількості та характеру ДТП на дорогах України, ми виявили слабкі місця транспортної інфраструктури з погляду організації безпеки дорожнього руху. Значна частка постраждалих у ДТП з'являється через погану логістику побудови нерегульованих пішохідних переходів і недостатню візуалізацію дорожньої ситуації всім учасникам дорожнього руху

Були вивчені як розробки, так і вже впроваджені інтелектуальні системи, які забезпечують безпеку на дорогах.

Спроектована система візуалізації нерегульованих пішохідних переходів, яка нівелює всі недоліки розташування таких переходів, торгівельних споруд і рекламних щитів. Таким чином, спроектована система візуалізує дорожню обстановку однаково інформативно для всіх учасників дорожнього руху.

Однозначними перевагами системи візуалізації на регульованих пішохідних переходах є:

– невисока ціна компонентів системи;
– малі трудовитрати для переобладнання обраних ділянок дороги;
– швидкість встановлення системи;
– простота обслуговування конструкції системи.

Система не має технічних або навіть юридичних перешкод для впровадження в нинішню транспортну інфраструктуру України та має великі перспективи розвитку на ділянках дорожнього полотна з підвищеним рівнем аварійності.

Список літератури:

1. Електронний реєстр правопорушень ДАІ України. URL: http://www.sai.gov.ua/.
2. Безпека пішоходів. Керівництво з безпеки дорожнього руху для керівників та фахівців. Всесвітня організація охорони здоров'я, 2013. 111 с.
3. Офіційний сайт Європейської Програми з оцінки безпеки нових автомобілів. URL: www.euroncap.com.
4. Статистичні дані причин ДТП. URL: http://automir.in.ua/newsm.php?id=8493.
5. Стандарти Європейського Союзу щодо захисту пішоходів та практичні аспекти їх застосування в Україні. Харків : ГО «Товариство учасників руху», ТОВ «Цифра принт», 2013. 190 с.
6. Європейська доповідь про стан безпеки дорожнього руху, Копенгаген, Європейське регіональне бюро ВООЗ, 2009. URL: http://www.euro.who.int/PubRequest.
7. Системи підтримки водіїв на основі вимірювання психофізіологічних показників. URL: https://geektimes.ru/post/252840.
8. Ісікава Каору. Японські методи управління якістю. *Економіка*. 1988. 2033 с.
9. Патентній архів. URL: patents.google.com.

Chumak M.O. VISUAL SIMULATION SYSTEM OF UNREGULATED PEDESTRIAN CROSSINGS

This article examines the problem of injuries and accidents at unregulated pedestrian crossings. The statistical data of road accidents that occur on the roads of Ukraine are analyzed. As a result, some conclusions are drawn. Transport, being a necessary condition for the existence and economic development of modern society, is also a significant source of economic costs arising from: traffic congestion, accidents, the harmful effects of traffic on the environment and public health. The greatest potential for reducing the overall accident rate has a reduction in the number of accidents in settlements, and the greatest potential for reducing the overall severity of accidents has a reduction in the number of accidents on roads outside settlements.

The direction of research and development in the transport system of our country is determined. The problem is defined and there are ways to solve it, goals and objectives are set. The main task of this work is the design of the Intelligent Transport System.

Intelligent Transport Systems (ITS) are advanced programs that aim to provide innovative services related to different modes of transport and traffic management, and allow different users to be more informed and make safer, coordinated and "smarter" decisions through transport networks. A smart transport system is becoming an indispensable component among all. In any city, mobility is a key issue; whether it is a school, college and office, or for any other purpose, citizens use the transport system to travel around the city. Involving citizens with an intelligent transport system can save time and make the city even smarter. Intelligent Transport System (ITS) aims to achieve traffic efficiency by minimizing transport problems. It enriches users with preliminary traffic information, local convenience of real-time information, availability of seats, etc., which reduces the travel time of passengers, as well as increases their safety and comfort.

The developed system is able to significantly reduce the number of accidents on sections of roads with unregulated pedestrian crossings. Its further efficiency and prospects of development are analyzed.

Key words: *safety, intelligent transport systems, pedestrian, road accident, road safety.*

УДК 656.1:658:62-5.007
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/24

Шарай С.М.
Національний транспортний університет

Рой М.П.
Національний транспортний університет

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ІЗ ЧАСОВИМИ ВІКНАМИ

У статті досліджується проблема підвищення ефективності організації вантажних автомобільних перевезень на засадах системного підходу. Розглядається потік замовлень, які потрібно виконати за критерієм максимального прибутку. Показано, що до складу витрат на виконання перевезень потрібно включити погодинні витрати, які пов'язані із часовими вікнами та вимушеними простоями автомобілів у нарядах. Запропоновано вираз для обчислення часового зв'язку послідовного виконання двох замовлень. Часовий зв'язок обчислено як тривалість виконання заданого замовлення з урахуванням попередньо виконаних завдань. Побудовано матрицю часових зв'язків для множини відомих замовлень на перевезення. Проаналізовано методику розв'язування задачі оптимізації прибутку автомобільного перевізника. Враховано, що прибуток складається з надходжень від перевезення з відрахуванням погодинних витрат і витрат на пробіг. Показано, що відомі методи оптимізації пов'язані з нелінійним математичним програмуванням, точний гарантований розв'язок якого невідомий, а складність експоненційно зростає зі збільшенням обсягу масиву вхідних даних. У розв'язанні задачі пропонується використання системного підходу, засади якого полягають у прагненні з максимальною повнотою врахувати всі вхідні та вихідні характеристики об'єкта під час організації його дослідження. Водночас потоки замовлень пропонується розподілити за пріоритетом їх виконання. Показано, що найбільш доцільна класифікація замовлень може бути здійснена за показником сумісності їх виконання. Показник сумісності обчислюють на основі часових зв'язків між замовленнями. Як допоміжні показники пропонуються ознака концентрації замовлень на транспортній мережі й рівень нерівномірності тривалості відповідних процесів. Розроблено відповідний алгоритм оптимізації плану виконання фіксованих замовлень. Наведено приклад побудови матриці коефіцієнтів сумісності. Отримано числове значення критерію – сумарного прибутку від перевезень, який вищий, ніж практично отримані результати, а також вищий, ніж результати математичного програмування нелінійної задачі.

Ключові слова: *вантажні автомобільні перевезення, системний підхід, часові зв'язки, часові вікна, погодинні витрати, сумісність процесів, пріоритет замовлення.*

Постановка проблеми. Під час обслуговування вхідного потоку замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні автомобільні транспортні підприємства (далі – АТП) керуються критерієм максимального прибутку. Для цього приймаються замовлення, насамперед від постійних клієнтів, а потім – випадкових. Пріоритет мають замовлення з максимальними грошовими надходженнями і ті, для виконання яких потрібно здійснити мінімальний незавантажений пробіг. Однак водночас не враховується, що потік замовлень є стохастичним, а самі вони мають випадкові взаємні часові зв'язки, характеризуються не тільки випадковою тривалістю їх виконання, але й часовими вікнами, які окреслені допустимим моментами початку і завершення. Також замовлення розташовані у просторі випадковим чином: місця завантаження і розвантаження нерівномірно розподілені на транспортній мережі. Отже, транспортна компанія є залежною від зовнішнього середовища, а дії її менеджерів не мають системного підходу. Якщо не враховувати характеристик постійних і випадкових замовлень, то у транспортному процесі виникають систематичні затримки, які призводять до додаткових витрат і штрафів. Через це фактичний прибуток отримується значно менший, ніж заплановано, а подекуди й межує зі збитками. Така виробнича проблема перевізників існує не тільки через неефективну організацію транспортного процесу, а й через відсутність системного методичного забезпечення для ухвалення обґрунтованих рішень. В умовах зростання обся-

гів даних і складності їх наборів, які використовуються для планування автомобільних перевезень, менеджери ретельно інтерпретують інформацію, що міститься в наявних базах. У такій реальності можливість виявлення прихованих залежностей певним автоматичним способом є фундаментальною. Відповідним завданням у дослідженні та розумінні великих наборів вхідних даних є виявлення прихованих взаємозв'язків між замовленнями і впорядкування процесу їх виконання, відповідно до визначених пріоритетів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж понад двох десятків років науковці вирішують проблему виявлення залежностей порядку (далі – ЗП) від параметрів замовлень принципово, характеризують простір пошуку, розробляють та доводять правила вкорочення обсягів даних та довжини алгоритмів, представляють алгоритми, наприклад ORDER, який знаходить усі ЗП [1]. У всебічній оцінці алгоритм був ефективним навіть для дуже великих наборів даних. Однак ЗП є часто прихованими або такими, які важко аналізуються. Наприклад, у роботі [2] представлено новий метод виявлення залежностей між замовленнями. Дослідники використали підхід, який перевершує існуючі два найсучасніші алгоритми Ланґера і Ноймана і Fastod-алгоритм. Автори довели, що коли між двома списками замовлень є залежність, то між ними існує й сумісність, тобто здатність проявляти найвищі параметри якості за заданої послідовності їх виконання. Однак розуміння сумісності стосується статичних списків замовлень у даному разі, у такому вигляді його не можна застосовувати для динамічного потоку інформації.

Процес транспортно-експедиційного обслуговування визнано складним щодо планування. Складність характеризується наявністю великої кількості альтернатив на різних стадіях ухвалення рішень [3]. Однак проблема ще більш ускладнюється тим, що громіздкі потоки вхідної інформації до АТП не відображають прихованих зв'язків між даними. Унаслідок цього оперативні завдання для парків автотранспортних засобів (далі – АТЗ) виявляються несистемними, слабо прорахованими, а окремі задачі організації набувають статусу таких, що не розв'язуються.

Відомі спроби вирішити дану проблему шляхом створення автоматизованої системи управління (далі – АСУ) транспортним процесом, наприклад, у роботі [4]. Нові якості сучасних АСУ полягають у тому, що виявлені й описані зв'язки й обмеження процесу виконання замовлень, заснованого на обліку наявних матеріальних і трудових ресурсів АТП, а також застосовано методи динамічного налаштування ресурсів АТП. Проте більшість відомих АСУ, зокрема і згадана, не справляються із громіздким набором даних у потоках інформації, не обробляють їх історію.

Відомі спроби розв'язати складні нелінійні задачі організації перевезень шляхом їх декомпозиції. Зокрема, у роботі [5] представлений підхід до розв'язку багатоетапної транспортної задачі як один із напрямів цього рішення, але водночас не претендує на загальність і єдність. Як висновок, модель організації перевезень вантажу не є мережевою, має певні допущення, виходячи з обмеженості середовища його реалізації.

Задачі маршрутизації і складання розкладів АТЗ під час застосування часових допусків (часових вікон) визнані NP-складними в сильному змісті [6]. Це означає, що для успішного пошуку їх розв'язків застосовують евристичні або метаевристичні алгоритми, що не може забезпечувати гарантованого оптимуму. Складність алгоритмів зростає експоненційно зі збільшенням обсягу початкових даних. Тому одним із напрямів удосконалення розв'язування таких задач є класифікація потоку даних.

Більш прості задачі складання маршрутів і розкладів запропоновано в публікації [7]. Автори отримали гарантовані стійкі розв'язки. Однак кожна окремо розв'язана задача стосується експлуатації одного автомобіля на маршруті. Взаємодію парку АТЗ, яка є ключовою перевагою АТП, не враховано.

У складанні допустимих і оптимальних за швидкодією розкладів роботи АТЗ на маршрутах застосовано модифікований метод впорядкування змішаних графів [8]. Алгоритм є простим для застосування щодо аналогів. Однак він також базується на евристичних прийомах впорядкування.

У роботі [9] представлено методологію вдосконалення процесу складання розкладу та її впровадження в умовах вимог до їхньої якості, що зростають. Основними даними планування є набір прогнозованих замовлень. Це дало змогу авторам досягти мінімальних затримок доставки вантажів. Прогнозування дається із часовими вікнами, що є необхідним допуском через невизначеність. Однак багато зовнішніх чинників є випадковими, і вони можуть порушити ці допуски.

Аналіз усіх наведених публікацій доводить необхідність детального вивчення процесу ухвалення рішення про розподіл наявних ресурсів на транспортній мережі в умовах зростання потуж-

ності потоків замовлень, вимог до часового узгодження транспортних процесів.

Постановка завдання. Метою наукової статті є вдосконалення планування, вибору і розподілу виконання відомих замовлень на засадах системного підходу, отримання максимального прибутку. Водночас мають бути враховані витрати, пов'язані із часовими затримками процесу. Задача повинна мати розв'язок за великих обсягів вхідних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Замовлення на перевезення вантажів, які надходять до АТП від клієнтів та посередників, мають такі числові характеристики: t_i – середня прогнозована тривалість виконання без урахування впливу попередніх та підготовчих операцій; wb_i – найбільш ранній момент початку виконання i-го замовлення; we_i – найбільш пізній момент завершення i-го замовлення; l_i – відстань, на яку потрібно перевезти вантаж. Також перевізникові відома ціна виконання перевезень, яка є результатом зрівноваження попиту і пропозиції, тому АТП має на ціну незначний вплив. Переважно ціна на перевезення партії вантажів пропорційна відстані перевезення з урахуванням фактичної вантажопідйомності АТЗ [9]. У таблиці 1 показано фрагмент добового наряду на перевезення сипких вантажів у міжміському сполученні для парку автомобільного вантажного перевізника, який має виробничі бази, розташовані в містах Гайсин, Дніпро й Одеса.

Транспортна мережа, якою здійснюються перевезення, розташована в центральній, східній і південній частинах України. Перевезення виконуються великовантажними автопоїздами у складі автомобіля-тягача і напівпричепа-самоскида. Як видно з таблиці, попит на перевезення перевищує пропозицію замовника, тому завдання оптимального розподілу рухомого складу є актуальною для АТП. Новий перелік замовлень для АТП формується переважно щодоби. Доба є також одиницею планування маршрутів. У зв'язку із цим зміни в потоці замовлень, які відбуваються після формування наряду, не враховуються, і це приносить чималі збитки перевізникові. Адже граничні терміни можуть спливати вже наступної доби, можуть бути недотримані, тому замовлення для підприємства буде втрачене. Натомість часові вікна дають змогу не тільки виконати вимоги замовника, але й забезпечити виконання перевезень мінімальною кількістю АТЗ. Для того, щоб використати потенціал часових вікон, а також виконати максимальну кількість випадкових замовлень, розглянемо часові зв'язки між двома їздками з вантажами i, j між пунктами b_i та e_i і b_j та e_j відповідно (рис. 1). Кожне із замовлень має часове вікно $wb_i - we_i$, яке обчислюють від моменту планування.

Якщо замовлення j виконується безпосередньо після i-го тим самим АТЗ, то з пункту e_i він повинен виконати їздку з порожнім пробігом до пункту b_j, звідки починається виконання замовлення j. Однак потрібно врахувати всі можливі співвідношення між часовими параметрами замовлень, які приводять до зміни a_{ij} – найменшої можливої три-

Таблиця 1

Фрагмент добового наряду для автомобілів-самоскидів АТП

№ замовлення	Доступна кількість АТЗ у парку рухомого складу АТП	Кількість АТЗ на завантаження, яку заявляє менеджер	Маршрут	Тривалість їздки з вантажем, хв	Вантаж	Часове вікно, год		Ціна однієї їздки, грн	Відстань, км
						від	до		
1	4	3	Нові Біляри – Миколаїв	80	Ячмінь	0	24	2 900	100
2		3	Харків – Слов'янськ	160	Комбікорм	0	48	5 100	175
3	12	1	Черкаси – Дніпро	380	Комбікорм	0	48	8 300	285
4		1	Павлоград – Миронівка	440	Соняшник	0	24	5 500	190
5		8	Черкаси – Вінниця	290	Комбікорм	0	96	9 900	342
6		5	Березанка – Одеса	80	Шрот	0	96	2 400	83
7		1	Дмитрівка – Южний	45	Пшениця	12	48	1 250	43
8	20	2	Хмельницький – Чорноморськ	430	Соняшник	12	48	16 600	571
9		5	Кропивницький – Чорноморськ	300	Соняшник	12	96	10 000	346
10		4	Гайсин – Чорноморськ	230	Соняшник	24	72	10 100	349
11		4	Вінниця – Чорноморськ	310	Соняшник	24	120	12 850	443
12		5	Голованівськ – Чорноморськ	180	Соняшник	48	96	7 630	263
–	36	42	–	–	–	–	–	–	–

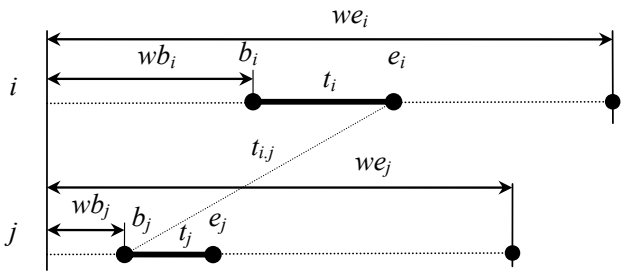


Рис. 1. До розрахунку часового зв'язку $a_{i.j}$

валості виконання j-го замовлення вслід за i-м із використанням того самого АТЗ. Для цього нами було проаналізовано всі можливі співвідношення величин wb_i, we_i, wb_j, we_j, складено узагальнений вираз для обчислення a_{ij}:

$$a_{ij} = \max\left(\left(wb_i + t_i + t_{i.j}\right); wb_j\right) - \left(wb_i + t_i\right) + t_j . \quad (1)$$

Вираз (1) виконується за умови: $a_{ij} < we_j$. У протилежному випадку складається ситуація, яка означає, що $a_{ij} = +\infty$, тобто виконання j-го замовлення після i-го є неможливим. Згідно з (1), якщо $\left(wb_i + t_i + t_{i.j}\right) > wb_j$, тоді для визначення часового зв'язку a_{ij} потрібно перевірити умову:

$$\left(wb_i + t_i + t_{i.j}\right) \le we_j , \quad (2)$$

тобто встановити, чи вкладається виконання замовлення в часовий допуск. Якщо умова (2) виконується, тоді часовий зв'язок a_{ij} обчислюється за виразом:

$$a_{ij} = t_j + t_{i.j} . \quad (3)$$

Якщо $\left(wb_i + t_i + t_{i.j}\right) < wb_j$, тоді часовий зв'язок a_{ij} обчислюємо за виразом:

$$\left(wb_j - wb_i\right) + \left(t_j - t_i\right). \quad (4)$$

Отже, часові зв'язки a_{ij}, a_{ji} можна побудувати для будь-якої пари i, j замовлень. Водночас утворюється матриця зв'язків $\left(a_{ij}\right)$, яку використовують для впорядкування процесу виконання множини замовлень. Зокрема, впорядкування можна провести за критерієм максимального прибутку від виконання заданої множини відомих замовлень:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{N} P_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} a_{ij} x_{ij} C_t - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} l_{ij} x_{ij} C_l \to \max , \quad (5)$$

де $i,j = 1.N$ – номер замовлення; P_i – ціна за виконання i-го замовлення; $x_{ij} = \{0,1\}$ – двійкова змінна, яка набуває значення 1, якщо j-е замовлення виконуватиметься одним АТЗ після i-го, і 0 – у протилежному випадку; C_t – постійні погодинні витрати, пов'язані із забезпеченням і виконанням АТП одного замовлення, які здійснюються незалежно від того, яка операція виконується в даний час (погодинна оплата праці виконавців, орендна плата за основні засоби, оплата відряджень, штрафи, обов'язкові платежі тощо); l_{ij} – пробіг АТЗ на маршруті, пов'язаний із виконанням j-го замовлення (нульовий пробіг, їздка без вантажу, їздка з вантажем); C_l – змінні витрати, які пов'язані з рухом АТЗ на маршруті (витрати на паливо, мастильні матеріали, шини тощо). Другий член правої частини рівняння (5) назвемо часовими витратами, які в більшості відомих розподільчих задач не враховувались. Через простої АТЗ або невчасне виконання замовлення такі витрати можуть сягати понад 2/3 собівартості виконання замовлення. Тому для реалізації критерію (5) формулюють і розв'язують таку задачу. Задано множину замовлень $Z = \{z_0 z_{N+1}\}$, де замовлення z_0, z_{N+1} – фіктивні, використовуються для формалізації початку і завершення виконання добового наряду. Із множини Z потрібно вибрати підмножину $Z' \subseteq Z$, визначити елементи матриці (x_{ij}), тобто активізувати такі зв'язки a_{ij}, щоб вираз (5) набував максимуму. Водночас мають дотримуватись умови:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} \le 1 . \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} - \sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 0 . \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0.j} - \sum_{i=1}^{N} x_{i.0} \le R . \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i.N+1} - \sum_{j=1}^{N} x_{N+1.j} \ge -R , \quad (9)$$

де R – доступна кількість АТЗ у парку рухомого складу АТП.

