

Якусевич Ю.Г.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Колесник В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Тришин В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Дорофєєва З.Я.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА СУДНІ

У роботі приділена увага системі пожежогасіння, яка є надзвичайно важливою для суден, які транспортують паливо (танкерів). Вона, у свою чергу, включає сукупність взаємопов'язаних елементів, що мають різноманітні принципи функціонування й мають на меті подальшу автоматизацію комплексних процесів.

Акцентовується увага на тому, що пристрій систем пожежогасіння, їх конструкція залежать від принципу гасіння, що застосовується. Тому проведено аналіз способів припинення горіння, що засновані на фізичному й хімічному принципах. Так, наприклад, загальноприйнята система пінного пожежогасіння призначена для захисту вантажних цистерн, насосних відділень і носових паливних танків. Для захисту вантажних цистерн встановлено вісім лафетних стволів з таким розрахунком, щоб покрити піною будь-яку частину відкритої палуби.

Розглянуто спринклерні системи, які бувають водяні, повітряні й комбіновані, залежать від температури повітря в приміщеннях.

Цей розподіл систем є досить умовним, оскільки в результаті їх дії відбувається одночасно ефект гасіння та захисту. Тому більш детально розглянуто спринклерні системи, оскільки, відповідно до різних національних правил, вони повинні бути встановлені на всіх суднах з персоналом більше 26 чоловік. Вимоги цих правил до спринклерних систем в основному збігаються і зводяться до такого: системи повинні включатися автоматично при підвищенні температури в приміщенні до заздалегідь встановленої величини; мати постачання від спеціального спринклерного насоса тощо.

Таким чином, у статті з'ясовано, що для комплексної автоматизації системи пожежогасіння на підставі аналізу розроблених моделей необхідно:

- виконати розміщення датчиків температури в приміщеннях на палубі судна;*
- встановити запірні пристрої (виконавчі механізми) у місцях розміщення насадки для підведення води, піни, інертних газів;*
- при розбіжності сигналу від датчиків з технологічними параметрами реалізується автоматичний і напівавтоматичний запуск системи пожежогасіння й видача сигналів тривоги й індикації аварійної ділянки на мнемосхемі оператора.*

Ключові слова: спринклерні системи, автоматизація, моделювання, пожежогасіння, суднові системи.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційних технологій та елементної бази, поява надійних та економічних мікросхем, особливо мікропроцесорів, а також розширення функціональних можливостей і мініатюризація електромеханічних елементів і датчиків надали якісно нові технічні засоби для розвитку процесів автоматизації суден. Початок автоматизації збігається з упровадженням інформаційних технологій і технічних засобів до систем управління суднами, що є сутністю теперішнього етапу.

Для нього характерні такі особливості:

- комплексний характер процесів автоматизації (повинен охопити всі елементи та зв'язки у функціонуванні складної організаційно-технічної системи – сучасного судна);*
- раціональний розподіл функцій управління між людиною-судноводієм та управляючою автоматизованою системою;*
- використання математичних моделей управління й автоматичного пошуку оптимуму за заданим критерієм, використання самоналагоджувальних*

структур і структур, що навчаються на основі потужних обчислювальних комплексів, які дають можливість сформувати базу даних і знань.

У статті основна увага приділена системі пожежогасіння, яка відноситься до судових систем, але є надзвичайно важливою, особливо для суден, які транспортують паливо, – танкерів. Актуальність дослідження пов'язана з тим, що система пожежогасіння складається із сукупності взаємопов'язаних елементів, які мають різні принципи функціонування та потребують комплексної автоматизації процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У розробку різних аспектів проблеми автоматизації систем управління внесли вклад такі вчені: П.В. Бажан, А.М. Басін, В.Ф. Большаков, О.С. Бутов, Є.М. Клімов, Ю.І. Матвєєв, Ю.Н. М'ясників, Ю.П. Петров, С.А. Попов, В.І. Плющаєв, Е.П. Роннов, А.Є. Сазонов, М.М. Чіркова, І.А. Фейгін, Ю.С. Федосенко, В.В. Сахаров та інші. Результати цих досліджень стали фундаментом для якісно нового рівня автоматизації, у тому числі реагування на кризові ситуації, пов'язані з пожежною безпекою на судні, з використанням системи контролю.

Постановка завдання. Завданням статті є розробка моделі автоматизації системи пожежогасіння на судні.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для системи пожежогасіння характерна мережа розосереджених об'єктів управління, що вимагають використання принципів розосередженого управління та сигналізації [6]. Реалізація системи пожежогасіння полягає в побудові активного протипожежного захисту судна, що за своєю сутністю являє собою комплекс заходів щодо виявлення й ліквідації пожеж на сучасних суднах.

