

Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції  
Материалы ІХ Международной научно-практической конференции  
Materials of the 9<sup>th</sup> international scientific and practical conference

---

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ НА ТРАНСПОРТІ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

**MODERN INFORMATION AND INNOVATION  
TECHNOLOGIES IN TRANSPORT**

**MINTT-2017**

Збірка матеріалів конференції

**23-25 травня 2017 року  
Херсон, Україна**

**23-25 мая 2017 года  
Херсон, Украина**

**May 23-25, 2017  
Kherson, Ukraine**

### **Організатори конференції:**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКА ДЕРЖАВНА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КП»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КЛАЙПЕДСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ЛИТВА)  
МАРІБОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (СЛОВЕНІЯ)  
БІЛОРУСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БРЕМЕНСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (НІМЕЧЧИНА)  
КРЮІНГОВА КОМПАНІЯ «MARLOW NAVIGATION» (КІПР)

### **Програмний комітет:**

Алексішин В.Г. – к.т.н., проф. (Україна);	Мальцев А.С. – д.т.н., проф. (Україна);
Беккер Хайнц Р. – проф. (Німеччина);	Малярєнко О.Д. – д.т.н., проф. (Білорусь);
Бідюк П.І. – д.т.н., проф. (Україна);	Михальов О.І. – д.т.н., проф. (Україна);
Блінцов В.С. – д.т.н., проф. (Україна);	Осадчий С.І. – д.т.н., проф. (Україна);
Букетов А.В. – д.т.н., проф. (Україна);	Рева О.М. – д.т.н., проф. (Україна)
Варбанец Р.А. – д.т.н., проф. (Україна);	Рожков С.О. – д.т.н., проф. (Україна);
Винокурова О.А. – д.т.н., проф. (Україна);	Селіванов С.Є. – д.т.н., проф. (Україна);
Вухерер Т. – к.т.н., доц. (Словенія)	Соколова Н.А. – д.т.н., проф. (Україна);
Гнатушенко В.В. – д.т.н., проф. (Україна);	Харченко В.П. – д.т.н., проф. (Україна);
Казак В.М. – д.т.н., проф. (Україна);	Ходаков В.Є. – д.т.н., проф. (Україна);
Кондратенко Ю.П. – д.т.н., проф. (Україна);	Цимбал М.М. – д.т.н., проф. (Україна);
Леонов В.Є. – д.т.н., проф. (Україна);	Янутенене Й. – д.т.н., проф. (Литва).
Малигін Б.В. – д.т.н., проф. (Україна);	

### **Організаційний комітет:**

голова	Ходаковський Володимир Федорович – ректор Херсонської державної морської академії;
заступник	Бень Андрій Павлович – проректор з науково-педагогічної роботи;
голови	
члени	Настасенко Валентин Олексійович – професор кафедри транспортних технологій;
комітету:	Блах Ігор Володимирович – вчений секретар, начальник відділу технічної інформації; Врублевський Роман Євгенович – начальник редакційно-видавничого відділу; Клементьєва Оксана Юрїївна – технічний секретар, провідний фахівець редакційно-видавничого відділу;

У збірнику представлено матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», яка відбулася у м. Херсоні 23–25 травня 2017 р. і була присвячена актуальним питанням застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі.

Матеріали збірки розраховані на викладачів та студентів вищих навчальних закладів, фахівців науково-дослідних установ та підприємств.

Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017) [Збірка матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (23-25 травня 2017 р., м. Херсон)]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2017. – 400 с.

## ПЕРЕДМОВА

Шановні колеги!

Ви тримаєте в руках збірку тез доповідей Дев'ятої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)», метою якої є аналіз та узагальнення нових теоретичних і прикладних результатів щодо застосування сучасних інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі. Конференція проходить у місті Херсоні, що розташоване на мальовничих берегах річки Дніпро, на базі старшого морського навчального закладу нашої держави – Херсонської державної морської академії. В організації та роботі конференції беруть участь провідні науково-дослідні та навчальні заклади Німеччини, України, Росії, Білорусі, Словенії, Литви та інших країн зарубіжжя.

Основним завданням конференції є обговорення широкого кола нових наукових і практичних результатів застосування сучасних інформаційних технологій на транспорті; обмін ідеями та пошук нових пріоритетних напрямків наукових досліджень; встановлення та розвиток нових контактів у сфері наукового співробітництва між навчальними закладами, науковими установами та підприємствами України та зарубіжжя. Одна з особливостей конференції – залучення молодих науковців до розробки найбільш актуальних напрямків наукових досліджень у транспортній галузі.