Обмеження (6) означає, що кожне j-е замовлення може бути виконане не більше одного разу. Це також означає, що окремі замовлення, заради отримання максимального прибутку, можуть взагалі не прийматись. Обмеження (7) означає, що для виконання замовлень АТЗ проїжджають кожен запланований маршрут лише один раз (зв'язок a_{ij} лише один раз реалізовується у транспортному процесі). Обмеження (8) і (9) означають, що для виконання всього плану замовлень може бути використано не більше, ніж доступна кількість АТЗ. Задача в такому формулюванні є відомою, розв'язувалась раніше, за винятком нового сформульованого критерію. У математичному формулюванні це – задача цілочислового програмування. У зв'язку з тим, що в обмеженнях (6), (8), (9) є знаки нерівності, задача належить до нелінійних. Тому гарантовані точні розв'язки під час її вирішення не отримуються [8].

На практиці задовільними вважаються приблизні розв'язки з оцінкою відхилень. Однак у разі зростання кількості змінних розв'язок задачі є неможливим. Наприклад, у разі застосування матриці змінних x_{ij} більшим розміром, ніж 12 × 12, і застосуванні методу градієнтного спуску розв'язок задачі за допустимий час – відсутній. У зв'язку із цим нами було застосовано ознаки, за якими замовлення можна згрупувати в такі множини, пошук послідовності виконання яких є тривіальним, або таким, що зводиться до лінійної задачі математичного програмування. Зважаючи на теорему, сформульовану в роботі [2], досить використати лише одну ознаку сумісності завдань, щоб встановити бажану послідовність їх виконання. Такою ознакою може послуговувати коефіцієнт сумісності, який обчислюється за виразом:

$$K_{c.ij} = \frac{a_{0.j}}{a_{ij}}, \qquad (10)$$

де $a_{0.j}$ – тривалість виконання j-го замовлення у припущенні, що підготовчі операції, очікування і простої АТЗ відсутні (чиста тривалість виконання).

Згідно з виразом (10) замовлення вважатимемо абсолютно сумісними, якщо $K_{c.ij} = 1$. У такому разі виконання j-го замовлення варто призначати в одному маршруті одному АТЗ безпосередньо після виконання i-го замовлення. У цьому разі витрати часу на порожній пробіг, на простої, очікування і затримки доставки вантажу будуть близькі до нуля. Отже, встановлюються пріоритети виконання замовлень. Якщо $K_{c.ij} \to 0$, то послідовність замовлень $i - j$ застосовувати не варто. Розглянемо часовий зв'язок j-го замовлення з формальним початком процесу, тобто $a_{0.j}$. Цей зв'язок фактично означає необхідність додаткового виконання нульового пробігу від бази АТП до місця першого завантаження, завантаження і їздку з вантажем. Простої АТЗ, пов'язані із часовими рамками замовлення і нескоординованістю рухомого складу, відсутні. Якщо $K_{c.0j} \approx 1$, то відповідне j-е замовлення доцільно виконати на початку добового наряду. Водночас подачу АТЗ організовують від найближчої виробничої бази АТП. Отже, ті замовлення, для яких:

$$K_{c.0j} = \max_{0<i\le N}\left\{K_{c.ij}\right\}, \qquad (11)$$

віднесемо до множини замовлень першого пріоритету, тобто таких, які треба виконати першочергово, подавши під завантаження АТЗ із найближчої виробничої бази АТП. Якщо для будь-якого j серед множини $K_{c.ij}$ знайдеться такий коефіцієнт, що $K_{c.ij} = K_{c.0j}$ і водночас дотримується умова (11), тоді j-е замовлення не має абсолютного першого пріоритету, а тому, згідно із [2], потрібно вибрати додаткову ознаку сумісності. Такою ознакою може бути запропонований нами коефіцієнт концентрації замовлень та його видозміни, які вказують на вид маршруту (маятниковий, кільцевий, розвізний, збірний тощо), який найбільш доцільно застосувати для заданого списку замовлень:

$$K_k = \frac{N_z}{Q_g}, \qquad (12)$$

де N_z – кількість замовлень, готових до виконання впродовж заданого періоду T; Q_g – кількість пунктів відвантаження і приймання вантажів, які стосуються множини замовлень, яка запланована на період T.

Якщо коефіцієнт концентрації для множини невпорядкованих замовлень набуває мінімального значення, то перевага віддається маятниковим маршрутам і замовленню, для якого $K_{c.ij} = K_{c.0j}$, і виконується (11) та планується першочергово. І навпаки, якщо $K_k \to 2N_z$, то варто планувати кільцеві маршрути і пріоритет j-го замовлення визначається таким показником сумісності – коефіцієнтом нерівномірності [10]:

$$\eta_t = \frac{a^s_{0.j.\max}}{\overline{a^s_{0.j}}}, \qquad (13)$$

де $a^s_{0.i.\max}$ – максимальні витрати часу, пов'язані з рухом АТЗ, на виконання i-го замовлення без урахування будь-яких попередньо виконаних замовлень; $\overline{a^s_{0.j}}$ – середні витрати часу, пов'язані з рухом АТЗ, на виконання j-го замовлення. На відміну від попередніх коефіцієнтів, η_t стосується лише «чистої» тривалості виконання замовлення, тобто без урахування перехідних та підготовчих операцій. Мінімальне значення коефіцієнта нерівномірності – $\eta_t = 1$. Чим більшою є нерівномірність виконання замовлень, тим складнішою буде задача побудови ефективного транспортного процесу для однотипних АТЗ того самого АТП. Отже, менше значення η_t означає, що на порядок виконання замовлень накладаються менш суворі обмеження. Тому їхня послідовність не впливатиме на витрати у транспортному процесі. Більші числові значення нерівномірності, згідно з евристичними принципами впорядкування [10], віддають пріоритет замовленням у порядку зростання їхньої абсолютної тривалості.

Отже, упорядкування виконання замовлень здійснюється за пріоритетами, що визначаються почергово такими кроками:

1) найвищий пріоритет визначається за коефіцієнтом сумісності; якщо в нульовому рядку

матриці (a_{ij}) є $K_{c.0j}$ з максимальним значенням у своєму стовпці, існують такі замовлення, для яких $K_{c.ij} = K_{c.0j}$, тоді необхідно перейти до кроку 2;

2) встановити пріоритет виконання j-го замовлення за коефіцієнтом концентрації K_k; якщо коефіцієнт концентрації наближається до свого максимуму, тоді необхідно перейти до кроку 3;

3) визначити коефіцієнт нерівномірності множини відомих замовлень і вибрати черговість виконання замовлення j; якщо коефіцієнт нерівномірності є близьким до 1, тоді необхідно пріоритет встановити одним з евристичних принципів [9; 10].

Такий алгоритм було застосовано до потоку вхідних замовлень на перевезення вантажів, фрагмент якого подано в табл. 1. За формулою (1) було визначено часові зв'язки замовлень. Матриця часових зв'язків послужила для визначення коефіцієнтів сумісності (таблиця 2). Діагональ матриці – нулі.

Як видно з табл. 2, перший пріоритет мають замовлення 4, 5, 8, 9, 10, 12, оскільки значення K_c нульового рядка є для них максимальним. Ці замовлення мають виконуватись спочатку. Оскільки для замовлення 9 $K_{c.0.9} = K_{c.1.9}$, то за алгоритмом перевіряємо пріоритет цього замовлення. Оскільки коефіцієнт концентрації $K_k = 0{,}83$, то перевага віддається маятниковому маршруту, отже, першому пріоритетові замовлення 9. Після складання множини замовлень першого пріоритету складаємо другий пріоритет. Для цього в рядку j матриці ($K_{c.ij}$), який відповідає замовленню першого пріоритету, відшукуємо максимальне значення $K_{c.ij}$ і помічаємо номер відповідного стовпця. Якщо у стовпці більше немає помічених значень коефіцієнта сумісності і знайдене значення відмінне від нуля, то цей номер відповідатиме замовленню, яке матиме другий пріоритет і має виконуватись у спільному потоці із замовленням j. Так ведеться пошук, поки не будуть проглянуті всі стовпці першого пріоритету. У результаті складаємо множину замовлень другого пріоритету. Якщо після цього якесь із замовлень першого пріоритету не має вибраного часового зв'язку з наступним, то вважається, що це замовлення виконуватиметься на маятниковому маршруті. Пошук триває доти, поки всі замовлення не отримають пріоритету виконання. Згідно з таблицею 2, замовлення виконуватимуться шістьма АТЗ на таких маршрутах: 0–4–2, 0–5–11, 0–8, 0–9, 0–10–3, 0–12. Застосувавши дані про надходження і витрати для перевезень, за формулою (5) знаходимо запланований прибуток – 54 324 грн. Практичне вирішення, яке неодноразово застосовувалось менеджерами АТП, стосовно якого наведено приклад, складається з таких маршрутів:

0–1–9–13, 0–2–6–13, 0–8–13, 0–11–4–13,
0–10–13, 0–12–7–13.

Фактично АТП отримало за таким рішенням прибуток у розмірі 43 тис. грн, що значно менше оптимального. Якщо застосувати до тих самих початкових даних методику цілочислового програмування (5) – (9), то отримаємо розв'язок у вигляді близького до оптимального переліку маршрутів: 0–1–2, 0–4, 0–6, 0–11, 0–8, 0–9, 0–10–3, 0–12. Прибуток становитиме 49 611 грн.

Висновки. Точніший розрахунок критерію планування вантажних автомобільних перевезень можна отримати, якщо взяти до уваги часові зв'язки між виконанням замовлень, які базуються на часових вікнах.

Для визначення пріоритету виконання замовлень доцільно використовувати показник сумісності замовлень в єдиному потоці їх виконання.

Таблиця 2

Коефіцієнти сумісності замовлень

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0,67	0,50	0,44	**0,86**	**0,81**	0,50	0,36	**0,70**	**0,63**	**1,00**	0,81	**0,69**
1	0,00	0,25	0,58	0,65	0,52	0,62	0,31	0,48	**0,63**	0,46	0,47	0,50
2	0,11	0,00	0,44	0,70	0,38	0,11	0,06	0,35	0,37	0,24	0,30	0,20
3	0,17	0,50	0,00	0,70	0,51	0,19	0,10	0,40	0,55	0,34	0,37	0,30
4	0,12	**0,57**	0,61	0,00	0,55	0,14	0,16	0,43	0,53	0,33	0,38	0,51
5	0,20	0,21	0,57	0,42	0,00	0,14	0,12	0,68	0,53	0,74	**1,00**	0,53
6	0,67	0,21	0,54	0,47	0,47	0,00	0,43	0,57	0,51	0,52	0,51	0,55
7	0,80	0,22	0,51	0,49	0,44	0,67	0,00	0,48	0,55	0,46	0,50	0,46
8	0,47	0,20	**0,51**	0,44	0,44	0,40	0,31	0,00	0,45	0,39	0,62	0,49
9	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,00	0,39	0,62	0,49
10	0,47	0,20	**0,51**	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,00	0,56	0,42
11	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,39	0,00	0,49
12	0,47	0,20	0,51	0,44	0,44	0,40	0,31	0,49	0,45	0,39	0,62	0,00

Запропонована методика й алгоритм розподілу виконання замовлень дають змогу не тільки розв'язувати задачі планування перевезень із великим обсягом вхідних масивів даних, але й отримувати вищі числові значення критеріїв оптимізації.

Список літератури:

1. Langer Ph., Naumann F. Efficient order dependency detection. *The VLDB Journal*. 2016. № 25 (2). P. 223–241. DOI: 10.1007/s00778-015-0412-3.
2. Discovering order dependencies through order compatibility / C. Consonni et al. *Advances in Database Technology-EDBT. OpenProceedings. org*, 2019. Vol. 2019. P. 409–420. URL: https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/384380/EDBT19_paper_93.pdf.
3. Павленко О.В., Великодний Д.О. Формування раціональної схеми обслуговування замовлень на доставку вантажів транспортно-експедиторським підприємством. *Комунальне господарство міст*. 2020. № 154. С. 223–230. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-223-230.
4. Єфремов М.Ф., Єфремов Ю.М., Єфремов В.М. Проблеми і вимоги до АСУ автотранспортного підприємства. *Вісник Житомирського державного технічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2017. № 1 (2 (80)). С. 135–138. DOI: 10.26642/tn-2017-2(80)-135-138.
5. Застосування сучасних інформаційних технологій при розв'язуванні багатоетапних транспортних задач / Г.С. Прокудін та ін. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. № 31. С. 450–462.
6. El-Sherbeny N. A. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University-Science*. 2010. № 22 (3). P. 123–131. DOI: 10.1016/j.jksus.2010.03.002.
7. Mäcker A., Meyer auf der Heide F., Pukrop S. Approximating Weighted Completion Time for Order Scheduling with Setup Times. In: *SOFSEM 2020: Theory and Practice of Computer Science. SOFSEM, 2020.* Lecture Notes in Computer Science / A. Chatzigeorgiou et al. (eds). Vol. 12011. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-38919-2_8.
8. Прокудін Г.С., Оліскевич М.С. Методика оптимізації спільного розкладу парку магістральних автомобілів при наявності часових обмежень. *Технічна інженерія.* 2018. № 2 (82). С. 118–126. DOI: 10.26642/tn-2018-2(82).
9. Oliskevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019. *Proceedings of 1'st Internat. Scientific Conference "Current Problems of Transport 2019*", Ternopil. May, 2019. Ternopil, Ukraine, 2019. P. 141–151. DOI: 10.1007/s10489-006-0033-z.
10. Рой М.П. Метод оптимізації інтегрованого транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.* Серія «Технічні науки». 2020. Т. 31 (70). № 5. С. 220–227. DOI: https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/36.

Sharai S.M., Roi M.P. APPLICATION OF SYSTEM APPROACH TO THE ORGANIZATION OF FREIGHT CARRIAGE WITH TIME WINDOWS

The article investigates the problem of increasing of efficiency of the organization of freight road transportations on the basis of a systematic approach. The flow of orders to be fulfilled according to the criterion of maximum profit is considered. It is shown that the cost of transportation should include hourly costs associated with time windows and forced downtime of cars in outfits. An expression is proposed for calculating the time relationship of two orders in a row. The time relationship is calculated as the duration of a given order, taking into account previously completed tasks. A time matrix has been built for many known transportation orders. The method of solving the problem of profit optimization of a road carrier is analyzed. It is taken into account that the profit consists of revenues from transportation minus hourly costs and mileage costs. It is shown that the known optimization methods are associated with nonlinear mathematical programming, the exact guaranteed solution of which is unknown, and the complexity increases exponentially with increasing volume of input data. In solving the problem, it is proposed to use a systems approach, the initial principles of which are to strive to take into account as fully as possible all the input and output characteristics of the object in the organization of its study. At the same time, it is proposed to distribute order flows according to the priority of their execution. It is shown that the most expedient classification of orders can be carried out on the basis of compatibility of their execution. The compatibility ratio is calculated based on the time relationships between orders. As auxiliary indicators the sign of concentration of orders on a transport network and a level of unevenness of duration of the corresponding processes is offered. An appropriate algorithm for optimizing the plan for the execution of fixed orders has been developed. An example of constructing a matrix of compatibility coefficients is given. The numerical value of the criterion is obtained, the total profit from transportation, which is higher than the practically obtained results, as well as higher than the results of mathematical programming of the nonlinear problem.

Key words: *trucking, system approach, time connections, time windows, hourly costs, process compatibility, order priority.*

БУДІВНИЦТВО

УДК 502.75(477.72)
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/25

Малєєв В.О.
Херсонський національний технічний університет

Безпальченко В.М.
Херсонський національний технічний університет

ДРЕНАЖ ЯК ТЕХНІЧНИЙ СКЛАДНИК ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДТОПЛЕННЯ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У цій роботі узагальнено причини прояву геоекологічної небезпеки – підтоплення. Підтоплення суттєво впливає на безпеку життєдіяльності Херсонської області: стан земельних, мінеральних, рекреаційних ресурсів, біоценози біосферного заповідника «Асканія-Нова», відбувається руйнування об'єктів будівництва. Причини, що викликають підтоплення на півдні України, включають дві групи: природні та техногенні. Природні чинники підтоплення: кліматичні (випадання атмосферних опадів, що перевищують середні декадні значення у 2–5 разів); практична безстічність більшості зрошуваних ландшафтів півдня України; дуже слабка природна дренованість території за наявності напірного живлення підґрунтових вод. До техногенних чинників підтоплення належать причини, пов'язані з водогосподарською діяльністю людини. У підтоплених ґрунтах спостерігається зменшення кількості водостійких агрегатів, зниження водопроникності. Погіршення агрофізичних властивостей ґрунту проявляється у знеструктуренні орного шару, зростанні брилястості, ущільненні профілю та зниженні пористості. Впровадження геоінформаційних технологій є пріоритетним напрямом щодо вирішення проблеми підтоплення, бо надає можливість оперативного отримання поточної інформації про гідрогеологічний стан території і своєчасного регулювання водного балансу певної території. Першочергові заходи щодо ГІС-технологій включають визначення ключових точок (моніторингових точок). Під час виконання робіт, спрямованих на покращення ситуації щодо підтоплення, потрібно застосовувати різні типи дренажів, що пов'язано з їх конструктивними та технологічними відмінностями. На території Херсонської області застосовують переважно лінійний та площинний види дренажів. Потребує більш широкого застосування променевий дренаж, особливо на забудованих територіях. Вибір системи захисних заходів здійснюється на основі водобалансових, фільтраційних, гідравлічних та економічних розрахунків.

Ключові слова: *геоекологічна загроза, техногенні та природні чинники підтоплення, дренаж.*

Постановка проблеми. В історії незалежної України проблема підтоплення в межах області заявила про себе у 1997–1998 роках як внаслідок аномальної кількості опадів. Другий сплеск припав на 2002–2003 роки. Зима 2009–2010 років означила новий етап прояву даної проблеми. Друга декада лютого місяця охарактеризувалася затопленням 72 населених пунктів області, в тому числі і міста Херсон. Треба зазначити, що загроза проявила себе насамперед як процес затоплення території. Разом з тим відомо, що процеси затоплення та підтоплення взаємопов'язані. Проблеми підтоплення, деградації зрошуваних земель у світі не нові. За даними ООН, загальна площа земель, що втратили родючість у результаті діяльності людини, в тому числі й від підтоплення, досягла у світі 2 млрд га, що в 1,5 раза перевищує площу орних земель в Європі. Щороку у світі 200–300 тис. га зрошуваних земель внаслідок заболочення і засолення вилучається із сільськогосподарського обороту. Найскладніше становище щодо підтоплення територій спостерігається у Німеччині, Нідерландах, частково у Франції. Так, у північно-західній частині Німеччини 60% сільськогосподарських угідь потребують осушення; в Нідерландах 40% території (близько 900 тис. га) розташовано нижче рівня моря; в Індії (штат Пенджаб) рівень підґрунтових вод у результаті інфіль-

трації піднявся на 7–9 м. Засолення й підтоплення земель спостерігається в Пакистані, Сирії, Ірані, Мексиці (р. Мескала), США (Каліфорнія) та в багатьох інших країнах [1]. Підтоплення суттєво впливає на безпеку життєдіяльності Херсонської області: стан земельних, мінеральних, рекреаційних ресурсів, біоценози біосферного заповідника «Асканія-Нова», відбувається руйнування об'єктів будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасній пріоритетній геоекологічній проблемі щодо аналізу причин підтоплення територій присвячені праці відомих вчених: Е.С Дзекцера, В.О. Ушкаренка, П.І. Коваленка, М.І. Ромащенка та інших [2; 3; 4; 5]. Підтоплення – це процес підняття рівня підґрунтових вод, який призводить до надмірного зволоження ґрунтів, повного їх насичення водою і пов'язаних з цим явищем істотних змін довкілля [6]. Це комплексний, переважно техногенний процес стійкого підвищення до екологічно небезпечних значень рівнів підґрунтових вод та зволоженості порід зони аерації, які ускладнюють або унеможливлюють нормальну експлуатацію господарських об'єктів, а також погіршують умови життєдіяльності населення [7]. Найбільшу загрозу становлять природні та техногенні чинники. Вони пов'язані з господарською діяльністю людини: створення водосховищ, ставків, замулення річищ рік, каналів, підпір ґрунтових вод водотоками вищого порядку, відсутність або незадовільний стан водовідвідної мережі, відсутність вертикального планування території, незадовільний технічний стан колекторно-дренажної мережі, затоплення поверхневими водами тощо [8].