Реалізація заходів виявлення й ліквідації пожеж здійснюється за допомогою спеціальних засобів активного протипожежного захисту, до яких можливо віднести:

- 1) системи та пристрої пожежної сигналізації;
- 2) системи ліквідації пожеж;
- 3) допоміжні пристрої.

Перша група засобів активного протипожежного захисту – це системи пожежної сигналізації, за допомогою яких здійснюється раннє виявлення пожеж та оповіщення судоводія й команди судна. Системи сигналізації є сукупністю різномірних засобів за принципом виявлення вогню пожежі.

Друга група засобів – системи гасіння пожеж поділяються на чотири кластери залежно від способу впливу на осередок пожежі. Кожен кластер

об'єднує декілька конкретних систем, які розрізняються між собою за принципом гасіння пожежі [3; 7]. Отже, функціональна схема системи пожежогасіння та їх конструкція безпосередньо залежать від принципу гасіння, який застосовується. Виконаємо аналіз принципів припинення пожежі, які узагальнено складаються з фізичних і хімічних способах.

Спосіб водяного пожежогасіння. Оскільки вода є найбільш доступним і дешевим засобом гасіння пожеж на суднах, то нині широко поширені на суднах системи:

- 1) водяного пожежогасіння;
- 2) водяного розпилення;
- 3) водяного зрошення;
- 4) водяних завіс, які охолоджують поверхню горіння.

Наведемо коротку характеристику кожного способу.

Для системи водяного пожежогасіння характерні такі основні елементи:

- 1) пожежні насоси;
- 2) трубопроводи (приймальні та напірні);
- 3) пожежні крани (кінцеві клапани);
- 4) приводи управління арматурою та насосами;
- 5) контрольно-вимірювальні прилади;
- 6) пожежні рукави.

Мінімальна продуктивність призначається за умови подачі води, що необхідна для роботи двох струменів. Максимальна продуктивність насосів на вантажних суднах не перевищує 180 м³/год. Мінімальна продуктивність аварійних пожежних насосів розраховується окремо залежно від ємності судна.

Якщо пожежні насоси використовуються для забезпечення забортною водою інших систем пожежогасіння, то їх продуктивність визначається, виходячи з максимально можливої витрати води цими системами.

Спринклерна система пожежогасіння.

До групи систем пожежогасіння шляхом водяного розпилення входять:

а) спринклерна система з автоматичним управлінням, що призначена для гасіння пожеж як у житлових, так і службових приміщеннях судна;

б) дренчерна система (з ручним або автоматичним управлінням), принцип дії якої подібний до спринклерної;

в) система верхнього та нижнього водорозпилення з ручним управлінням у машинних відділеннях, що призначена для гасіння залишків нафтопродуктів;

г) гасіння з ручним управлінням тонко розпошеною водою.

До групи захисних систем можуть входити:

а) система зрошення з ручним управлінням палуб наливних суден (використовується для зниження обсягів випаровування нафтопродуктів при підвищеній температурі повітря);

б) система зрошення з ручним управлінням сходів і вахт у машинних і котельних відділеннях, що використовуються при локальних пожежах;

в) система водяного захисту пожежної команди з ручним управлінням, а також самого судна при гасінні пожеж на інших суднах або берегових об'єктах;

г) зрошення приміщень з автоматичним управлінням, призначених для зберігання легкозаймистих або вибухових речовин;

д) зрошення перегородок, проходів, конструкцій з автоматичним і ручним управлінням під час ліквідації пожеж у суміжних приміщеннях або поряд розташованих районах судна;

е) водяні завіси з автоматичним і ручним управлінням, що перешкоджають поширенню вогню в приміщеннях великих площ, проходах.

Варто відзначити, що наведений розподіл систем є досить умовним, оскільки в результаті їх функціонування відбувається одночасно ефект гасіння пожеж і захисту від пожежі.

Найбільш цікавими є спринклерні системи, оскільки, відповідно до традиційних світових морських практик, ці системи повинні встановлюватися на всіх суднах з командою, що перевищує 26 осіб.