Формулювання мети дослідження. Метою досліджень є оцінка виявлення територіальних особливостей прояву підтоплення та застосування дренажу як провідного технічного рішення проблеми. При виконанні досліджень застосовували математичний, статистичний, порівняльний та картографічний методи.

Виклад основного матеріалу. В умовах Херсонської області на землях з високим рівнем залягання підґрунтових вод спостерігаються процеси підтоплення, вторинного гідроморфізму, засолення, осолонцювання ґрунтів тощо. Комплекс факторів, які впливають на формування водного режиму ґрунтів, можна класифікувати за такими ознаками: гідрогеологічні, організаційно-господарські, іригаційні, метеорологічні тощо. До комплексу гідрогеологічних факторів підтоплення належить рівнинний, майже безстічний рельєф агроландшафту, недостатня природна (інженерна) дренованість території, наявність значних за площею (до десятків тисяч гектарів) замкнених западин рельєфу, так званих подів, у яких акумулюється поверхневий стік [9].

Поєднання дії природних і техногенних чинників спричинили погіршення екологічного стану довкілля в зоні надмірного їх природного зволоження. Проблема підтоплення посилює інші екологічні проблеми, такі як зсуви, абразія, ерозійні процеси, карст [10].

Посилення та поєднання дії природних і техногенних чинників спричинили погіршення екологічного стану довкілля в зоні надмірного їх природного зволоження.

До комплексу факторів негативного впливу підтоплення на розвиток соціальної підсистеми належать [11]:

– негативний вплив підтоплення на умови життєдіяльності 25–30% населення України (рис. 1);

– зростання захворюваності населення внаслідок стійкого забруднення поверхневих і підземних джерел питного та господарського водопостачання (за оцінками Міністерства охорони здоров'я, близько 80% інфекційних захворювань населення пов'язано з неякісною питною водою);

– виникнення соціального дискомфорту та напруги у зв'язку з підвищенням ризику небезпечних екологічних ситуацій, пов'язаних зі збільшенням випадків руйнування житла, умов життєдіяльності, транспортних мереж;

– стійке поглиблення екологічної кризи та зменшення екологічного потенціалу підтоплених земель внаслідок незворотних змін природних екосистем (ландшафтів, ґрунтів, поверхневих і підземних водних об'єктів).

Особливу увагу привертають до себе сучасні економічні збитки, які пов'язані з розвитком регіонального підтоплення земель у зонах негативного впливу водогосподарської діяльності. За оцінками вчених НАНУ, загальна величина економічних збитків від регіонального підтоплення земель сягає 1,5–2,0 млрд на рік.

Крім того, багато чинників впливу підтоплення мають незворотний характер [12; 13]: просідання ґрунту з наступним погіршенням його опорної здатності, погіршення умов експлуатації та будівництва інженерних споруд; деформації поверхонь схилів або новоутворення карстових провалів, ліквідація наслідків яких пов'язана зі значними матеріальними та економічним витратами; зниження родючості ґрунтів, передусім на зрошуваних масивах.

Рис. 1. Затоплення вулиці П'ятихатської (м. Херсон, 26.02.2010 р.)

У підтоплених ґрунтах спостерігається зменшення кількості водостійких агрегатів, зниження водопроникності. Погіршення агрофізичних властивостей ґрунту проявляється у знеструктуренні орного шару, зростанні брилястості, ущільненні профілю та зниженні пористості. Ці негативні явища призводять до зниження родючості – головної біосферної та екологічної функції ґрунту. Необхідно відмовитися від традиційного класичного визначення норм подачі води на окрему зрошувану ділянку або території. Настав час системного підходу до нормування водокористування з урахуванням особливостей ландшафту та сталого (збалансованого) розвитку території. Це передбачає насамперед необхідність подальшого розвитку теорії стійкості геосистем. Першим кроком до визначення стійкості підтоплених геосистем повинна бути регіональна класифікація за показником прояву сучасних негативних інженерно-геологічних процесів. Досвід такого дослідження свідчить про те, що при значному обсязі польових і камеральних робіт результат співвідноситься з обмеженою за площею територією. При екстраполяції оцінок на суміжні природно-територіальні комплекси (ландшафти, геосистеми) втрачається їх основна перевага – достовірність і точність, що унеможливлює використання цих оцінок в проєктуванні. Наступна методична проблема полягає у необхідності визначення, протягом якого часу повинна зберігати стійкість підтоплена територія межу своєї стійкості. На жаль, методика одержання таких даних розроблена недостатньо.

Інший пасивний механізм стійкості стану систем пов'язаний з так званою проточністю, коли компоненти впливу або його субстанції не затримуються в системі, а виносяться з неї без суттєвих наслідків для системи. Саме ця компонента повинна використовуватися якнайбільше у вигляді дренування території як елемент системи захисту від підтоплення в умовах Херсонської області. Таким чином, використовуючи системний підхід та враховуючи фундаментальні властивості геосистеми, можна реально визначити методологічні засади керованого контролю антропогенного впливу на процеси підтоплення в нашій області. Перший етап вирішення проблеми включає, на нашу думку, зниження розораності земель в Херсонській області до 40–45%. Другий етап – досягнення оптимальної розораності в області на рівні 28–32%.

Техніко-технологічні засоби вирішення проблеми включають: забезпечення стабільної роботи існуючих дренажних систем; будівництво нового дренажу на підтоплених с.-г. угіддях; будівництво дренажу для захисту від підтоплення населених пунктів; відновлення поблизу населених пунктів природних поверхневих водотоків, ліквідація ставків, дамб та інших підпорних споруд; ревізія технічного стану водопровідно-каналізаційної мережі з метою ліквідації витоків побутових та промислових вод; заборона розміщення «супутників» зрошення поблизу населених пунктів, які зазнають підтоплення.

Заходи щодо зменшення іригаційного живлення включають: зменшення втрат води із зрошувальних систем і мереж; запровадження водозберігаючих режимів зрошення; припинення зрошення у місцях розташування подів, балок.

Впровадження геоінформаційних технологій є пріоритетним напрямом щодо вирішення проблеми підтоплення, бо надає можливість оперативного отримання поточної інформації про гідрогеологічний стан території і своєчасного регулювання водного балансу певної території. Першочергові заходи щодо ГІС-технологій включають визначення ключових точок (моніторингових точок). Такими повинні бути: біосферні заповідники, стаціонари тривалих наукових спостережень, критично підтоплені населені пункти, існуюча мережа спостережних свердловин. На першому етапі повинно бути обладнано близько 1 000 моніторингових точок на область. Надалі бажано вийти на цифру 1 точка на 1 км^2.

Як зазначалося, одним із шляхів покращення гідрогеолого-меліоративної обстановки є будівництво штучного дренажу. Дренаж має профілактичний характер і виконує захисні функції час від часу, лише при наближенні ґрунтових вод до поверхні землі – за дощів, під час поливів. У інші періоди дренаж пересихає і не працює, за винятком колекторів і дрен, прокладених у днищах балок та низинах з практично безперервним стоком [14]. Дренажні системи розраховуються на вологі роки 25%-ної забезпеченості за атмосферними опадами (приблизно 430 мм за рік), тому природно, що вони не спроможні впоратись з опадами меншої повторюваності.

Як відомо, дренаж залишається одним з головних методів захисту територій від підтоплення. При захисті від підтоплення будинків і споруд, підземних комунікацій величина необхідного зниження визначається нормативними документами. Під будинками й спорудами рівень підґрунтових вод повинен розташовуватися нижче закладення підошви фундаменту не менш ніж на 0,5 м. При цьому захист фундаментів і підвалів від капілярної вологи здійснюється шляхом влаштування відповідної гідроізоляції. Для захисту забудованих територій від підтоплення використовують однолінійні, дволінійні й площинні системи дренажів горизонтального, вертикального або комбінованого типу (рис. 2, 3).

При осередковому характері підтоплення мають потребу в захисті зазвичай окремі будинки й споруди. Це досягається застосуванням локальних дренажів: контурних (кільцевих), лінійних, променевих, пластових, пристінних тощо (рис. 4). За принципом відбору води й вологи з ґрунту застосовуються дренажі гравітаційної дії й спеціальні – вакуумні, вентиляційні. На практиці в основному застосовуються гравітаційні дренажі, спеціальні дренажі в області не вийшли зі стадії експериментального вивчення. Під час будівни-

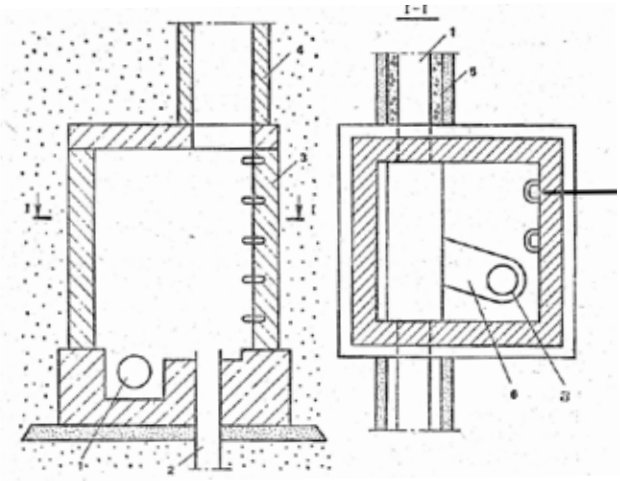


Рис. 3. Конструктивна схема комбінованого дренажу:
1 – горизонтальна дрена; 2 – вертикальна шпара, що самовиливається; 3 – оглядовий колодязь; 4 – горловина колодязя; 5 – фільтруюче обсипання; 6 – цементний лоток

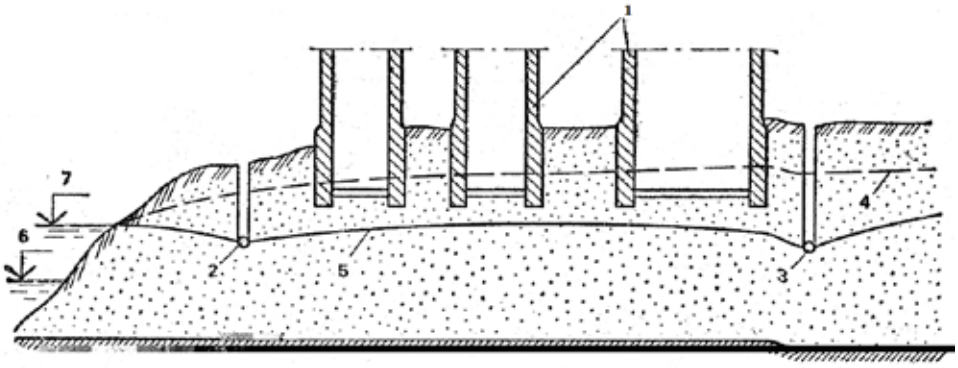


Рис. 2. Схема дволінійного дренажу:
1 – контури споруджень, що захищають; 2 – берегова дрена; 3 – головна дрена; 4 – рівень ґрунтових вод до влаштування дренажу; 5 – знижений рівень ґрунтових вод; 6 – рівень води до будівництва водоймища; 7 – нормальний підпертий горизонт після влаштування водоймища

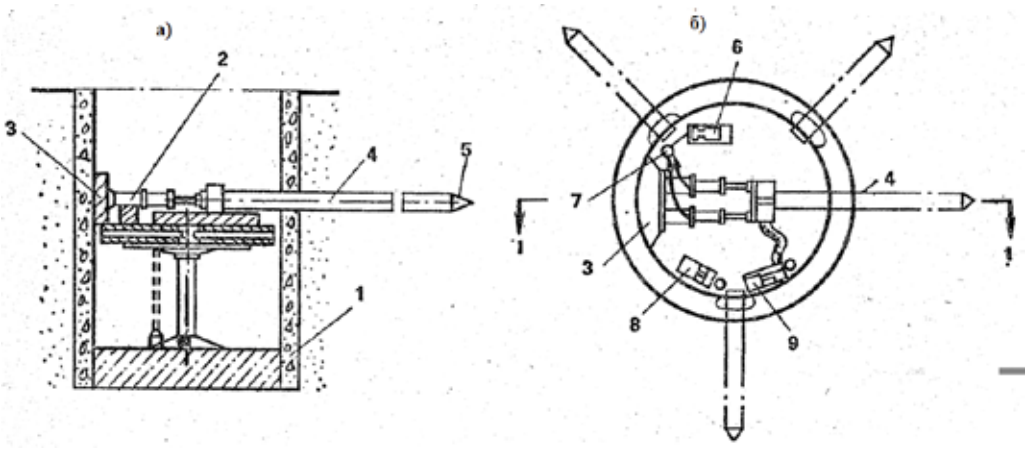


Рис. 4. Схема променевого дренажу (а – розріз; б – план):
1 – шахтний колодязь; 2 – гідродомкрати; 3 – завзятий блок; 4 – дрени; 5 – буровий конус; 6 – маслонасоси; 7 – масловідстійник; 8 – насос для відкачки шламу з колодязю; 9 – насос для гідробуравлення

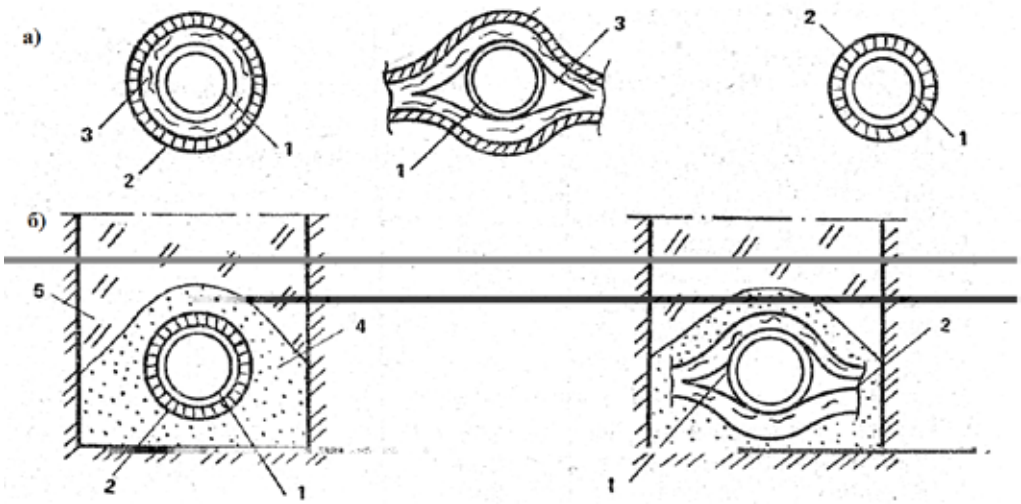


Рис. 5. Схема конструкції трубчастого горизонтального дренажу з фільтруючими обгортками з волокнистих матеріалів (а – варіанти сполучення волокнистих матеріалів із дренажною трубою; б – конструктивні схеми дрен):
1 – дренажна труба; 2 – скловолокно; 3 – скловойлок; 4 – піщане обсипання; 5 – зворотне засипання

цтва горизонтальних трубчастих дренажів промислових і міських територій застосовуються такі конструктивні типи: традиційні конструкції із трубчастою основою з керамічних, азбестоцементних, бетонних, чавунних, рідше пластмасових труб з 2–3 шарами фільтруючого обсипання з пухкого сортованого матеріалу (пісок, гравій, щебінь); з трубчастою основою й фільтруючими обгортками (рис. 5) з різного типу тканих і нетканих мінеральних або полімерних матеріалів [15].

Під час виконання робіт, спрямованих на покращення ситуації щодо підтоплення, потрібно застосовувати різні типи дренажів, що пов'язано з їх конструктивними та технологічними відмінностями. Крупність матеріалу й кількість шарів пухких обсипок у дренажах традиційної конструкції підбирається за відповідними методиками залежно від умов дренування, виду ґрунту, розмірів водоприймальних отворів. На території Херсонської області застосовують переважно лінійний та площинний види дренажів. Потребує більш широкого застосування променевий дренаж, особливо на забудованих територіях. Вибір системи захисних заходів здійснюється на основі воднобалансових, фільтраційних, гідравлічних та економічних розрахунків.

Перевірку роботи дренажу в окремі періоди (необхідність зниження рівня ґрунтових вод до 1,5–1,8 м до початку польових робіт після профілактичних поливів) проводять за формулами режиму, що не встановився.

Основна розрахункова схема осушаючої і розсоляючої дії систематичного і вибіркового дренажу характеризується періодичною роботою протягом року, постійним у певні періоди живленням з поверхні (фільтраційні втрати, промивний режим зрошення) і напірним живленням.

Для головного (ловчого) і берегового дренажу розрахункова схема характеризується періодичною роботою і наявністю потоку підземних вод з однієї або двох сторін.

В залежності від гідрогеологічних умов розрізняють дві основні схеми: більш або менш однорідний або шаруватий ґрунт, іноді значної потужності, що залягає на водоупорі; однорідний ґрунт, що підстилається напорним пластом. У першому випадку джерелом живлення є інфільтрація з поверхні, у другому – до інфільтраційного живлення додається глибинна напірна підпитка (рис. 6).

За умови відносно глибокого залягання водоупору, що характерно для випадків, коли є необхідність у тимчасовому дренажі, відстань між дренами визначають підбором за формулами:

А.Н. Костякова

$$B = \frac{\pi K h}{\nu_{тим}\left(\ln\frac{B}{d} - 1\right)} \qquad (1)$$

або С.Ф. Авер'янова–Цюй-Син-е

$$B = \frac{\pi K h}{\nu_{тим}\ln\frac{2B}{\pi\sqrt{2dh_1}}}, \qquad (2)$$

де h – глибина тимчасових дрен, м (h=0,8-1 м); $\nu_{тим}$ – швидкість тимчасового дренажу, K – коефіцієнт фільтрації ґрунтів, м/добу; d – діаметр дрен, м ($d = 0,56(b + h_1)$; b – ширина дрен по дну, м (b=0,2-0,5 м); h_1 – глибина наповнення дрен, м).

За умови мілкого залягання (B/T>3) застосовують формулу Кене з поправкою на недосконалість дрен, що введена С.Ф. Авер'яновим:

$$B = 2\sqrt{\frac{2KHT}{q}\left(1 + \frac{H}{2T}\right)\alpha}, \qquad (3)$$

де α – коефіцієнт вісячесті, що враховує додатковий опір фільтраційного потоку при звуженні і надходженні його в недосконалу дрену у порівнянні з каналом, що прорізає водоносний шар.

Формулу (1) можна привести до вигляду, що виключає підбір під час визначення B:

$$B = T\left[2\sqrt{\frac{2KH}{qT}\left(1 + \frac{H}{2T}\right) + Б^2} - Б\right], \qquad (4)$$

де Б = 2,94 $\lg\frac{2T}{\pi d}$.

Аналогічні формули для визначення відстані між дренами, що запропоновані В.М. Шестаковим, мають вигляд (рис. 7):

$$B = 4\left[\sqrt{\frac{KT}{2q}H + L_{н.д.}^2} - L_{н.д.}\right], \qquad (5)$$

де $L_{н.д.}$ – характеристика недосконалості дренажу, що являє собою розрахункову довжину зони різкої деформації потоку поблизу дрени.

Для одношарового пласту (рис. 6, а)

$$L_{н.д.} = 0,73m\lg\frac{2m}{\pi d}, \qquad (6)$$

Для двошарового пласту при $Кн \succ 10Кв$ (рис. 6, б)

$$L_{н.д.} = 0,73m\frac{Кн}{Кв}\lg\frac{8m_B}{\pi d}, \qquad (7)$$

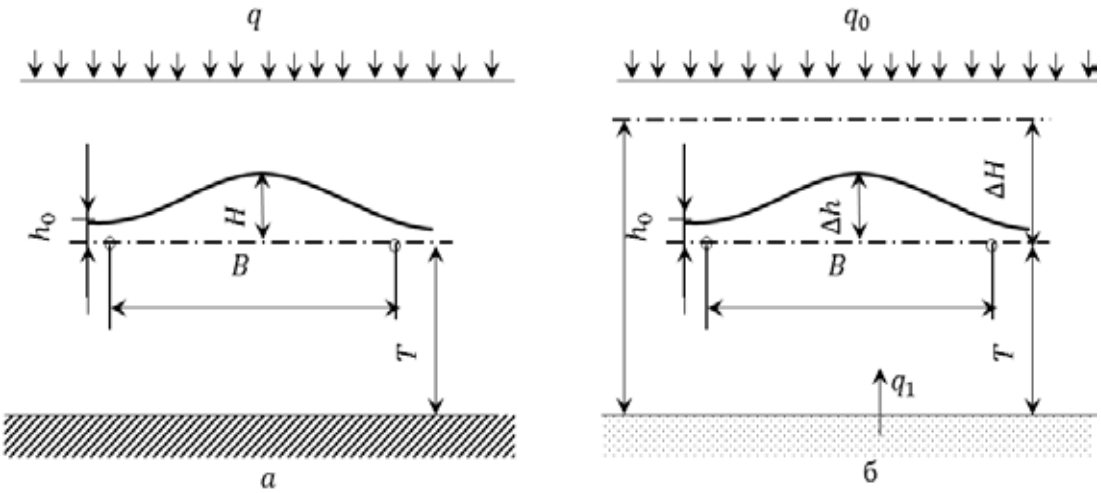


Рис. 6. Розрахункові схеми: а) однорідний ґрунт, що залягає на водоупорі, б) однорідний ґрунт, що підстилається напірним пластом

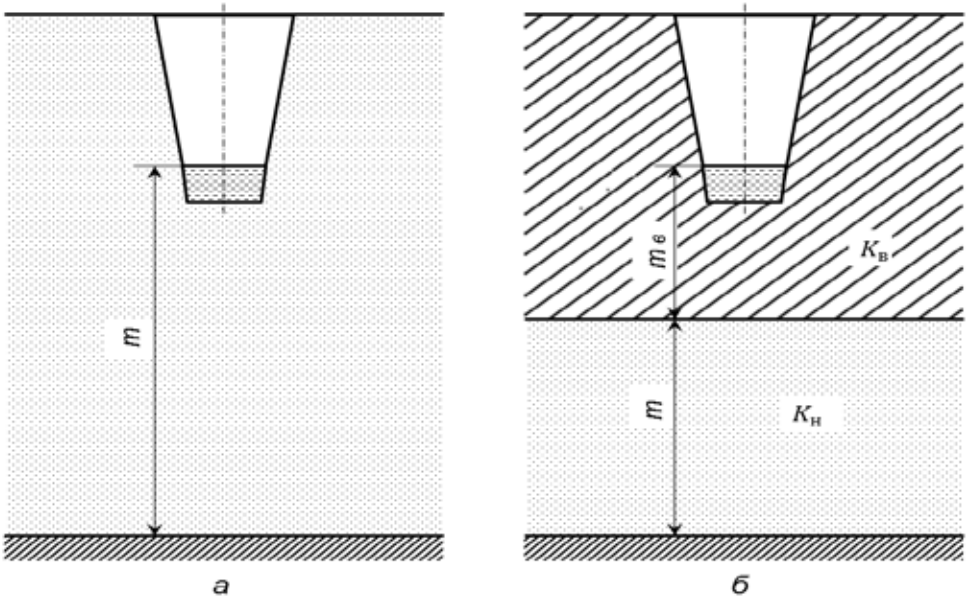


Рис. 7. Типові схеми будови придренної області: а) одношарового, б) двошарового з дреною у верхньому шарі

де d – діаметр дрени, m – відстань між відміткою закладення дрени і відміткою залягання водо упору, *Кн* – коефіцієнт фільтрації підстилаючої породи, *Кв* – коефіцієнт фільтрації ґрунту, де знаходиться дрена.

Для другої схеми (рис. 6,б) використовують формули С.Ф. Авер'янова. У разі глибокого залягання напорного пласту (B/T≤3) відстань між дренами для забезпечення потрібного Δh визначають за формулою:

$$B = \frac{1,37T}{\left(\Delta\bar{H} - 1\right)\lg\frac{2B}{\pi d^*} + 0,3}, \qquad (8)$$

де

$$d^* = \sqrt{2d\left(\Delta h + d\right)}; \quad \Delta\bar{H} = \frac{\Delta H + gT / K}{\Delta h}. \qquad (9)$$

Повний приток до дрени (інфільтраційний і напірний)

$$Q = \left(q + q_1\right)B = \frac{\pi K \Delta h\left(\Delta\bar{H} - 1\right)}{\pi T / B - 0,693}, \qquad (10)$$

де q_1 – інтенсивність напірної підпитки.

При відносно неглибокому заляганні напірного пласту (B/T>3) відстань між дренами визначають за формулою:

$$B = \frac{4T}{\pi}\lg\frac{4}{th\left[\frac{\Delta\bar{H} - 1}{\Delta\bar{H}}\ln\frac{8T}{\pi d^*}\right]}, \qquad (11)$$

а приток до дрени визначають за формулою:

$$Q = \frac{\pi K \Delta\bar{H}\Delta h}{\ln\frac{8T}{\pi d^*}}, \qquad (12)$$

Ефективність горизонтального дренажу оцінюється кількістю відведених інфільтраційних вод та солей з активної товщі ґрунтів. Напірне живлення значно збільшує приток підземних вод до дрени і знижує ефективність його разсоляючої дії, сповільнюючи процес опріснення ґрунтів під час промивок та збільшуючи небезпеку вторинного засолення в експлуатаційний період. Горизонтальний дренаж у цих умовах відводить значну кількість підземних вод (до 50% загального дренажного стоку). Ефективність горизонтального дренажу, тобто відповідність інфільтраційних і підземних вод у загальному дренажному стоці, залежить від інтенсивності інфільтраційного живлення і параметрів дренажу. Зі збільшенням міждренної відстані і глибини закладення дрен частка підземного притоку збільшується. Збільшення інфільтраційного живлення знижує надходження підземних вод у дрени.

Висновки. Причини, що викликають підтоплення на півдні України, включають дві групи: природні та техногенні. Природні чинники підтоплення: кліматичні (випадання атмосферних опадів, що перевищують середні декадні значення у 2–5 разів); практична безстічність більшості зрошуваних ландшафтів півдня України; дуже слабка природна дренованість території за наявності напірного живлення підґрунтових вод. До техногенних чинників підтоплення належать причини, пов'язані із водогосподарською діяльністю людини. Сучасні методологічні проблеми нормування водокористування

вимагають подальшої розробки теорії стійкості та надійності геосистем, організації мозаїчного ландшафту з обов'язковим застосуванням геоінформаційних технологій, які надають можливість оперативного отримання, обробки поточної інформації щодо гідрогеологічного стану області та здійснювати регулювання водного балансу територій. Застосування дренажу є найбільш ефективним засобом щодо захисту території від підтоплення агроландшафтів та міських забудов. Для підтоплених територій Херсонської області поряд з лінійним, площинним, іншими видами «класичного» дренажу, актуальним є розробка технологій та застосування інноваційних видів як приклад променевого (особливо для забудованих територій).

Список літератури:

1. Ромащенко М.І., Собко О.О., Калантиренко І.І. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення. Київ : Аграрна наука, 2001. 216 с.
2. Дзекцер Е.С. Гидромеханические аспекты проблемы подтопления застроенных территорий подземными водами. Москва : Изд-во МГУ, 1976. 275 с.
3. Ушкаренко В.О., Морозов В.В., Сніговий В.С., Сафонова О.П. Підтоплення зрошуваних земель – проблеми і перспективи. *Таврійський науковий вісник*. Херсон : Айлант, 2001. Вип. 20. С. 127–131.
4. Морозов В.В., Грановська Л.М., Поляков М.Г. Еколого-меліоративні умови природокористування на зрошуваних ландшафтах України: Навч. посібник. Київ-Херсон : Айлант, 2003. 208 с.
5. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Надзвичайне підтоплення території на півдні України взимку 1998 року (причини та ліквідаційні заходи). Матеріали Інституту гідротехніки і меліорації УААН. Київ, 1998. 78 с.
6. Коноплянцев А.А., Кофф Г.Л. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории городов: Методы изучения и прогноза изменений. Москва : Наука, 1989. 117 с.
7. Малєєв В.О. Особливості опустелювання агроландшафтів Херсонщини. *Матеріали семінару стосовно затвердження Національної доповіді щодо впровадження в Україні Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням.* Київ : Фітосоціоцентр, 2007. С. 62–69.
8. Малєєв В.О., Безпальченко В.М. Зрошувальні меліорації Херсонської області в контексті збалансованого розвитку. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* Херсон, 2017. № 1(60). С. 215–223.
9. Малєєв В.О., Безпальченко В.М., Ананійчук О.О. Підтоплення територій Херсонської області: аналіз та шляхи вирішення проблеми. *Проблеми екології та енергозбереження*. матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції, 20-22 вересня 2019. Миколаїв, 2019. С. 176–179.
10. Ігнатенко М.Г., Малєєв В.О. Екологія і економіка природокористування. Навч. посібник. Херсон-Київ, 2002. 284 с.
11. Ігнатенко М.Г., Малєєв В.О., Пилипенко Ю.В. Основи економіки природокористування. Навч. посібник. Херсон, 2007. 312 с.
12. Схема комплексного захисту сільськогосподарських угідь та населених пунктів Херсонської області від підтоплення ґрунтовими водами і затоплення поверхневими водами. *Матеріали Інституту гідротехніки і меліорації УААН*. Київ, 2005. 114 с.
13. Про проблеми підтоплення Херсонської області. *Матеріали Каховської гідрогеолого-меліоративної експедиції.* Херсон, 1999. 18 с.
14. Наукові основи раціонального використання природно-ресурсного потенціалу Херсонської області / Малєєв В.О., Кузнєцов С.І., Карманов В.В., Безпальченко В.М.; за ред. В.О. Малєєва. Херсон : Вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2018. 336 с.
15. Малеев В.О., Безпальченко В.М. Підтоплення територій Херсонської області: аналіз причин, шляхи вирішення проблеми. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. Київ : ДЕА, 2018. № 1(20). Т. 1. С. 39–43.

Malyeyev V.A., Bezpalchenko V.M. DRAINAGE AS A TECHNICAL COMPONENT OF SOLVING THE PROBLEM OF FLOODING OF KHERSON REGION

This paper summarizes the causes of geoecological danger – flooding. Flooding significantly affects the safety of life in the Kherson region: the state of land, mineral, recreational resources, biocenosis of the biosphere reserve "Askania-Nova", the destruction of construction sites. The causes of flooding in southern Ukraine include two groups: natural and man-made. Natural factors of flooding: climatic (precipitation, exceeding the average decadal values by 2-5 times); practical drainage of most irrigated landscapes of the south of Ukraine; very weak natural drainage of the territory in the presence of pressure supply of groundwater. Man-made flooding factors include causes related to human water management activities. In flooded soils there is a

decrease in the number of water-resistant units, a decrease in water permeability. Deterioration of agrophysical properties of the soil is manifested in the destructuring of the arable layer, the growth of brilliance, compaction of the profile and reduced porosity. The introduction of geographic information technologies is a priority for solving the problem of flooding, because it provides an opportunity to quickly obtain current information about the hydrogeological state of the territory and timely regulation of the water balance of a particular area. Priority measures for GIS technologies include identification of key points (monitoring points). When performing work to improve the flooding situation, different types of drainage should be used due to their design and technological differences. In the Kherson region, mostly linear and planar types of drainage are used. Radiation drainage needs to be more widely used, especially in built-up areas. The choice of the system of protective measures is made on the basis of water balance, filtration, hydraulic and economic calculations.

Key words: *geoecological threat, technogenic and natural factors of flooding, drainage.*

ГЕОДЕЗІЯ

УДК 332.3:711.14(477.61)
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/26

Сопова Н.В.
Луганський національний аграрний університет

Сопов Д.С.
Луганський національний аграрний університет

Хайнус Д.Д.
Луганський національний аграрний університет

Бузіна І.М.
Харківський національний аграрний університет імені В.В. Докучаєва

Кирпичова І.В.
Луганський національний аграрний університет

Лугова Т.М.
Луганський національний аграрний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В ЛУГАНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

У статті наведено результати досліджень стосовно перспектив екологічної оптимізації сільськогосподарського землекористування в Луганській області. Наголошено, що екологічної оптимізації потребують близько 70% земель сільськогосподарського фонду. Через поширення орендних форм господарювання на землі проблема втілення концепції ведення рослинництва на принципах сівозміни стає вельми актуальною, оскільки для найшвидшого прибутку орендарі часто порушують науково обґрунтовані сівозміни. Тому актуальними стають принципи ведення господарства, що містять: 1) пріоритетність природоохоронних, зокрема ґрунтоохоронних, завдань, і оптимальне їх поєднання з виробничими; 2) максимальне збереження природних елементів агроландшафтів із метою їхньої реконструкції та подальшого збільшення ареалів; 3) жорсткий контроль за землекористуванням орендарями та пайщиками.

Природнє навколишнє середовище регіону характеризується просторовою мінливістю, і ця властивість має велике екологічне значення, тому географічне дослідження навколишнього середовища можна вважати необхідною передумовою екологічних досліджень. Важливою особливістю географічного дослідження є великі потенційні можливості системного підходу до вивчення природних і суспільних явищ, які можна повністю використати в ході міждисциплінарних екологічних досліджень.

Нині у регіонах нашої держави склалася достатньо критична ситуація в аграрному землекористуванні. Швидкими темпами відбувається деградація та виснаження земельних ресурсів, а також зниження їхньої родючості. Дослідження показали, що за останні 30 років площа еродованих земель зросла приблизно у 1,5 рази, значно розширилися площі засолених, закислених, осолонцьованих, підтоплених і техногенно забруднених сільськогосподарських угідь, а це знизило їхню родючість до критично низького рівня. Саме тому вирішення продовольчих, економічних, екологічних, аграрних, демографічних, соціальних проблем, пов'язаних із господарюванням на землі, вимагає кваліфікованих розробок щодо її раціонального використання й охорони.

Ключові слова: *агроландшафт, землекористування, земельні ресурси, екологічна оптимізація, ґрунт.*

Постановка проблеми. Найважливіша частина природного середовища, яка є невід'ємною умовою життя і суспільного виробництва, – земельні ресурси – зазнала такого потужного тиску, що екологічна ситуація набула катастрофічного характеру. Стан земельного фонду адекватно відображає здоров'я нації, тому інтенсивна експлуатація земельних угідь до повного виснаження без застосування відновлювальних заходів призведе до екологічного колапсу. Саме тому нагальною стає проблема екологічного обмеження у використанні сільськогосподарських земель з урахуванням їхніх геоморфологічних, кліматичних, ґрунтових, протиерозійних та інших особливостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання й охорони земель за умов ринкової економіки вивчають Л.Я. Новаковський, М.А. Олещенко, А.Я. Сохнич, М.Г. Ступень, А.М. Третяк та ін. Питання екологічно безпечного землекористування є предметом дослідження В.О. Белоліпського, Д.С. Добряка, О.Н. Другова, В.І. Тарасова та ін. Проблеми концентрації сільськогосподарського землекористування за умов завершення земельної реформи порушують О.В. Кустовська, Г.К. Лоїк та ін. Проблемами оптимізації землекористування на Луганщині в різний час займалися А.М. Джос, О.О. Кисельова, Г.Г. Комінова, П.О. Мілєхін та ін.

Постановка завдання. Окреслити основні напрями та перспективи екологічної оптимізації сільськогосподарського землекористування в Луганській області.

Виклад основного матеріалу дослідження. Очевидним є те, що агроландшафти Луганщини здебільшого потерпають від надмірної експлуатації. Нині в Україні активно розробляється концепція істотної реструктуризації землекористування з метою зменшення екологічних ризиків. Зокрема, пропонується скоротити площу ріллі на 10–12 млн га за рахунок переведення площ, на яких економічно невигідно вирощувати сільськогосподарські культури, у природні кормові угіддя та під заліснення, й таким чином знизити рівень розораності з 81% до 57,5%. Це насамперед є актуальним для Луганської області, екологічний потенціал якої, за В.П. Руденком, становить 13,8% [1].

Ситуація у цій сфері досягла критичного стану: зростають площі еродованих земель, збільшуються території, зайняті засоленими та солонцюватими, підтопленими й техногенно забрудненими землями, а це призводить до зубожіння земель. Цілком очевидною є нагальна потреба реструктуризації сільськогосподарського земельного фонду, що відповідає одному із напрямів земельної реформи, розпочатої після відновлення незалежності України.

За одностайною думкою вчених [2], оптимізація сільськогосподарського землекористування полягає в його реструктуризації, насамперед через докорінні зміни традиційно усталеного співвідношення площ стабілізуючих і дестабілізуючих угідь. Ще В.В. Докучаєв висловлював думку про доцільність встановлення норм, які визначають відносні площі ріллі, лук, лісу та водойм.

Як зазначає В.Ф. Сайко, шлях до поліпшення екологічного стану сучасних агроландшафтів безальтернативно лежить через зменшення питомої ваги орних земель на користь стабілізуючих природних угідь [3]. Зусилля багатьох фахівців і науковців спрямовані на визначення оптимального співвідношення цих двох «контрагентів». Численні різноманітні методики визначення такого співвідношення й одержані показники екологічної стійкості агроландшафтів засвідчують лише те, що згадане співвідношення має бути суто індивідуальним для кожного типу агроландшафту з його геоморфологічними, кліматичними, ґрунтовими, гідрологічними та іншими характеристиками.

За А.Н. Каштановим та ін., для визначення оптимального сполучення складників агроландшафту необхідне розв'язання таких завдань [4]:

– оцінка ресурсовідновлювальних, середовищестабілізуючих функцій агроландшафтних систем та охорони генофонду;

– визначення економічних показників, що містять урожайність, собівартість, прибуток;

– визначення екологічних показників, таких як ступінь забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, рослинності, повітря;

– оцінка якості життя населення.

Ми вважаємо, що для кожної із зазначених груп завдань можна одержати об'єктивні показники, але навряд чи на них можна побудувати універсальну математичну модель оптимізації структури агроландшафту.

Найголовнішими шляхами оптимізації сільськогосподарського землекористування в Луганській області, що забезпечать підвищення родючості ґрунтів різного ступеня еродованості, є ґрунтозахисна обробка, фітомеліорація та зрошувальна меліорація, агротехнічні заходи, землювання, контурна організація території. Зокрема, землевпорядні аспекти контурно-меліоративної організації території висвітлює О.Г. Тараріко [5], проблеми конструювання ерозійно безпечних

агроландшафтів та ефективного й раціонального використання деградованих земель – С.Г. Чорний [6], О.А. Чернявський і В.К. Сівак [7; 8].

Необхідно переглянути структуру посівних площ на користь ерозійно стійких агрофонів. Як відзначає А.С. Лук'яненко, найбільш ерозійно небезпечними є площі, зайняті чорним паром і просапними культурами, тому необхідне врегулювання структури посівних площ з урахуванням природних умов [9].