Вимоги цих практик до спринклерних систем в основному збігаються та зводяться до правил:

1) системи повинні включатися автоматично при підвищенні температури в приміщенні до заздалегідь встановленої величини;

2) системи повинні постачатися як від спеціального спринклерного насоса, так і від системи водяного пожежогасіння;

3) до складу системи повинні входити пневмоцистерни із запасом прісної води та повітряні компресори, що використовуються для підтримання визначеного тиску в пневмоцистернах;

4) системи повинна мати сигнальний пристрій, який

сповіщає про її спрацювання системи й указує на місце спрацювання зрошувальних насадок;

5) система повинна мати не менше двох альтернативних джерел енергії, що використовується для живлення спринклерного насоса, компресора, а також сигнального пристрою;

6) система повинна розділятися на секції.

Розглянемо принцип дії спринклерної системи, яка розташовується за межами приміщень. При підвищенні температури в приміщенні до деякої заданої величини виконується автоматичне відкриття отворів у спеціальних зрошувальних насадках, які й називаються спринклерами.

Під дією тиску в трубопроводі вода, яка проходить через спринклер, розпоршується на краплі деякої величини, які зрошують палубу, стіни й інші об'єкти приміщення (рис. 1).

Схема, наведена на рис. 1, свідчить, що спринклерна система пожежогасіння складається із джерел постачання води; контрольно-пускових (сигнальних) пристроїв (датчиків температури), які розміщені в приміщеннях судна; мережі трубопроводів; спринклерів та автоматичних запірних пристроїв, що забезпечують подачу розпоршеної води в осередок пожежі.

Залежно від температури повітря в приміщеннях спринклерні системи поділяються на водяні, повітряні й комбіновані.

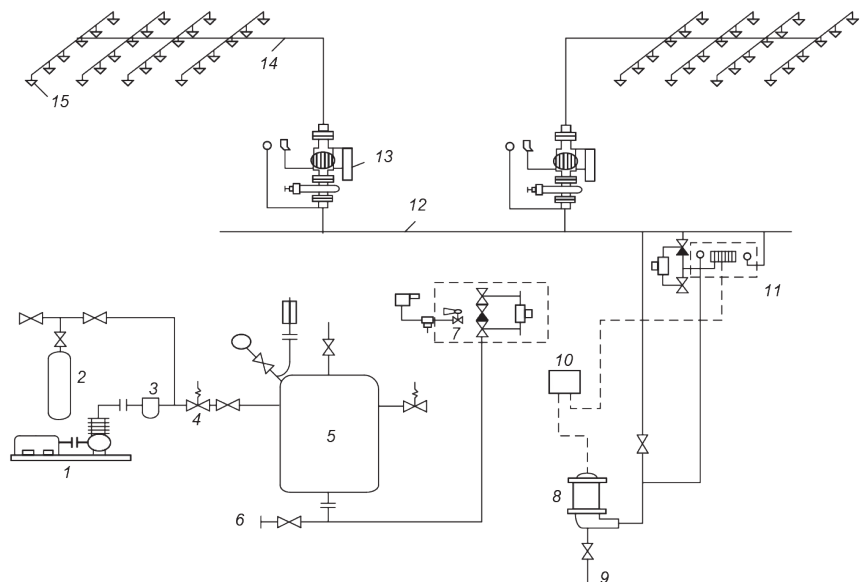


Рис. 1. Модель суднової спринклерної системи:

- 1 – компресор; 2 – балон стисненого повітря; 3 – сепаратор; 4 – запобіжний клапан; 5 – пневмоцистерна; 6 – підведення води від системи водяного пожежогасіння; 7 і 11 – КПУ, що мають включати водопостачання;
- 8 – електронасос спринклерної системи; 9 – прийом води від кінгстону;
- 10 – пускове виконавче реле насоса; 12 – магістраль спринклерної системи;
- 13 – групове КПУ; 14 – груповий розподільний трубопровід; 15 – спринклер

Водопостачання спринклерної системи виконують, як правило, з двох комплексів обладнання, призначених для подачі прісної води під тиском у трубопровід системи в період «чергового стану» спринклерів. До цього комплексу входять пневмоцистерна та повітряний компресор з балонами, що підтримують робочий тиск у системі, подаючи воду до спринклерів, які спрацювали.

Цей комплекс складається з електронасосу, обладнаного спеціальною автоматикою вмикання, та насосу системи водяного пожежогасіння, що забезпечує подачу необхідної кількості забортної води в трубопровід спринклерної системи.