Насамперед вилученню зі складу орних земель підлягають такі землі:

– малопродуктивні землі, які використовувалися в останні десятиріччя в сільськогосподарському виробництві, але господарювання на них не було ефективним;

– землі гідрографічної мережі;

– забруднені землі;

– землі на схилах крутизною понад 3° із середньо- та сильнозмитими ґрунтами.

Детальне обстеження або коригування фондових матеріалів минулих років повинно було мати на меті:

– віднесення земель до деградованих або малопродуктивних;

– вивчення трансформації угідь;

– дослідження організації території деградованих і малопродуктивних земель, у т. ч. тих, що вилучаються зі складу ріллі;

– закріплення ділянок із деградованими та малопродуктивними землями захисними лісосмугами або чагарниковими кулісами;

– запровадження сучасних технологій, особливо сівозмінних схем.

Луганськими науковцями-практиками були розроблені тимчасові методичні рекомендації з охорони й відновлення родючості еродованих ґрунтів [10], але вони потребують корекції через нові умови, що склалися за час воєнних дій на окупованій частині території області. Автори розраховують коефіцієнт екологічної стабільності за співвідношенням лісовкритих площ, лучних угідь і площі ріллі. За їхніми розрахунками [11], він дорівнює 0,44 (рис. 1).

У Регіональній цільовій програмі розвитку екологічної мережі Луганської області на 2010–2020 рр.

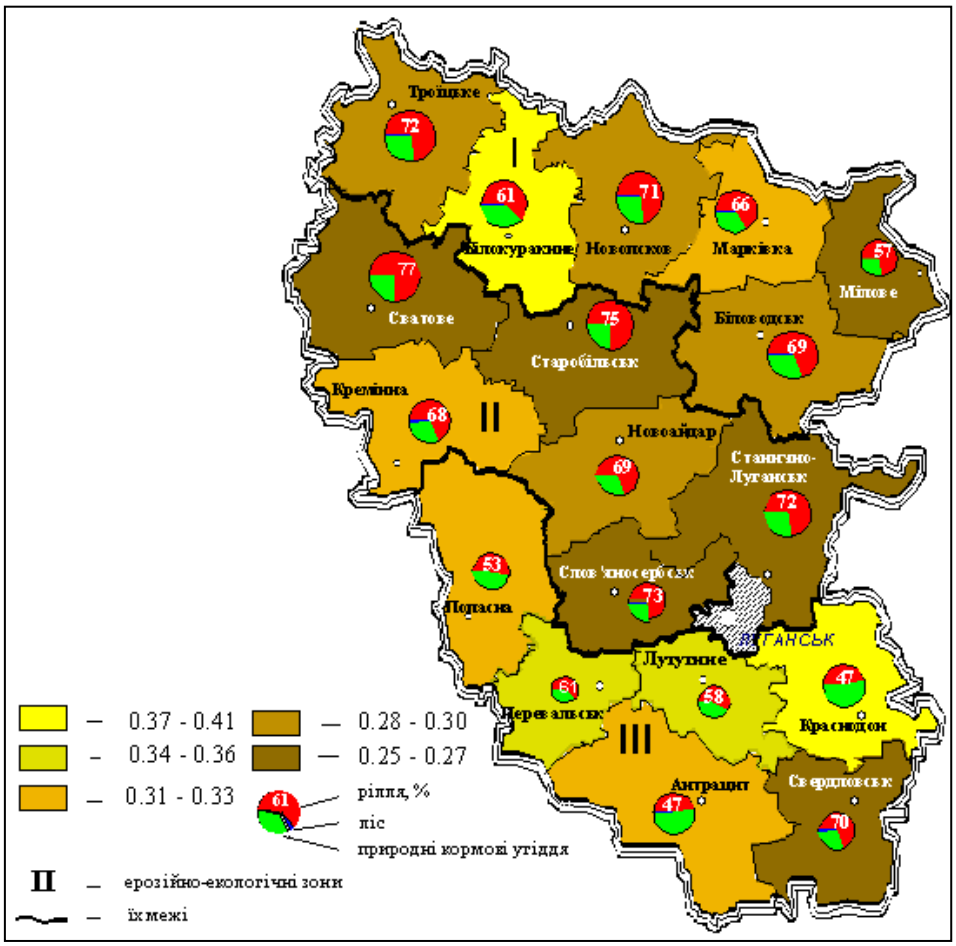


Рис. 1. Екологічна стабільність землекористування Луганської області [11]

[11] передбачалося, що частка ріллі на 2020 р. сягатиме 51% (рис. 2, 3), але якщо на 2010 р. вона становила 66,8%, то тенденція змінилася на гірше, й у 2016 р. вона вже складала 66,88%.

Залишаються великі розбіжності також між прогнозованою та реальною структурою сільськогосподарських угідь. Так, площа пасовищ збільшується щорічно лише на 0,28%, тобто у 2020 р. вона досягла лише 25,5% (прогнозовано 34,3%). Сіножаті не «дотягнуть» до прогнозованої цифри майже на 2%. Площа перелогів закономірно зменшиться: із 2010 р. до 2016 р. вона зменшилася наполовину, а до 2020 р. мала зменшитися ще вп'ятеро.

На Луганщині налічується 67,9 тис. га зрошуваних земель. З 1990 р. їхня площа стала зменшуватися (табл. 1).

Засолені та солонцюваті землі становлять 78,8% від площі сільськогосподарських угідь. Особливо засолені землі під сіножатями (табл. 2).

Осушення перезволожених земель, площа яких сягає 16,2% від загальної площі сільськогосподарських угідь, досить інтенсивно відбувалося до 1985 р., потім відповідні заходи припинилися.

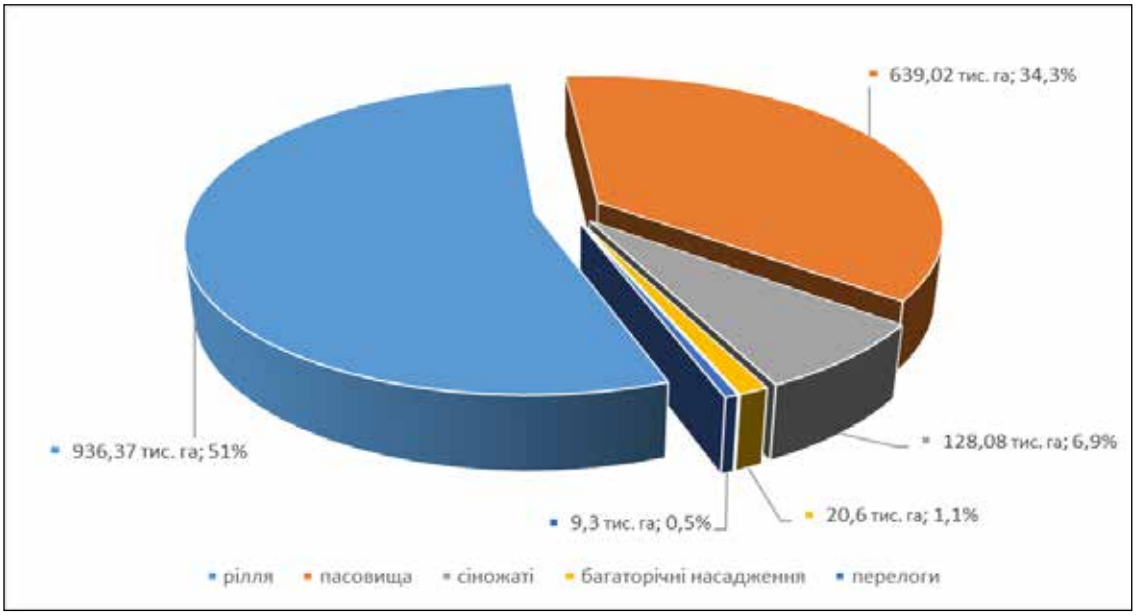


Рис. 2. Прогнозована структура сільськогосподарських угідь на 2020 р. [11]

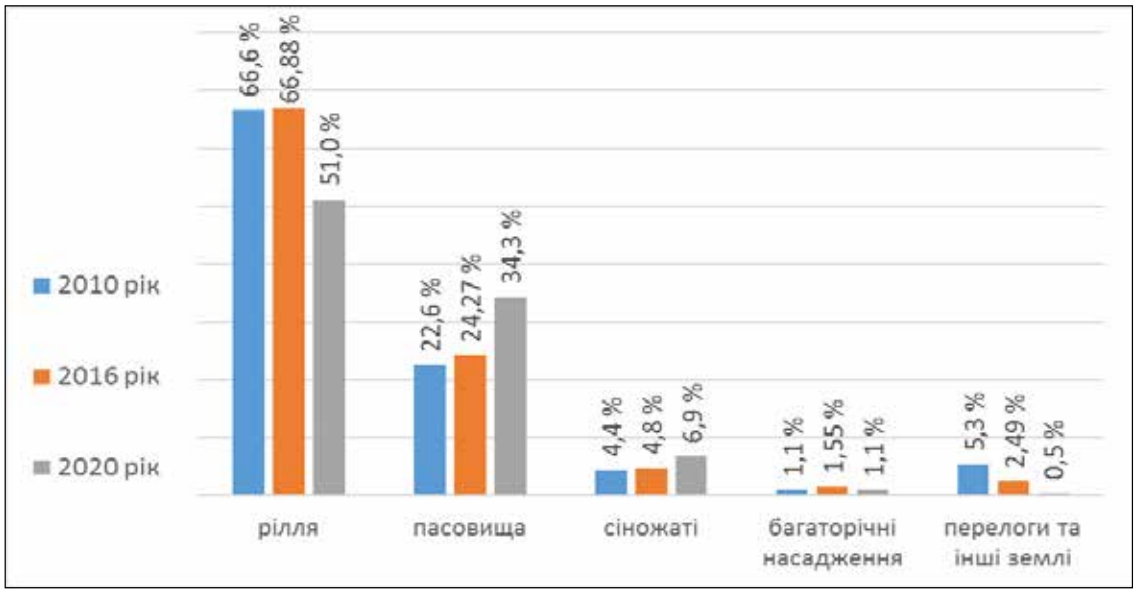


Рис. 3. Порівняльна характеристика реальної та прогнозованої структури сільськогосподарського землекористування в Луганській області [11]

Таблиця 1

Динаміка меліорованих земель [12]

Роки	Загальна площа (тис. га) / у % до площі області	
	Зрошених земель / у % до площі області	Осушених земель / у % до площі області
1957	8,0 / 0,3	– / –
1969	47,8 / 1,8	1,8 / 0,07
1975	69,1 / 2,59	7,5 / 0,28
1979	76,9 / 2,88	12,0 / 0,45
1985	99,7 / 3,73	11,8 / 0,44
1990	101,6 / 3,81	11,1 / 0,44
1995	96,4 / 3,61	11,1 / 0,44
2000	87,3 / 3,27	11,1 / 0,44
2001	87,3 / 3,27	11,1 / 0,44
2002	87,3 / 3,27	11,1 / 0,44
2003	68,4 / 2,56	11,1 / 0,44
2004	67,9 / 2,54	11,1 / 0,44

Тобто екологічної оптимізації потребують близько 70% земель сільськогосподарського фонду.

Висновки. Через поширення орендних форм господарювання на землі проблема втілення концепції ведення рослинництва на принципах сівозміни стає вельми актуальною, бо для найшвидшого прибутку орендарі часто порушують науково обґрунтовані сівозміни. Актуальними стають принципи ведення господарства, що містять:

– пріоритетність природоохоронних, зокрема ґрунтоохоронних, завдань, і оптимальне їх поєднання з виробничими;

– максимальне збереження природних елементів агроландшафтів із метою їхньої реконструкції та подальшого збільшення ареалів;

– жорсткий контроль за землекористуванням орендарями та пайщиками.

Таблиця 2

Якісний стан земель у Луганській області, % (станом на 1 січня 1998 р.) [12]

Показники	С.-г. угіддя	Рілля	Сіножаті	Пасовища
Піддано водній ерозії, всього	67,2	67,7	42,0	68,5
Піддано дефляції, всього	21,4	27,2	3,9	4,6
Піддано сумісній ерозії	28,0	25,3	22,3	37,8
Розміщено: на схилах понад 1°	74,8	73,2	47,2	83,2
на схилах понад 2°	49,0	42,0	36,3	72,7
засолені	4,9	3,0	28,4	8,1
солонцюваті	4,2	3,1	15,8	6,3
із солонцюватим комплексом	1,0	0,6	1,1	2,3
перезволожені та заболочені	2,5	2,2	9,0	2,5
кам'янисті	2,3	1,5	1,9	4,9

Список літератури:

1. Руденко В.П. Географія природно-ресурсного потенціалу України : у 3 ч. : підручник. Чернівці : Зелена Буковина, 2010. 552 с.
2. Канаш О.П., Добряк Д.С., Розумний І.А. Класифікація та екологобезпечне використання сільськогосподарських земель. Київ : Інститут землеустрою УААН, 2001. 308 с.
3. Сайко В.Ф. Виведення земель з ріллі та їхнє раціональне використання : методичні рекомендації. Київ : Аграрна наука, 2000. 40 с.
4. Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швебс Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия. Москва : Колос. 1994. 127 с.
5. Тараріко О.Г, Лобас М.Г. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства. Київ, 1998. 158 с.
6. Чёрный С.Г. Конструирование эрозионно безопасных агроландшафтов. *Земледелие.* 1995. № 6. С. 4–6.
7. Чернявський О.А., Сівак В.К. Ефективне й раціональне використання деградованих земель. Чернівці : Зелена Буковина, 2003. 288 с.
8. Чернявський О.А., Сівак В.К. Конструювання протиерозійних агроландшафтів : монографія. Чернівці : Рута, 2005. 296 с.
9. Лук'яненко А.С. Ґрунтозахисне землеробство: проблеми, досвід, впровадження. Київ : Науковий світ, 2001. 126 с.
10. Белоліпський В.О., Бєлослудцева В.М., Другов О.М., Мільчевська Ж.І. Охорона і відновлення родючості еродованих ґрунтів / за наук. ред. В.О. Белоліпського. Луганськ, 2012. 116 с.

11. Екологічні і агротехнічні аспекти збереження та відновлення родючості сільськогосподарських земель Луганської області (методичні рекомендації) / Белоліпський В.О., Полулях М.М., Хромяк В.М., Наливайко В.В. Харків : ННЦ «ІҐА імені О.Н. Соколовського», 2015. 22 с.

12. Фондові матеріали Державного реґіонального геолого-розвідувального підприємства «Схід-ДРГП».

Sopova N.V., Sopov D.S., Khainus D.D., Buzina I.M., Kyrpychova I.V., Luhova T.M. PROSPECTS OF ECOLOGICAL OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL LAND USE IN LUHANSK REGION

The article presents the results of research on the prospects of ecological optimization of agricultural land use in Luhansk region. It is emphasized that about 70% of the agricultural fund lands need ecological optimization. Due to the spread of the leased forms of land management, the problem of implementing the concept of crop production on the principles of crop rotation becomes very relevant, because of the frequent infraction of scientifically substantiated crop rotations for the fastest profit by tenants. Therefore, the principles of management become relevant, containing: 1) the priority of environmental, in particular soil, tasks, and their optimal combination with production; 2) maximum preservation of natural elements of agrolandscapes for the purpose of their reconstruction and further increase of habitats; 3) strict control over land use by tenants and shareholders.

The natural environment of the region is characterized by spatial variability, and this property is of great ecological importance. Therefore, geographical study of the environment can be considered a necessary prerequisite for environmental research. An important feature of geographical research is the great potential of a systematic approach to the study of natural and social phenomena, which can be fully used in the course of interdisciplinary environmental research.

At present, the regions of our state have a rather critical situation in agricultural land use. Land degradation and depletion, as well as their fertility are declining rapidly. Studies have shown that over the past 30 years, the area of eroded land has increased approximately 1.5 times, the area of saline, acidified, saline, flooded and man-made contaminated agricultural land has significantly expanded, which in turn has reduced their fertility to a critically low level. That is why the solution of food, economic, environmental, agricultural, demographic, social problems related to land management requires skilled development of its rational use and protection.

Key words: *agrolandscape, land use, land resources, ecological optimization, soil.*

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.389
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/27

Василенко І.А.
Український державний хіміко-технологічний університет

Брич К.А.
НВК «Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІ ступенів – академічний ліцей № 15»
Кам'янської міської ради

Чупринов Є.В.
Державний університет економіки і технологій

Скиба М.І.
Український державний хіміко-технологічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО СКЛАДНИКА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

У статті показано розроблений авторами прилад для контролю показників процесу компостування органічного складника твердих побутових відходів їдальні навчального закладу. Проаналізувавши процес аеробного зброджування відходів, виявлено необхідність контролю стадій утворення компосту для виготовлення зрілого кінцевого продукту. Під час компостування можна спостерігати зміну запаху, кольору, температури, густини, виділення фільтрату. Ці параметри вказують на стадії зброджування та сигналізують про правильність перебігу процесу і його завершення. Особливої уваги потребує контроль вологості суміші. Її оптимальним значенням вважається 50–60%, інколи можливі вищі показники. Важливо не допускати зниження вологості нижче 30%, що сприятиме пригніченню бактеріальної активності або її припиненню. Значна вологість суміші обмежує доступ кисню до реакційних центрів та сприяє виникненню анаеробних процесів. Відомі контролери, доступні в спеціалізованих магазинах, мають високу вартість та не мають можливості їх модернізації під потреби дослідження. Тому перспективним є розроблення контролера на базі платформи Arduino, що має економічні переваги та просто збирається із застосуванням готових датчиків і модулів, може бути доповнений за необхідності розширення функціоналу. Крім того, цей прилад може бути застосований для вимірювання показників відкритого ґрунту або ґрунту кімнатних рослин (визначенням зміни вологості та температури у ґрунтах саду ліцею під дією факторів навколишнього природного середовищ із метою спостереження та аналізування процесів зростання дерев, кущів і квітів), для вимірювання у процесі освітньої діяльності (спостереження за ґрунтами міста, лісу, саду, городу тощо, аналізування характерної рослинності на певних ділянках території, визначення впливу зміни параметрів навколишнього середовища на стан ґрунту, інші спостереження та уроки з елементами STEM-освіти).

Ключові слова: *відходи, компостування, датчик контролю, Arduino, температура, вологість.*

Постановка проблеми. Починаючи з 2017 р., учні та співробітники Комунального закладу «Навчально-виховний комплекс «Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІ ступенів – академічний ліцей № 15» Кам'янської міської ради долучилися до програми сортування сміття та отримали у користування власний компостер. Відомі технології компостування потребують додаткових витрат на закупівлю біологічних препаратів або каліфорнійських черв'яків, які також потребують утеплення компостера та особливого догляду.

Тому виникла ідея розроблення власних дешевих та ефективних технологій компостування

органічного складника твердих побутових відходів ліцею [1]. Компостування – один із найвідоміших способів перероблення органічного складника твердих побутових відходів. Процес відбувається під дією аеробних мікроорганізмів, при цьому їх життєдіяльності сприяють: наявність вологи (повинна складати 70–75%), забезпечення комфортних умов (зрошення водою з температурою 20–25^{0}C). Окрім того, процес компостування можна умовно розділити на 4 стадії: мезофільну (саморозігрівання суміші), термофільну (спостерігається температурний максимум), охолодження (зниження температури суміші до значення навколишнього середовища), дозрівання (стабільна температура) [2].

Для виготовлення якісного компосту треба здійснювати контроль за процесом на кожній із зазначених стадій. Це можна здійснити за допомогою електронного пристрою – контролера – на базі платформи Arduino, що дозволяє контролювати параметри вологості та температури в процесі компостування твердих органічних відходів їдальні навчального закладу, виділити та вивчити стадії процесу. Готовий компост може застосовуватись як органічне добриво для підживлення кімнатних і садових рослин, плодових дерев та кущів на території навчального закладу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз можна придбати вже готовий контролер, що має набір необхідних функцій [3], але вартість таких приладів може сягати 5 000–6 000 грн. Попередні розрахунки показали, що на базі платформи Arduino можна створити подібний пристрій за 700–1 000 грн та поповнювати його необхідними датчиками (за необхідності).

Постановка завдання. Для здійснення контролю над процесом компостування органічних відходів необхідно розробити пристрій для:

– контролю температури води для зрошення суміші твердих органічних відходів та мікробіологічної добавки у процесі компостування;

– контролю вологості суміші в компостері для підтримання оптимальних значень;

– виявлення, спостереження і дослідження окремих стадій компостування, що відрізняються одна від одної температурним режимом та низкою інших ознак.

Виклад основного матеріалу. Для функціонування приладу контролю було розроблено комп'ютерну програму в середовищі Arduino IDE на мові програмування C++. Виведення результатів здійснюється на LCD-дисплей приладу в реальному часі та з можливістю запису на карту пам'яті у вигляді масиву даних, що перетворюється на графічну залежність для аналізу стадій процесу компостування відходів.

Під час написання програми використовувались стандартні бібліотеки:

1) OneWire – протокол, що використовується для керування температурними датчиками. Ці датчики прості у використанні та дозволяють зчитувати відкалібровані цифрові температурні дані. Популярні під час створення ланцюгів Arduino;

2) LiquidCrystal – бібліотека, яка дозволяє Arduino керувати рідкокристалічним екранами дисплея. Бібліотека працює у 4-бітному і 8-бітному режимі. Тобто може використовуватись для чорно-білих та кольорових дисплеїв.

У процесі збирання деталі приладу з'єднувались між собою за допомогою дротів шляхом спаювання. Для налагодження роботи датчика вологості здійснювалось відкалібрування шляхом співвідношення даних датчика до реальних показників вологості (коли вологість середовища відома). Наприклад, вологість води складає 100%, а вологість повітря від фена – 0%.

Опитування датчиків здійснюється раз на секунду, результат виводиться на екран. Дані вимірювань є остаточними, коли їх значення протягом 60 секунд не змінюється.

Складниками приладу є (рис. 1) такі: програмований контролер Arduino UNO R3 (1 шт.); екран для Arduino з кнопками LCD keypad shield (1 шт.); ємнісний датчик вологості ґрунтів (1 шт.); температурний датчик водонепроникний DS18B20 (1 шт.).; роз'єм Jack 3.5 мм TRS, штекер (2 шт.); роз'єм Jack 3.5 мм TRS, гніздо (2 шт.); батарейка типу «Крона» (1 шт.); роз'єм живлення для батарейки типу «Крона»; штекер живлення Power Jack (1 шт.); корпус (1 шт.). Схема приладу (рис. 3): 1 – програмований контролер Arduino UNO R3; 2 – LCD-модуль; 3 – ємнісний датчик вологості ґрунтів; 4 – температурний датчик водонепроникний DS18B20.

Прилад може бути доповнений датчиками для вимірювання pH, концентрації газів над сумішшю тощо.

Сировиною для компосту обрано подрібнені очистки від овочів та фруктів, шкірка бананів, використана чайна заварка, сухі листочки від кімнатних рослин. Під час виготовлення компосту необхідно контролювати такі параметри:

1) зовнішній вигляд. У процесі біодеструкції суттєво змінюється зовнішній вигляд відходів (від часток, що добре розрізняються та ідентифікуються, до темної однорідної маси, що вказує на

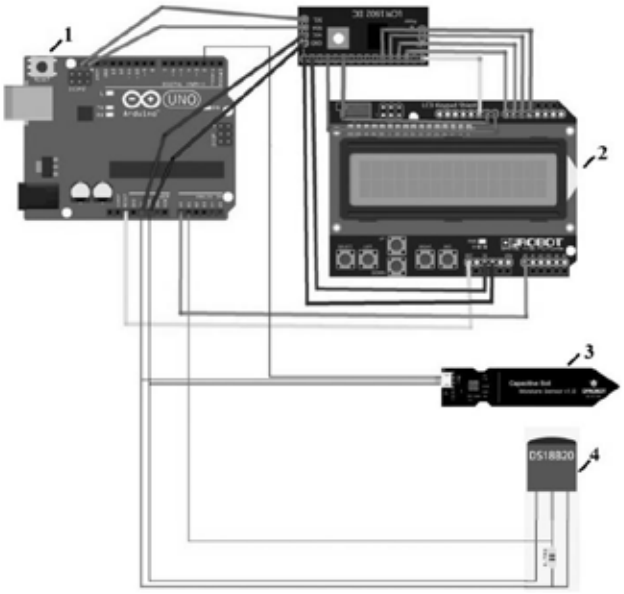


Рис. 1. Схема приладу: 1 – програмований контролер Arduino UNO R3; 2 – LCD-модуль; 3 – ємнісний датчик вологості ґрунтів; 4 – температурний датчик водонепроникний DS18B20

завершення процесу). На 70-й день було отримана пластичну, майже однорідну масу, що вже може застосовуватися за призначенням;

2) запах. Нормальний процес компостування є аеробним, тому кількість кисню не повинна бути нижче 16–18,5%. Якщо концентрація кисню знижується до значення 5%, то спостерігаються анаеробні умови. Найпростішим способом контролю за цим показником є запах суміші. Запах гниття вказує на порушення процесу аеробного компостування. Якщо біодеструкція відбувається правильно, то запах змінюється від кислого до «земляного». Слід зазначити, що стійкого гнилісного або різкого запаху не спостерігалось. Тому можна рекомендувати встановлювати портативні компостери навіть у квартирі (наприклад на балконі) і виготовляти добриво для власних потреб. Відсутність гнилісного запаху також указує на те, що процес компостування здійснювався правильно в аеробних умовах;

3) вологість. Для компостування потрібна волога, оптимальним значенням уважається вологість на рівні 50–60%, інколи можливі вищі значення. Важливо контролювати цей параметр та не допускати зниження вологості нижче 30%, що сприятиме пригніченню бактеріальної активності або її припиненню. Значна вологість суміші обмежує доступ кисню до реакційних центрів та сприяє виникненню анаеробних процесів. Тому важливо зробити отвори для відведення надлишкової вологи та уникати перезволоження.

Під час компостування кожного дня здійснювалися вимірювання вологості суміші за допомогою ємнісного датчика вологості від сконструйованого пристрою. Вологість динамічно змінювалась, указуючи на активність мікроорганізмів. Виміряні значення показано на рис. 2. Вони вказують на періоди активності мікроорганізмів, що збігались із підвищеннями температури та виділенням значної кількості фільтрату. Під час процесу компостування зафіксовано два піки виділення вологи – на 7-й та 21-й день. На 70-й день компостування вологість мала значення 78%, що було зафіксовано як постійна величина, тому було ухвалено рішення припинити процес і застосувати отриманий продукт;

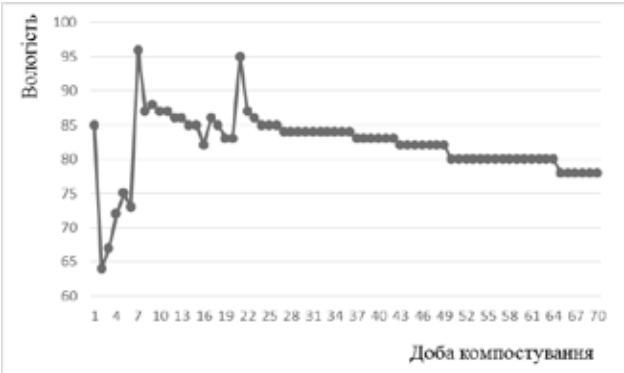


Рис. 2. Зміна волості суміші під час компостування органічних відходів

4) температура. Для мезофілів характерні температури на рівні 20–40^{0}С. Підвищення температури може бути не значне, але спостерігатись разом зі зміною інших показників. Цей параметр відслідковувався за допомогою розробленого датчика контролю.

Спостерігаючи за температурою під час компостування, можна виділити його стадії та прогнозувати готовність компосту, спостерігати за активністю мікроорганізмів та ефективністю компостування. Портативний компостер для досліджень не оснащений системою аерації, не утеплений, тому виділена теплота вільно виділялась у навколишнє середовище, при цьому температура в приміщенні була стабільною і дорівнювала 23^{0}С. Але перепад температур зафіксований за допомогою датчика температури та показаний на рис. 3. Датчик поміщався у середні шари відходів і фіксував стадії компостування:

– мезофільну – 1–3 доби;
– термофільну – 4–7 доба;
– охолодження – 8–18 доба;
– дозрівання – 19–70 доба.

Поліноміальна крива апроксимації та достовірність апроксимації, нанесені на графіках на рис. 3, дозволяють побачити усереднену криву та отримати рівняння залежності для розрахунку та прогнозування перебігу процесу;

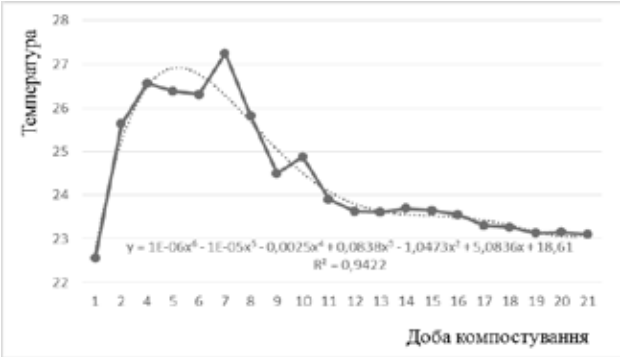


Рис. 3. Зміна температури під час компостування

5) густина. Під час переходу від відходів до компосту густина суміші буде підвищуватись. Цей параметр може вказувати на завершення процесу деструкції та отримання стабільної суміші.

Зазначається, що в процесі компостування відбувається ущільнення суміші відходів, тому за допомогою вимірювань висоти суміші в компостері, що представляє собою циліндр, та маси відходів було здійснено розрахунок зміни густини від відходів до компосту. Результати розрахунку наведено на рис. 4. Отже, у день завантаження відходів до компостера густина складала 402,14 г/дм^3, всі розрахунки здійснені із застосуванням програми Excel з офісного пакета програм Microsoft Office. Спочатку суміш мала достатньо ділянок, заповнених повітрям. Під час компостування густина підвищувалась, виникала необхідність у періодичному перемішуванні для розподілення кисню повітря об'ємом. Густина готового компосту складає 0,5–0,8 г/см^3 (500–800 г/дм^3). На 43-й день компостування густина досягла постійного значення – близько 643 г/дм^3;

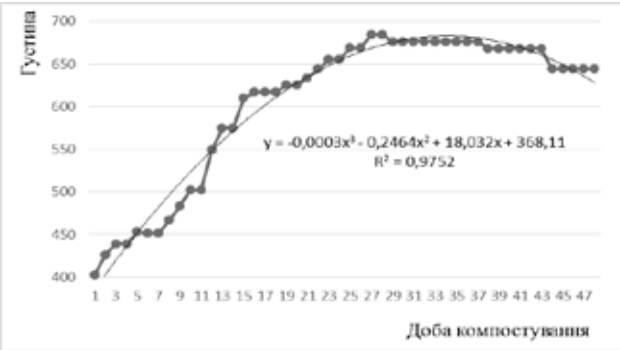


Рис. 4. Зміна густини суміші під час компостування

6) виділення фільтрату. У процесі розмноження мікроорганізмів відбувається продукція води, що стікає через дренажні отвори. Ця волога використовується як рідке добриво для рослин, особливо квітучих та плодоносних. Ця рідина активно виділялась з 3-го до 25-го днів компостування. Під час компостування зафіксовано два піки інтенсивного виділення вологи – на 7-й та 21-й день. У ці дні фільтрат характеризувався більш низькою в'язкістю та прозорістю, в інші дні рідина мала темний колір та високу в'язкість. Перший пік збігався з піком температури суміші і відповідав термофільній стадії компостування. Другий пік спостерігався на стадії дозрівання й ущільнення суміші.

Виділену вологу було використано для підживлення кімнатних рослин. На 1 дм^3 відстояної води додавалось 15 мл фільтрату, утворений розчин використовувався для поливу квітів. Реакція квітів на такий полив зазначена як позитивна, з'явились квіточки на фіалках, хлорофітумі, спатифілумі, азалії, каланхое та бегонії, проросли чотири кісточки авокадо, вперше зацвіли кактус та молода орхідея.

Порівнявши показники зразків готового добрива з нормативними, маємо такий результат (табл. 1). Раніше проведені дослідження показували, що показник вологості виходить за межі допустимого значення. У промислових масштабах надлишкова волога збільшує об'єм добрива та впливає на витрати для його транспортування, але наш дослід направлений переважно на використання добрив у місті їх утворення (школа, присадибна ділянка тощо). Але за наявності приладу-контролера цей показник можна відслідковувати та виключити надлишкове зволоження, що може негативно вплинути на ефективність процесу компостування. Інші параметри повністю відповідають нормативним.

Таблиця 1

Порівняння показників зразків готового добрива з нормативними

Показник	Компост	Норма
Термін дозрівання	3 місяці	–
pH	7,8	6,5–8,5
Амонійний азот	0,5	<1,2%
Азот	2,0	1,5–3,0%
Органічні речовини	74	70–75%
Вологість	78	70–75%

Висновки. Таким чином, розроблений прилад для здійснення контролю показників процесу компостування органічного складника твердих

побутових відходів. Контролер на базі платформи Arduino має економічні переваги та просто збирається із застосуванням готових датчиків та модулів, може бути доповнений за необхідності розширення функціоналу [4].

Також цей прилад може бути застосований для:

1) вимірювання показників відкритого ґрунту або ґрунту кімнатних рослин (визначення зміни вологості та температури у ґрунтах саду ліцею під дією факторів навколишнього природного середовищ із метою спостереження та аналізування процесів зростання дерев, кущів і квітів; визначення вологості з метою виявлення необхідності поливу кімнатних рослин і дослідження оптимальних умов вологості та температури води для зрошення);

2) вимірювання в процесі освітньої діяльності (спостереження за ґрунтами міста, лісу, саду, городу тощо; аналізування характерної рослинності на певних ділянках території; визначення впливу зміни параметрів навколишнього середовища на стан ґрунту; інші спостереження та уроки з елементами STEM-освіти).

Список літератури:

1. Спосіб компостування органічної складової твердих побутових відходів: пат. 144606 України: МПК[7] C02F7/00. № u202003017; заявл. 20.05.2020 опубл. 12.10.2020. Бюл. № 9.

2. Миронов В.В. Влияние режимов подготовки на агрохимический состав компоста. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2005. № 2. С. 146–148.

3. Контроллер для ферментации компоста в открытых и закрытых бункерах. URL: http://mushroom-climate.com/ru/controllers/aks-f (дата звернення 25.12.2020).

4. Авторське право на твір № 97933 Україна. Комп'ютерна програма «Контроль температури та вологості компосту» / Василенко І.А., Брич К.А., Куманьов К.А. – зареєстроване 09.06.2020 р.

Vasylenko I.A., Brich K.A., Chuprinov E.V., Skuba M.I. DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR CONTROL OF INDICATORS THE PROCESS OF COMPOSTING ORGANIC COMPONENT OF SOLID WASTE

The article shows, developed by the authors, a device for monitoring the indicators of the composting process of the organic component of solid waste in the dining room of the educational institution. After analyzing the process of aerobic waste fermentation, the need to control the stages of compost formation for the manufacture of mature final product. During composting, you can see a change in odor, color, temperature, density, filtrate. These parameters indicate the stage of fermentation and signal the correctness of the process and its completion. The humidity control of the mixture needs special attention. Its optimal value is considered to be 50–60%, sometimes higher rates are possible. It is important not to allow the humidity to drop below 30%, which will help to suppress or stop bacterial activity. Significant humidity of the mixture limits the access of oxygen to the reaction centers and promotes anaerobic processes. Well-known controllers, available in specialty stores, have a high cost and do not have the ability to upgrade them for research needs. Therefore, the development of a controller based on the Arduino platform is promising, which has economic advantages and is simply assembled using ready-made sensors and modules, can be supplemented if necessary to expand the functionality. In addition, this device can be used to: measure the performance of open ground or soil of houseplants (determination of changes in humidity and temperature in the soil of the lyceum garden under the influence of environmental factors to observe and analyze the growth of trees, shrubs and flowers); measurement in the process of educational activities (observation of soils of the city, forest, garden, vegetable garden, etc.; analysis of characteristic vegetation in certain areas; determining the impact of changes in environmental parameters on soil condition; other observations and lessons with elements of STEM-education).

Key words: *waste, composting, control sensor, Arduino, temperature, humidity.*

УДК 621.382
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/28

Осадчук О.В.
Вінницький національний технічний університет

Крилик Л.В.
Вінницький національний технічний університет

Звягін О.С.
Вінницький національний технічний університет

Осадчук Я.О.
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ З ВОЛОГОЧУТЛИВИМ РЕЗИСТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Розроблено математичну модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом. Мікроелектронний частотний перетворювач вологості розроблено на основі транзисторної структури з від'ємним опором на основі польового двозатворного транзистора та біполярного транзистора. Від'ємний диференціальний опір, утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою частиною на електродах транзисторної структури та індуктивності, приводить до виникнення електричних коливань у контурі автогенератора. Використовуючи середовище Maple, ми довели адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання, частота яких змінюється зі зміною опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W)$. Так, при $R_W(W)$=10 кОм частота F=827,7 кГц, при $R_W(W)$=13 кОм частота F=953,1 кГц, а при $R_W(W)$=16 кОм частота F=1054,5 кГц, напруга живлення 5 В. Для підтвердження теоретичних результатів схемотехнічне рішення мікроелектронного частотного перетворювача вологості досліджено в середовищі моделювання LTSpice. Дослідження проводилися в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W)$=10 кОм до $R_W(W)$=16 кОм, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 90%. За результатами моделювання в середовищі LTSpice встановлено, що зі збільшенням опору вологочутливого резистивного елемента від 10 кОм (W=20%) до 16 кОм (W=90%) частота сигналу збільшується від 826,4 кГц до 1052,6 кГц. Результати теоретичних та експериментальних досліджень показали, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання, частота яких збільшується зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Отримані теоретичні й експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,8%.

Ключові слова: *частотний перетворювач вологості, вологочутливий резистивний елемент, від'ємний диференціальний опір, періодичні коливання, частота.*

Постановка проблеми. Сучасне виробництво потребує точного виконання технології та широкого застосування автоматизації виробничих процесів. Крім того, стан сучасної вітчизняної економіки суттєво визначається успішним розв'язанням питань створення й освоєння серійного випуску автоматичних засобів технічної діагностики, приладів контролю, систем перевірки якості продукції, контролю параметрів довкілля тощо. Ефективність вищезгаданого комплексу технічних засобів залежить від якості первинних перетворювачів, які є основними чутливими органами вимірювальної апаратури [1; 2, с. 255–273, с. 336–360; 3, с. 42–51, с. 397–407; 4–8].

Важливим різновидом вимірювальних перетворювачів є сенсори вологості. В Україні вимірювання вологості є одним із поширених напрямів вимірювань фізичних величин. Це зумовлено потужним промисловим і науково-технічним потенціалом країни та великим різноманіттям промислових галузей (наприклад, металургія, енергетика, машинобудування тощо), ефективність яких значною мірою залежить від точності вимірювань вологості, температури та інших

характеристик. Тому досить важливим завданням сучасного приладобудування та вимірювальної техніки є вибір надійних методів вимірювання вологості стосовно різних виробництв, створення вимірювальних приладів необхідної точності, стабільності та швидкодії, а також дослідження впливів на результат вимірювань всієї сукупності факторів, які супроводжують вимірювальний процес [9, с. 10–19, с. 124–125].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Новим напрямом у розробці та створенні мікроелектронних перетворювачів вологості є дослідження у сфері частотних перетворювачів вологості на основі транзисторних структур із від'ємним опором. Частотні перетворювачі поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність і завадостійкість, характерні для перетворювачів із кодовим виходом.