Система зрошення палуби водою. При підвищених температурах зовнішнього середовища внаслідок нагрівання палуби та бортів судна відбувається інтенсивне випаровування нафтопродуктів, які транспортуються танкерами. Для зменшення нагрівання палубний настил і борти корпусу суден фарбують у світлі тони. Однак цього недостатньо, щоб знизити температуру парів і верхнього шару вантажу в цистернах до необхідної величини. На наливних суднах, що транспортують нафтопродукти з температурою займання парів менше 45° , над вантажними цистернами, насосними відділеннями та кофердамом обов'язково передбачаються системи зрошення палуби водою (рис. 2).

Отримана система зрошування дає змогу знизити температуру на палубі та зовнішніх частинах бортів за рахунок випаровування води, зменшивши процес пожежонебезпечного випаровування нафтопродуктів. Відмітимо, що при перевезенні важких нафтопродуктів із температурою займання більше $60\text{--}80^\circ$ системи зрошення палуби на суднах, як правило, не використовують.

У систему зрошення, яка включається вручну, воду подають пожежні насоси, що знаходяться в районі носової частини корпусу танкера, або пожежні насоси, розміщені в машинному відділенні. Магістральний трубопровід системи прокладають під перехідним містком з відгалуженням до розпилювачів. На окремих ділянках палуби магістраль системи зрошення через від-

галуження із запірними пристроями з'єднують із магістраллю системи водяного пожежогасіння.

Витрата води в системі зрошення приблизно становить $0,015\text{--}0,017$ л/с на 1 м^2 площі.

До останнього часу для розпилення води застосовували переважно перфоровані труби, розташовані над палубним настилом з отворами діаметром $3\text{--}5$ мм і кроком по довжині труби $150\text{--}200$ мм. Уважаємо, що більш раціонально замінити ці труби, оскільки вони ускладнюють переміщення команди по палубі. Шлях заміни – це застосування насадок із широким факелом розпилу води (рис. 2). Дренчери або інші види насадок варто розміщувати так, щоб уся площа палуби над вантажними цистернами, вантажними насосними відділеннями й кофердамом зрошувалася рівномірно. Поверхні зрошення двох послідовно розташованих дренчерів повинні частково перекривати один одного. Наявні сьогодні насадки при розміщенні їх на висоті 3 м і при напорі води рівним 5 м вод. ст. здатні зрошувати приблизно $30\text{--}50\text{ м}^2$. Насадки можуть створювати як секторний, так і розпил по колу з різною величиною кута факела.

Система застосування інертних газів. Інертний газ не тільки розбавляє атмосферу, а й охолоджує її, а також ізолює палаючу речовину від кисню атмосферного повітря. Ці властивості інертних газів слабо залежать від температури, тиску та щільності, тому їх зазвичай не враховують при обчисленнях необхідної кількості вогнегасного середовища.

Позначимо буквою k вміст кисню за об'ємом в атмосфері приміщення, при якому припиняється горіння речовини. Щоб досягти цього, необхідно на кожен кубометр об'єму приміщення додати інертний газ в об'ємі:

$$v = \frac{21 - k}{100} \text{ м}^3.$$

При цьому заміщення 1% кисню в атмосферному повітрі буде супроводжуватися заміщенням $3,75\%$ азоту. Отже, на кожен кубометр вільного об'єму приміщення необхідно вводити інертний газ, об'єм якого становитиме:

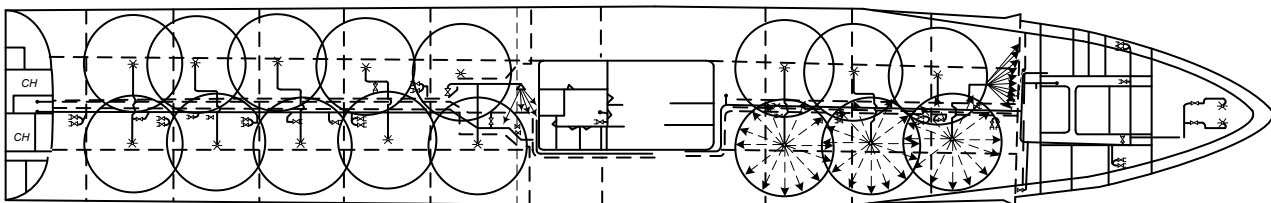


Рис. 2. Модель зрошення палуби на наливному судні

$$v = \frac{(21 - k) 4,75}{100} \text{ м}^3.$$

Отже, якщо $k=15\%$, тоді $v = 0,285 \text{ м}^3$. Практично, з огляду на можливі втрати в системі інертного середовища, для припинення горіння на кожен кубометр вільного об'єму закритого приміщення необхідно вводити близько 30% інертного газу (за об'ємом).

При заданому розрахунковому часі t (хв.) подачі вогнегасного середовища з питомим об'ємом V_v ($\text{м}^3/\text{кгс}$) витрата його на кубометр вільного об'єму приміщення становитиме:

$$G = \frac{(21 - k) 4,75}{v_0 t 100} \text{ кгс/хв.}$$

Величина k залежить від типу горючої речовини, властивостей вогнегасного середовища, а також від їх витрат і швидкості подачі.

Унаслідок токсичності системи цього типу необхідно обладнати сигналізацією попередження, щоб команда судна могли вчасно покинути приміщення та не отруїлася.

Системи водяного парового пожежогасіння використовують у вантажних трюмах суховантажних і наливних суден, у вугільних бункерах, паливних та масляних цистернах, кофердамах, вантажних насосних відділеннях, у літкарних, малярних коморах та аналогічних приміщеннях, а також для гасіння окремих осередків пожежі в закритих приміщеннях. Вогнегасним середовищем системи є водяний насичений пар під тиском від 5 до 10 кгс/см^2 , який подають у приміщення з інтенсивністю не менше 1,33 кгс/год на 1 м^3 .

Пар для системи парогасіння подають від головних або допоміжних котлів по трубах на станцію парогасіння, де встановлено спеціальний розподільчий колектор.

Система піногасіння. Як система ізоляції на судах широке застосування знайшли різні системи пінного пожежогасіння. Схема загального розташування системи повітряно-механічного пінного пожежогасіння на наливному судні наведена на рис. 3.

Піна гасить вогонь пожежі в основному за рахунок:

1) охолодження верхнього шару палаючої речовини й зони полум'я рідкою фазою піни, що руйнується. Це охолодження обумовлено великою теплоємністю й теплотою пароутворення води, з якої складається рідка фаза. При подачі піни в осередок пожежі її перші порції повністю руйнуються й випаровуються, при цьому інтенсивність випаровування обумовлена великою площею контакту плівок бульбашок з нагрітими газами. У результаті створюється над вогнищем пожежі «парова подушка», яка зменшує парціальний тиск кисню в дифузійній зоні полум'я при гасінні повітряно-механічною піною. При гасінні хімічною піною ефект «парової подушки» посилюється за рахунок виділення вуглекислоти. Усе це зменшує інтенсивність горіння й готує умови, при яких піна, що подається в осередок полум'я, перестає руйнуватися;

2) ізоляції палаючої речовини від навколишнього повітря. При цьому шар піни перешкоджає проході продуктів випаровування палаючої речовини до факелу полум'я. Ефект ізоляції досягається тільки в тому випадку, якщо пружність парів палаючої речовини недостатня для подолання пружного опору шару піни. Таким чином, ефект ізоляції цілком залежить від стійкості піни та величини її шару над поверхнею палаючої речовини;

3) теплоізоляційної здатності шару піни, яка обумовлена малою теплопровідністю газової фази, що розміщена в бульбашках малого обсягу.

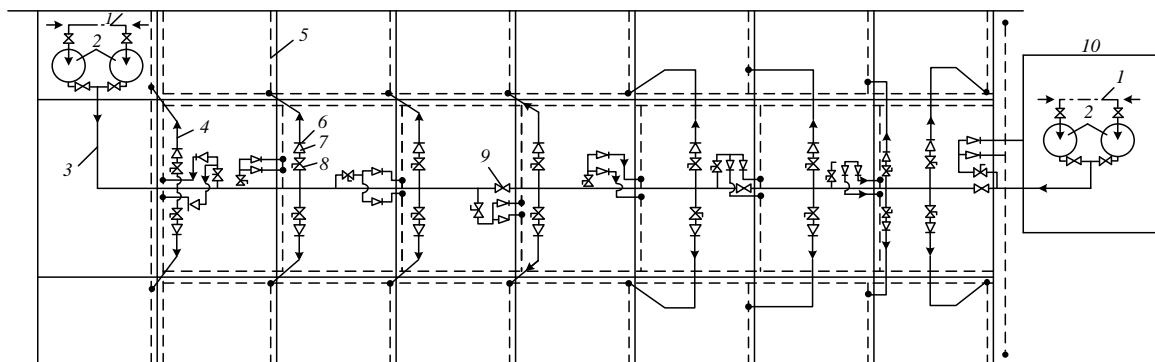


Рис. 3. Модель загального розташування системи повітряно-механічного пінного пожежогасіння на наливному судні:

1 – трубопровід системи водяного пожежогасіння; 2 – резервуар із піноутворювачем; 3 – магістральний трубопровід; 4 – пінопровід; 5 – пінозливні труби; 6 – мембрана; 7 – стаціонарний повітряно-пінний ствол; 8 – клапан з дистанційним управлінням; 9 – клапан запірний; 10 – носова станція піногасіння

Залежно від типу піни суднові системи можна розділити на дві групи: гасіння повітряно-механічною піною та гасіння хімічної піною.