Дослідження цього напряму показали, що реактивні властивості та від'ємний опір нерозривно пов'язані між собою, а багатофункціональність і простота радіоелектронних пристроїв на основі транзисторних структур із від'ємним опором є перспективою їх практичного використання. Крім того, застосування принципу перетворення «вологість – частота» на основі транзисторних структур із від'ємним опором суттєво знижує собівартість систем контролю й управління, дозволяє зменшити масогабаритні розміри перетворювача, підвищити не тільки чутливість, а й точність перетворення інформативного сигналу – відносної вологості навколишнього середовища – в частоту [10, с. 235–267; 11–16, с. 6–8; 17].

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення та дослідження математичної моделі мікроелектронного частотного перетворювача вологості на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, вологочутливим елементом якої слугує резистор на основі органічного полімеру. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі: 1) провести аналіз наявних наукових джерел та обґрунтувати переваги застосування реактивних властивостей напівпровідникових структур із від'ємним опором; 2) розрахувати електричні характеристики мікроелектронного частотного перетворювача вологості, у яких враховано залежність реактивних властивостей напівпровідникових структур із від'ємним опором від впливу відносної вологості навколишнього середовища; 3) зробити висновки із проведеного дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метою дослідження є розробка нового мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом на основі органічного полімеру. На рис. 1 подана електрична схема нового схемотехнічного рішення.

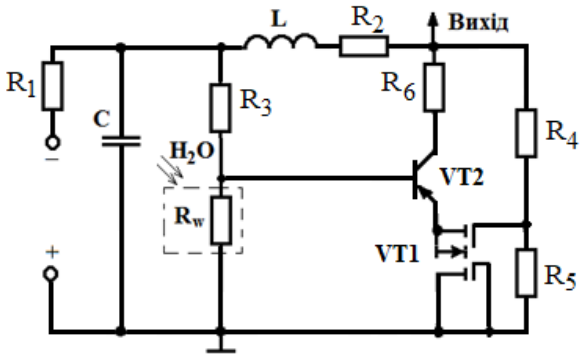


Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

Мікроелектронний частотний перетворювач вологості розроблено на основі транзисторної структури з від'ємним опором на основі польового двозатворного транзистора $VT1$ та біполярного транзистора $VT2$. За допомогою джерела постійної напруги створюється такий режим роботи, коли від'ємний диференціальний опір, утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою частиною на електродах колектор біполярного транзистора $VT2$, стоку польового двозатворного транзистора $VT1$ та індуктивності L, приводить до виникнення електричних коливань у контурі. Дільники напруги утворюють резистори R_3 і вологочутливий резистор R_W, а також R_4 і R_5, які забезпечують живлення схеми за постійним струмом. Електричне живлення біполярного транзистора $VT2$ залежить від величини зміни опору вологочутливого резистора R_W зі зміною вологості досліджуваного середовища. Обмежувальний конденсатор C запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. Резистори R_1, R_2 та R_6 виконують функції навантаження. За дії вологи на вологочутливий резистор R_W змінюється ємнісна складова частина повного опору на електродах транзисторної структури на основі транзисторів $VT1$ і $VT2$, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Для експериментального дослідження схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом на основі органічного полімеру (рис. 1) була зібрана на біполярному транзисторі BC857C та польовому двозатворному транзисторі BF998. Режим транзисторів VT1 і VT2 по постійному

струму був таким: струм у ланцюзі колектора транзистора VT2 дорівнює 6,5 мА, а напруга на колекторі – 5 В. Опори схеми мають значення R_2=0,1 Ом; R_3=12 кОм; R_4=8,2 кОм; R_5=5,6 кОм; R_6=100 Ом. Індуктивність автогенератора становить 100 мкГн. Цьому режиму, за нульової вологості, відповідала частота генерації 760 кГц. Описана схема генератора дозволяє одержати вихідну напругу до 45 В у широкому діапазоні частот. Нестабільність частоти дорівнює $2\cdot10^{-4}$ Гц.

Для визначення електричних характеристик мікроелектронного частотного перетворювача вологості, у яких враховано залежність реактивних властивостей напівпровідникових структур із від'ємним опором від впливу відносної вологості навколишнього середовища, розроблено еквівалентну схему перетворювача, яку подано на рис. 2.

Для зручності розрахунків, об'єднавши струми I_f і I_r у $I_{bt}=(I_f-I_r)/QB$, а також скориставшись методом змінних стану, на рис. 3. подано перетворену еквівалентну схему розробки.

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$\begin{cases} U_L = i_{R_b}R_b + i_3R_3 - i_LR_2 - i_{R_c}(R_c+R_6) - U_{C_c}, \\ i_{R_{ds}} = \dfrac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_d} = \dfrac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}, \\ i_{R_b} = \dfrac{i_2R_W - U_{C_c} - U_{C_{ds}} - i_{R_d}R_d - i_{R_e}(R_e+R_s)}{R_b}, \\ i_{C_{ds}} = i_{R_d} + i_{C_d} + I_{pt} - i_{R_{ds}}, \\ i_{R_c} = \dfrac{i_4R_4 - U_{C_c} - U_{C_s} - U_{C_e} - i_{R_e}(R_e+R_s)}{R_c+R_6}, \\ i_{R_d} = \dfrac{U_{C_d} + i_5R_5 + i_{C_d}R_g}{R_d}, \\ i_{R_e} = i_{R_c} + i_{R_b}, \\ i_{C_s} = I_{pt} + i_{R_e} - i_{R_{ds}} - i_{C_{ds}}, \\ i_3 = i_1 - i_L, \\ i_{C_c} = I_{bt} + i_{R_c} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = I_{bt} + i_{R_e} + I_{df}, \\ i_5 = i_4 + i_{C_s} + i_{C_d}, \\ i_2 = i_3 - i_{R_b}, \\ i_4 = i_L - i_{R_c}, \\ i_1 = \dfrac{-(U + i_3R_3 + i_2R_W)}{R_d}, \end{cases} \quad (1)$$

де R_1 – внутрішній опір джерела постійної напруги; R_2, R_6 – навантажувальні опори; R_3, R_4, R_5 – опори дільників напруги; R_b, R_e, R_c, R_g, R_d, R_s – об'ємні опори бази, емітера, колектора, затвору, стоку та витоку; R_{ds} – опір стік – витік; C_e, C_c – ємності емітерного та колекторного переходів; C_d, C_s, C_{ds} – ємності затвор – стік, затвор – витік і стік – витік; R_W – вологочутливий резистор; L – індуктивність; U – джерело живлення постійної напруги; I_{pt} – струм польового транзистора; I_{dr}, I_{df} – струми внутрішніх переходів база – колектор і база – емітер; I_f, I_r – прямий і зворотний струми біполярного транзистора.

Вважаючи заданими значення відповідних напруг на ємностях і струм через індуктивність, розв'яжемо систему рівнянь (1) відносно U_L, $i_{C_{ds}}$, i_{C_d}, i_{C_s}, i_{C_e}, i_{C_c}.

$$\begin{cases} U_L = A_{13}\cdot R_b + \left(\dfrac{-U + i_L\cdot(R_W+R_3) + A_{13}\cdot R_W}{A_6}\right)\cdot \\ \cdot R_3 - i_L\cdot(R_3+R_2) - A_{15}\cdot A_1 - U_{C_c}, \\ i_{C_d} = \dfrac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_g}, \\ i_{C_{ds}} = A_{14} + \dfrac{A_3}{R_g} + I_{pt} - \dfrac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_s} = 2I_{pt} + A_{15} + A_{13} - A_{14} + \dfrac{A_3}{R_g} - \dfrac{2U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_c} = I_{bt} + A_{15} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = I_{bt} + A_{15} + A_{13} + I_{df}, \end{cases} \quad (2)$$

де

$$A_1 = R_e + R_s,\ \ A_2 = R_c + R_6,\ \ A_3 = U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d},$$

$$A_4 = -U_{C_c} - U_{C_{ds}},\ \ A_5 = -U_{C_c} - U_{C_s} - U_{C_e},$$

$$A_6 = R_d + R_3 + R_W,\ \ A_7 = A_1 + A_2 + R_4,$$

$$A_8 = -A_6A_7R_b + R_W^2A_7 - R_WA_7A_6 - A_2^2A_6 - A_2A_6A_7,$$

$$A_9 = R_WA_7U - A_4A_6A_7 + A_2A_6A_5,$$

$$A_{10} = -R_W^2A_7\cdot i_L - R_3A_7R_W\cdot i_L + i_L\cdot R_WA_7A_6 + i_L\cdot A_2A_6R_4,$$

$$A_{11} = \frac{i_LR_4 + A_5}{A_7},\ \ A_{12} = \frac{-A_2}{A_7},$$

$$A_{13} = \frac{A_{10}\cdot i_L + i_{R_d}\cdot R_dA_6A_7 + A_9}{A_8},$$

$$A_{14} = -\frac{U_{C_d}A_8 + i_L\cdot R_5A_8 + i_L\cdot R_5A_{10} + R_5A_9 + A_3A_8}{-A_8R_d + R_5R_dA_6A_7 - R_5A_8},$$

$$A_{15} = A_{11}A_{13}A_{12}.$$

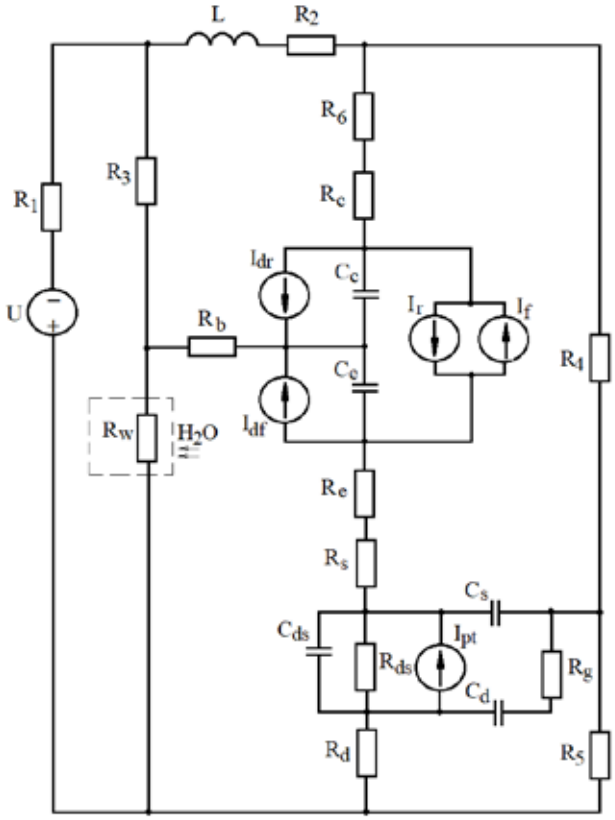


Рис. 2. Еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

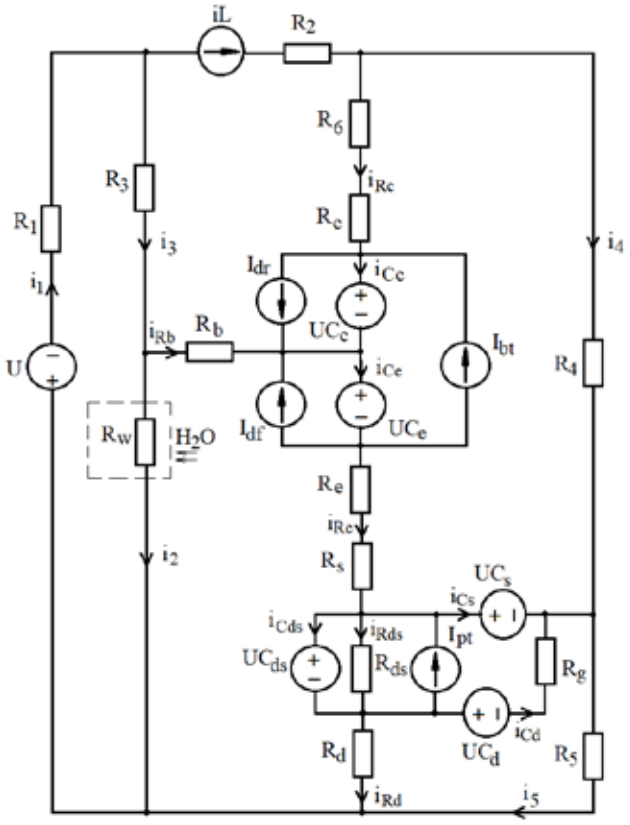


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом

Проведемо заміну у лівій частині рівнянь системи рівнянь (2) відповідно до виразів, які описують струми в ємностях $i_C(t) = C\dfrac{dU_C(t)}{dt}$ і напруги в індуктивностях $U_L(t) = L\dfrac{di_L(t)}{dt}$ [16, с. 52–59], а також врахуємо, що всі напруги та струми в системі змінюються в часі:

$$\begin{cases} L\dfrac{di_L(t)}{dt} = A_{13}\cdot R_b + \left(\dfrac{-U + i_L(t)\cdot(R_W + R_3) + A_{13}\cdot R_W}{A_6}\right)\times \\ \times R_3 - i_L(t)\cdot(R_3 + R_2) - A_{15}\cdot A_1 - U_{C_c}(t), \\ C_d\dfrac{dU_{C_d}(t)}{dt} = \dfrac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_g}, \\ C_{ds}\dfrac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} = A_{14} + \dfrac{A_3}{R_g} + I_{pt} - \dfrac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}}, \\ C_s\dfrac{dU_{C_s}(t)}{dt} = 2I_{pt} + A_{15} + A_{13} - A_{14} + \dfrac{A_3}{R_g} - \dfrac{2U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}}, \\ C_c\dfrac{dU_{C_c}(t)}{dt} = I_{bt} + A_{15} - I_{dr}, \\ C_e\dfrac{dU_{C_e}(t)}{dt} = I_{bt} + A_{15} + A_{13} + I_{df}, \end{cases} \quad (3)$$

Система рівнянь (3) є нелінійною, оскільки містить у собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt}, I_{dr}, I_{df}, $I_{bt} = (I_f - I_r)/QB$ та ємності C_e, C_c [16, с. 57]:

$$I_f = I_S\left(e^{\frac{V_{BE}}{VT\cdot NF}} - 1\right),\ I_r = I_S\left(e^{\frac{V_{BC}}{VT\cdot NR}} - 1\right), \quad (4)$$

$$I_{df} = \frac{I_f}{BF},\ I_{dr} = \frac{I_r}{BR}, \quad (5)$$

$$I_{pt} = \begin{cases} 0, \quad V_{GS} - VTO \le 0; \\ \beta\cdot(V_{GS} - VTO)^2, \quad V_{GS} - VTO \le V_{DS}; \\ \beta\cdot V_{DS}\cdot\left[2\cdot(V_{GS} - VTO) - V_{DS}\right], \quad V_{GS} - VTO > V_{DS}, \end{cases} \quad (6)$$

де I_S – струм насичення біполярного транзистора; V_{BE}, V_{BC} – напруги на внутрішніх точках база – емітер, база – колектор; VT – температурний потенціал; NF, NR – коефіцієнти неідеальності в нормальному та інверсному режимах; BF, BR – максимальні коефіцієнти передачі струму за схемою із загальним емітером у нормальному та інверсному режимах; QB – коефіцієнт неідеальності переходів біполярного транзистора; VTO – порогова напруга; β – крутизна прохідної харак-

теристики; V_{GD}, V_{GS}, V_{DS} – напруги на внутрішніх точках затвор – стік, затвор – витік і стік – витік.

Ємності біполярного транзистора мають дифузійну та бар'єрну складові частини. Розглянемо окремо ємність колекторного переходу C_c [16, с. 58]:

$$C_c = C_c dif + C_c bar,\ C_c dif = \frac{\left(I_r + I_S\right)\cdot TR}{VT \cdot NR}, \quad (7)$$

$$C_c bar = \begin{cases} \dfrac{CJC}{\left(1 - \dfrac{V_{BC}}{V_{JC}}\right)^{MJC}}, & V_{BC} < 0; \\ CJC, & V_{BC} \geq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Ємність емітерного переходу C_e запишеться як [16, с. 58]:

$$C_e = C_e dif + C_e bar,\ C_e dif = \frac{\left(I_f + I_S\right)\cdot TF}{VT \cdot NF}, \quad (9)$$

$$C_e bar = \begin{cases} \dfrac{CJE}{\left(1 - \dfrac{V_{BE}}{V_{JE}}\right)^{MJE}}, & V_{BE} < 0; \\ CJE, & V_{BE} \geq 0, \end{cases} \quad (10)$$

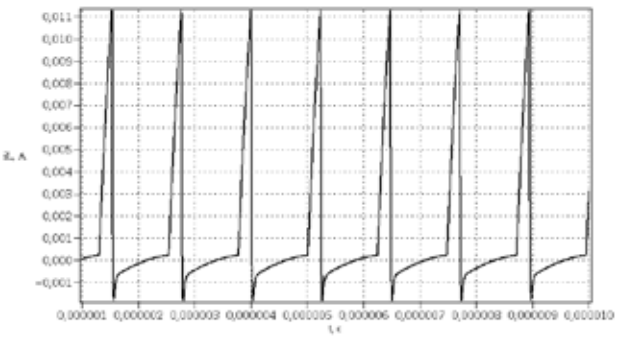
де $C_c dif$, $C_c bar$, $C_e dif$, $C_e bar$ – дифузійні та бар'єрні ємності колекторного й емітерного переходів; V_{JE}, V_{JC} – контактна різниця потенціалів переходів; TF, TR – час переносу заряду через базу в нормальному та інверсному режимах; MJE, MJC – коефіцієнти плавності переходів; CJE, CJC – ємність емітерного і колекторного переходів за нульового зміщення.

Система рівнянь (3) є динамічною математичною моделлю мікроелектронного частотного перетворювача вологості, яка дозволяє визначити значення напруги та струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу.

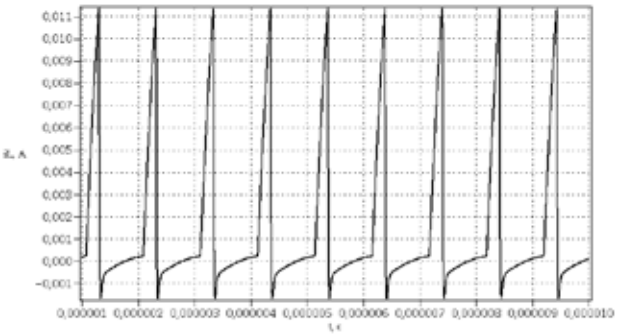
Для перевірки адекватності розробленої моделі написано програму для розрахунку параметрів схеми в середовищі *Maple*. Розрахунок показує, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості дійсно будуть періодичні коливання (рис. 4), частота яких змінюватиметься зі зміною опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W)$.

Так, при $R_W(W) = 10$ кОм частота $F = 827{,}7$ кГц, при $R_W(W) = 13$ кОм частота $F = 953{,}1$ кГц, а при $R_W(W) = 16$ кОм частота $F = 1054{,}5$ кГц, при цьому напруга живлення $U = 5$ В.

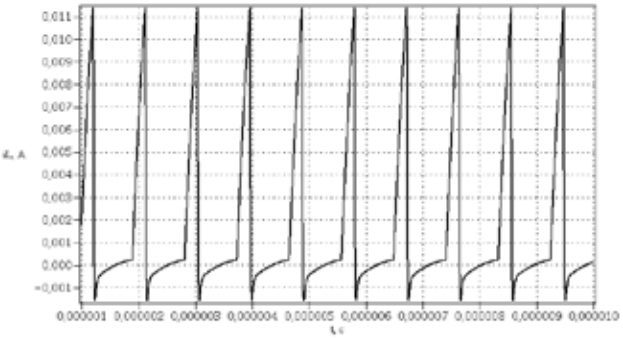
Для підтвердження теоретичних результатів і проведення експериментальних досліджень електричне коло мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом (рис. 1) було досліджене



$R_W(W) = 10\,\text{kOm},\ F = 827{,}7\,\text{kHz}$



$R_W(W) = 13\,\text{kOm},\ F = 953{,}1\,\text{kHz}$



$R_W(W) = 16\,\text{kOm},\ F = 1054{,}5\,\text{kHz}$

Рис. 4. Зміна струму індуктивності від часу за різних значень опору вологочутливого резистивного елемента

в середовищі схемотехнічного моделювання *LTSpice*. Дослідження проводилися в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W) = 10$ кОм до $R_W(W) = 16$ кОм, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 90%.