Система пінного пожежогасіння призначена для захисту вантажних цистерн, насосних відділень і носових паливних танків. Для захисту вантажних цистерн встановлено вісім лафетних стволів із таким розрахунком, щоб покрити піною будь-яку частину відкритої палуби. У насосні відділення й носові паливні димпінки проведено трубопроводи піни зі стаціонарними повітряно-пінними стволами.

Висновки. За результатами дослідження зробимо низку узагальнених висновків: для комплексної автоматизації системи пожежогасіння на підставі аналізу розроблених моделей необхідно:

- виконати розміщення датчиків температури в приміщеннях на палубі судна;
- встановити запірні пристрої (виконавчі механізми) в місцях розміщення насадки для підведення води, піни, інертних газів;
- забезпечити безперервний моніторинг (у реальному часі) стану датчиків температури;
- при розбіжності сигналу від датчиків з технологічними параметрами реалізується автоматичний і напівавтоматичний запуск системи пожежогасіння та видача сигналів тривоги й індикація аварійної ділянки на мнемосхемі оператора.

Напрямами подальших досліджень є розробка схема комплексної автоматизації суднових систем.

Список літератури:

1. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика. Москва : НТБ «Энергия», 2012. 352 с.
2. Энергосбережение: энергетическая эффективность водного транспорта : монография / О. К. Безюков и др. Санкт-Петербург : Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макара, 2016. 283 с.
3. Безюков О.К. Динамика потребления энергетических ресурсов и повышение эффективности их использования. *Справочник. Инженерный журнал с приложением.* 2015. № 1. С. 41–48.
4. Сахаров В.В. Модели и алгоритмы оптимизации технологических процессов на объектах водного транспорта в среде MATLAB : монография. Санкт-Петербург : ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2015. 436 с.
5. Gupta M.M. Intelligent control systems: theory and applications / ed. by M.M. Gupta, N.K. Sinha. New York: IEEE, 1996.
6. Пластинин А.Е. Оценка механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова.* 2015. № 1 (29). С. 42–52.
7. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна. 3-е изд., перераб. и доп. Одесса : Феникс, 2007. 328 с.
8. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. Одесса : Феникс, 2005. 272 с.
9. Вагущенко, Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. Одесса : Латстар, 2003. 169 с.

Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia. MODEL OF AUTOMATION OF THE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM ON THE SHIP

The paper pays attention to the fire extinguishing system, which is extremely important for vessels transporting fuel – tankers. It, in turn, includes a set of interconnected elements that have different principles of operation and are aimed at further automation of complex processes.

Emphasis is placed on the fact that the device of fire extinguishing systems, their design depends on the principle of extinguishing used. Therefore, an analysis of ways to stop burning, based on physical and chemical principles. For example, the conventional foam fire extinguishing system is designed to protect cargo tanks, pump compartments and bow fuel tanks. To protect cargo tanks, eight gun barrels have been installed in such a way as to cover any part of the open deck with foam.

The article considers sprinkler systems, which are water, air and combined. They depend on the indoor temperature.

This distribution of systems is quite conditional, because as a result of their action there is both the effect of quenching and protection. Therefore, sprinkler systems are considered in more detail, because, according to different national rules, they must be installed on all vessels, with a staff of more than 26 people. The requirements of these rules for sprinkler systems are basically the same and are as follows: the systems must turn on automatically when the room temperature rises to a predetermined value; have a supply as from a special sprinkler pump, etc.

In the article it is found out that for complex automation of fire extinguishing system on the basis of the analysis of the developed models it is necessary:

- *perform the placement of temperature sensors in the premises on the deck of the vessel;*
- *install shut-off devices (actuators) in the locations of the nozzle for water, foam, inert gases;*
- *in case of discrepancy of the signal from the sensors with technological parameters, the following is realized: automatic and semi-automatic start of the fire extinguishing system and issuance of alarm signals and indication of the emergency area on the operator's mnemonic.*

Key words: *sprinkler systems, automation, modeling, fire extinguishing, ship systems.*