За результатами моделювання в середовищі *LTSpice*, через індуктивність протікає гармонічний струм (рис. 6). Підрахувавши частоту струму індуктивності, можна побачити, що зі збільшенням опору вологочутливого резистивного елемента від 10 кОм ($W = 20\,\%$) до 16 кОм ($W = 90\,\%$) частота сигналу збільшується від 826,4 кГц до 1052,6 кГц.

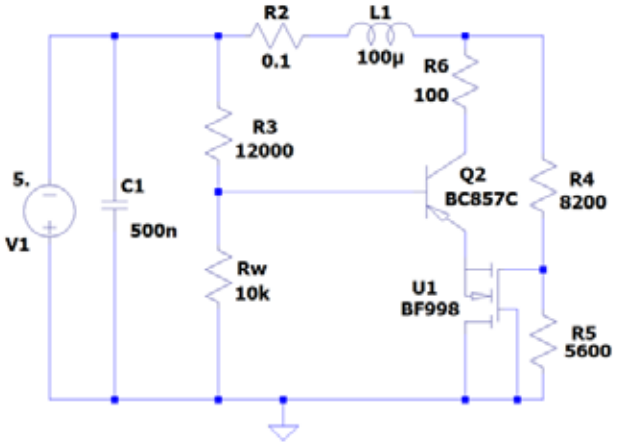


Рис. 5. Електрична схема мікроелектронного частотного перетворювача вологості у *LTSpice*

Так, на рис. 7 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу за відносної вологості повітря $W = 55\,\%$, що відповідає значенню опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W) = 13$ кОм, частота вихідного сигналу дорівнює $F = 951{,}5$ кГц.

На рис. 8 наведено експериментальну залежність струму індуктивності від часу за відносної вологості повітря $W = 90\,\%$, що відповідає значенню опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W) = 16$ кОм, частота вихідного сигналу дорівнює $F = 1052{,}6$ кГц.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можна побачити, що на виході мікроелектронного частотного пере-

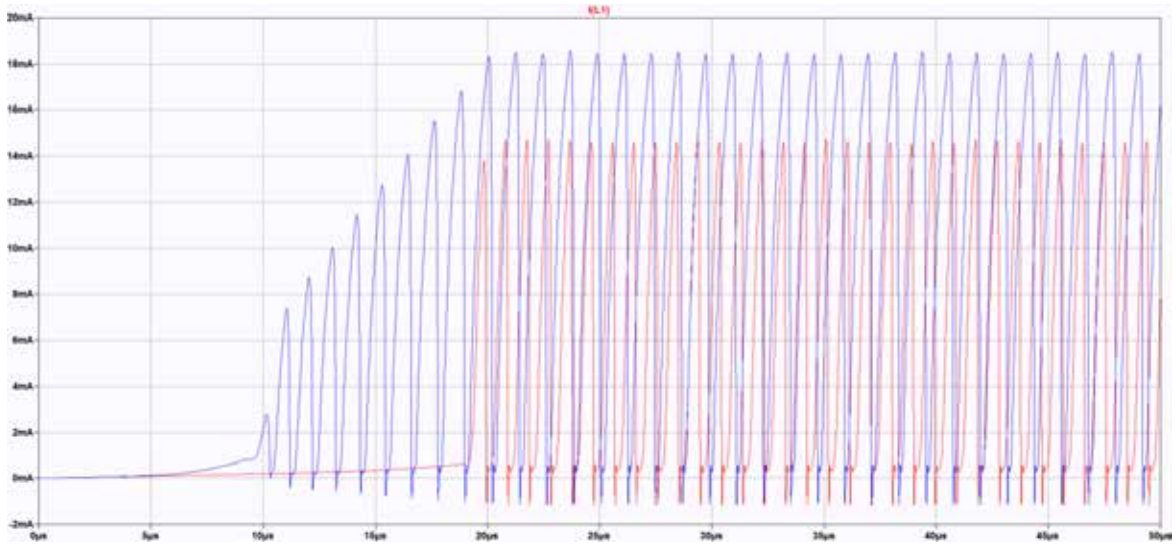


Рис. 6. Експериментальна залежність струму індуктивності від часу за різних значень опору вологочутливого резистивного елемента у *LTSpice*

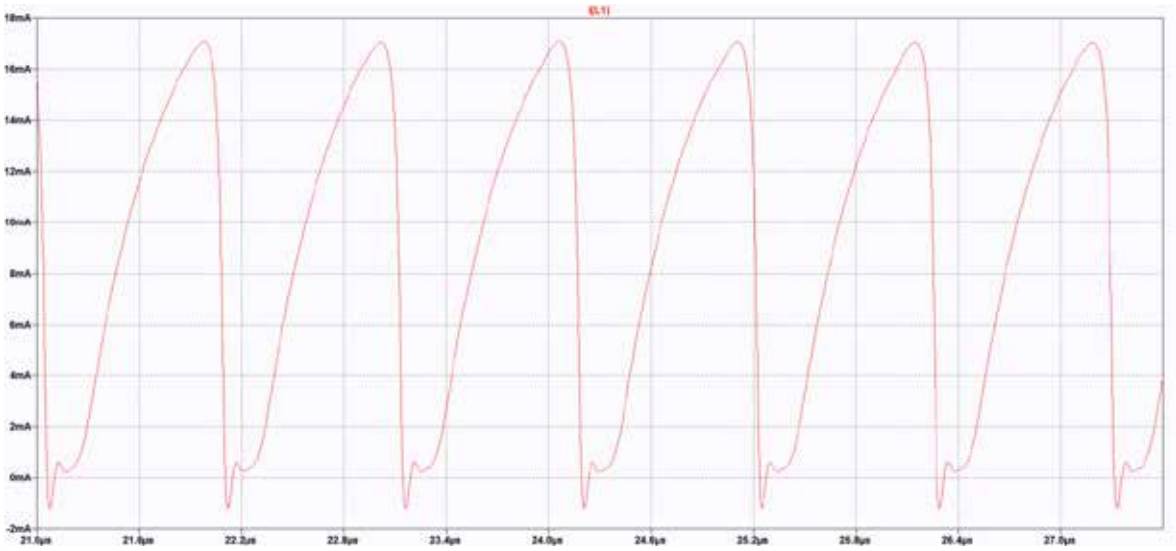


Рис. 7. Експериментальна залежність струму індуктивності від часу за відносної вологості повітря $W = 55\,\%$

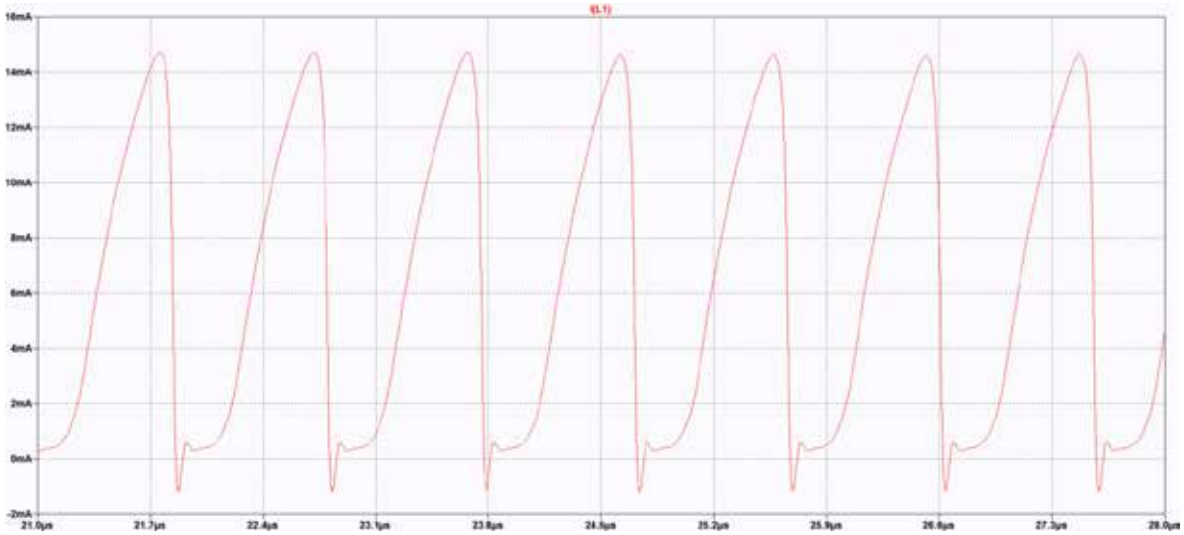


Рис. 8. Експериментальна залежність струму індуктивності від часу за відносної вологості повітря $W = 90$ %

творювача вологості дійсно існуватимуть періодичні коливання, частота яких збільшуватиметься зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Порівнявши отримані теоретичні й експериментальні значення частоти вихідного сигналу, ми встановили, що відносна похибка не перевищує 1,8%.

Висновки. Розроблено математичну модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом. Використовуючи середовище Maple, ми довели адекватність розробленої математичної моделі. Встановлено, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання, частота яких змінюється зі зміною опору вологочутливого резистивного елемента $R_W(W)$. Так, при $R_W(W) = 10$ кОм частота $F = 827{,}7$ кГц, при $R_W(W) = 13$ кОм частота $F = 953{,}1$ кГц, а при $R_W(W) = 16$ кОм частота $F = 1054{,}5$ кГц, напруга живлення $U = 5$ В.

Для підтвердження теоретичних результатів розробку досліджено в середовищі схемотехнічного моделювання LTSpice. Дослідження проводилися в діапазоні зміни опору вологочутливого резистивного елемента від $R_W(W) = 10$ кОм до $R_W(W) = 16$ кОм, що відповідає збільшенню значення відносної вологості повітря від 20% до 90%. За результатами моделювання в середовищі LTSpice встановлено, що зі збільшенням опору вологочутливого резистивного елемента від 10 кОм ($W = 20$ %) до 16 кОм ($W = 90$ %) частота сигналу збільшується від 826,4 кГц до 1052,6 кГц.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень показали, що на виході мікроелектронного частотного перетворювача вологості існують періодичні коливання, частота яких збільшуватиметься зі збільшенням значення відносної вологості повітря. Отримані теоретичні й експериментальні дослідження мають гарний збіг, відносна похибка не перевищує 1,8%.

Список літератури:

1. Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nanoporous Polymer Membranes. *Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical*. 2006. Vol. 114. № 1. P. 254–262.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. Москва : Техносфера, 2007. 384 с.
3. Датчики : справочное пособие / под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва : Техносфера, 2012. 624 с.
4. Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review. *Sensors.* 2014. № 14. P. 7881–7939.
5. Mario Pelino, Carlo Cantalini. Principles and applications of ceramic humidity sensors. *Active and Passive Elec. Comp*. 1994. Vol. 16. P. 69–87.
6. Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption. *Sensors*. 2016. № 16. P. 1135.

7. Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor. *Journal of microelectromechanical system*. 2010. Vol. 19. № 1. P. 183–191.

8. Zhi, Chen, Chi Lu. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms. *Sensor Letters*. 2005. Vol. 3. P. 274–295.

9. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Крилик Л.В. Сенсори вологості : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2003. 208 с.

10. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. Винница : «Универсум-Винница», 1999. 275 с.

11. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Seletska O.O., Kisała P., Nurseitova K. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors. *Proceedings SPIE Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2019. 111761I.

12. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A., Maksat Kolimoldayev, Paweł Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output. *Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017, 104451X.

13. Осадчук О.В., Крилик Л.В., Селецька О.О. Математична модель мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2019. № 5 (277). С. 195–198.

14. Осадчук О.В., Крилик Л.В., Осадчук Я.О. Математична модель параметричного перетворювача вологості з частотним виходом. *Прикладні питання математичного моделювання.* Т. 3. № 2.1. 2020. С. 206–215.

15. Осадчук О.В., Осадчук В.С., Звягін О.С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод підвищення його точності. *Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.* 2010. № 1 (27). С. 135–139.

16. Осадчук В.С. Осадчук О.В., Звягін О.С. Частотні перетворювачі для контролю вологості нафтопродуктів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 152 с.

17. Осадчук О.В., Звягін О.С., Савицький А.Ю., Барабан С.В., Селецька О.О. The radiomeasuring humidity sensor with the frequency output signal. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2016. № 6. С. 216–218.

Osadchuk A.V., Krylik L.V., Zviahin O.S., Osadchuk I.A. MATHEMATICAL MODEL OF A MICROELECTRONIC HUMIDITY TRANSDUCER WITH A HUMIDITY-SENSITIVE RESISTIVE ELEMENT

A mathematical model has been developed for a microelectronic frequency humidity transducer with a humidity-sensitive resistive element. The microelectronic frequency transducer of humidity is developed on the basis of a transistor structure with a negative resistance on a field-effect two-gate transistor and a bipolar transistor. The negative differential resistance, formed by the parallel connection of the impedance with the capacitive component on the electrodes of the transistor structure and inductance, leads to the occurrence of electrical oscillations in the oscillator circuit. Using the Maple environment, the adequacy of the developed mathematical model has been proved. It was found that at the output of the microelectronic frequency transducer of humidity there are periodic oscillations, the frequency of which changes with a change in the resistance of the humidity-sensitive resistive element R_W (W). So, with R_W(W)=10 kOhm the frequency is F=827.7 kHz, with R_W(W)=13 kOhm the frequency is F=953.1 kHz, and with R_W(W)=16 kOhm the frequency is F=1054.5 kHz, while the supply voltage is 5 V. To confirm the theoretical results of the circuitry solution of the microelectronic frequency transducer of humidity, they were investigated in the LTSpice simulation environment. The studies were carried out in the range of changes in the resistance of a humidity-sensitive resistive element from 10 kOhm to 16 kOhm, which corresponds to an increase in the value of the relative air humidity from 20% to 90%. According to the results of modeling in the LTSpice environment, it was found that with an increase in the resistance of the humidity-sensitive resistive element from 10 kOhm (W=20%) to 16 kOhm (W=90%) the output frequency increases from 826.4 kHz to 1052.6 kHz. The results of theoretical and experimental studies have shown that at the output of the microelectronic frequency transducer of humidity there are periodic oscillations, the frequency of which increases with an increase in the value of the relative humidity of the air. The obtained theoretical and experimental studies are in good agreement, the relative error does not exceed 1.8%.

Key words: *frequency transducer of humidity, humidity-sensitive resistive element, negative differential resistance, periodic oscillations, frequency.*

Відомості про авторів

Андреєва Т.В. – асистент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного авіаційного університету

Антоненко А.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури

Байбак С.В – магістр кафедри технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Беглов К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

Безпальченко В.М. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії, екологіїї та безпеки життєдіяльності Херсонського національного технічного університету

Борисенко О.М. – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Брич К.А. – вчитель біології КЗ «НВК «Загальноосвітній навчальний заклад І-ІІ ступенів – академічний ліцей №15» Кам'янської міської ради

Бровенко Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв

Бузіна І.М. – доцент кафедри екології та біотехнології Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва

Бутко Р.В. – старший викладач кафедри тактики – начальник інженерної служби Національної академії Національної гвардії України

Василенко І.А. – кандидат технічних наук, доцент, молодший науковий співробітник кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Василенко О.В. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури.

Галушка С.А – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Гармаш В.П. – старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії будівництва та оперативного застосування Національної гвардії України науково-дослідного центру службово-бойової діяльності Національної гвардії України Національної академії Національної гвардії України

Головіна О.В. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій Філії Класичного приватного університету у м. Кременчук

Голя А.В. – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Гончаров Є.І. – старший викладач кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України

Горбунов М.І. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Грищенко І.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв

Дакі О.А. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

Євсєєв В.О. – кандидат військових наук, доцент, заступник начальника кафедри тактико-спеціальної підготовки Національної академії Національної гвардії України

Єманов В.В. – кандидат військових наук, старший науковий співробітник, начальник факультету логістики Національної академії Національної гвардії України

Завальнюк І.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри управління судном Херсонської державної морської академії

Завальнюк О.П. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонської державної морської академії

Залюбовський М.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»

Звягін О.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету

Земліна Ю.В. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу Київського університету культури

Кара С.В. – кандидат технічних наук, начальник управління інжинірингу філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Українська залізниця»

Кирпичова І.В. – доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності Луганського національного аграрного університету

Кисельов В.Б. – доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Коваленко О.П. – магістр кафедри технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Козоровська К.А. – магістр кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

Кохановська В.П. – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Криворучко М.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету

Крилик Л.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету

Круглий Д.Г. – доктор технічних наук, професор кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння Херсонської державної морської академії

Кузьменко Т.М. – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Кучерявий І.А. – магістр кафедри технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Лиса Л.Б. – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Ловська А.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту

Логвінков С.М. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри технологій і безпеки життєдіяльності Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Лугова Т.М. – старший викладач кафедри загальноосвітньої підготовки Луганського національного аграрного університету

Лукіянишен К.О. – магістр кафедри технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Максимова О.Б. – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу математичного моделювання і розвитку навчальних технологій науково-дослідного управління проблем розвитку та застосування ВМС Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»

Малєєв В.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри хімії, екології та безпеки життєдіяльності Херсонського національного технічного університету

Малишев В.В. – доктор технічних наук, професор, директор Інженерно-технологічного інституту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»

Мединський Д.В. – аспірант кафедри організації авіаційних перевезень факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету

Мінчев Д.С. – бакалавр, студент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

Мухіна А.В – магістр кафедри технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Нестеренко В.Б. – капітан далекого плавання, старший викладач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії

Осадчук О.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету

Осадчук Я.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету

Остапенко І.А. – кандидат технічних наук, генеральний директор ТОВ «Дружківський вогнетривкий завод»

Павлова Н.Л. – старший викладач кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Панасюк І.В. – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту інженерії та інформаційних технологій Київського національного університету технологій та дизайну

Поліщук В.П. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

Прокопенко П.М. – аспірант кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій

Прокудін Г.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Растьогіна Г.І. – старший викладач кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонської державної морської академії

Рой М.П. – аспірант кафедри міжнародних перевезень і митного контролю Національного транспортного університету

Скиба М.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Сопов Д.С. – старший викладач кафедри будівництва, архітектури, геодезії та землеустрою Луганського національного аграрного університету

Сопова Н.В. – старший викладач кафедри будівництва, архітектури, геодезії та землеустрою Луганського національного аграрного університету

Споришев К.О. – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри автобронетанкової техніки факультету логістики Національної академії Національної гвардії

Тесленко О.І. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту загальної енергетики Національної академії наук України

Толок Г.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв

Тришин В.В. – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

Урум Н.С. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

Фомін В.В. – кандидат технічних наук, заступник диреткора департаменту вагонного господарства АТ «Українська залізниця»

Фомін О.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій

Фролова Н.Е. – професор кафедри Технології аюрведичних харчових продуктів Національного університету харчових технологій

Хайнус Д.Д. – доцент кафедри будівництва, архітектури, геодезії та землеустрою Луганського національного аграрного університету

Чумак М.О. – аспірант Національного аерокосмічного університетету імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

Чупайленко О.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Чупринов Є.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри металургійних технологій Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій

Шабанова Г.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Шарай С.М. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень і митного контролю Національного транспортного університету

Шибаєв О.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Штепа Є.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електромеханіки, мехатроніки та інженерної графіки Одеської національної академії харчових технологій

Ющенко Н.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

Якусевич Ю.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Державного університету інфраструктури та технологій

НОТАТКИ

Науковий журнал

ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО

Серія: Технічні науки

Том 32 (71) № 1 2021

Частина 2

Коректура • *Н. Пирог*

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. 15,54. Ум. друк. арк. 22,79. Зам. № 0321/81
Підписано до друку 04.02.2021. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (048) 709 38 69,
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.