Програмою конференції передбачено проведення пленарного засідання та робота фахівців у секціях: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у транспортній галузі; тренажерні системи та людський фактор на транспорті; контроль, діагностика і прийняття рішень при управлінні рухомими об'єктами; безпека судноплавства; системний аналіз та математичне моделювання складних об'єктів; проблеми надійності та енергозбереження, екологічна безпека та ресурсозберігаючі технології; компетентнісний підхід в підготовці фахівців транспортної галузі.

До матеріалів конференції увійшли праці, присвячені проблемам функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у транспортній галузі, проблемам контролю, діагностики і прийняття рішень при управлінні рухомими об'єктами та системного аналізу і математичного моделювання складних об'єктів, також розглядаються питання компетентнісного підходу в підготовці фахівців транспортної галузі, тренажерних систем та людського фактору на транспорті, безпеки судноплавства, проблем надійності та енергозбереження, екологічної безпеки, ресурсозберігаючих технологій.

Ми впевнені, що досить широка проблематика наукових праць конференції буде сприяти не тільки плідному аналізу та обговоренню вищезазначених питань, а й обміну ідеями та думками, пошуку пріоритетних напрямків наукових досліджень, встановленню нових контактів у сфері наукового співробітництва фахівців галузі, залученню молодих науковців до участі у вивченні найбільш актуальних напрямків досліджень у транспортній галузі.

Організатори щиро дякують усім учасникам конференції та сподіваються, що MINTT-2017 стала добрим продовженням зустрічей та спілкування, початок яких покладено на попередніх конференціях. Ми маємо надію, що традиції, започатковані конференцією та дана збірка матеріалів конференції стануть корисними не тільки для її учасників, а й для широкого кола науковців, фахівців, молодих учених, які займаються теоретичними та прикладними дослідженнями інформаційних та інноваційних технологій у транспортній галузі.

Висловлюємо свою щирю подяку всім авторам доповідей за порозуміння та співпрацю з організаторами.

Бажаємо всім нових наукових ідей та досягнень, плідної роботи, нових відкриттів!

*З повагою, Організаційний та Програмний комітети.*



**СЕКЦІЯ:**  
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**  
**У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ**

## ДО ПИТАННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ УЧАСНИКІВ ЛОГІСТИЧНОГО ЛАНЦЮГА

*Куш Є.І.*

*Харківський національний університет міського  
господарства імені О.М. Бекетова  
(Україна)*

**Вступ.** Ефективність діяльності будь-якої системи визначається можливістю виконувати поставлені перед нею завдання з визначеним рівнем якості. Визначення рівня виконання мети системи і ступінь пристосованості її до зовнішнього середовища проводиться на основі показників ефективності і оптимальності функціонування.

Аналізуючи роботу транспортних систем розвезення вантажів пунктами збуту в містах, можна зробити висновок, що однією з основних умов забезпечення ефективності діяльності цих систем є повне задоволення потреб замовника на перевезення з найменшими витратами. Для цього використовують підходи з організації оптимальних маршрутів, обирають оптимальні марки транспортних засобів за вантажопідйомністю, узгоджують роботу транспорту з постами навантаження-розвантаження та інше. При цьому підвищення вантажообігу на маршрутах призводить до збільшення транспортної роботи і, отже, до зростання ефективності процесу при правильно підібраній технології перевезень.

Ефективність діяльності системи складського господарства пунктів завезення вантажів залежить від технологій зберігання і вантажообігу товарів на складі. При цьому перед науковцями стоїть завдання вирішити скільки зберігати, як часто поставляти, який страховий запас мати та деякі інші питання. В умовах нестабільної ринкової ситуації і підвищення рівня конкуренції ці завдання є досить актуальними.

**Актуальність досліджень.** Логістика охоплює і об'єднує в єдиний процес такі види діяльності, як транспортування, управління запасами, складським господарством та інші. Тому закономірним буде твердження, що взаємовідношення «транспорт – склад» в процесу розвезення тарно-штучних вантажів пунктами збуту, утворюють логістичну систему, ефективність якої залежить від узгодженості і результатів роботи її елементів.

Визначенням ефективності логістичних систем займаються вітчизняні і закордонні вчені [1, 2]. Однак це питання до теперішнього часу є не повністю розкритим. Цільовою функцією, на думку вчених, може бути максимізація доходу, прибутку, що генерується в системі або мінімізація витрат, операційних витрат і періоду оборту запасів в логістичному ланцюзі [3], а також здатність системи приносити ефект з максимальною конкурентоспроможністю [4].

Дослідження показують, що ефективність логістичної стратегії базується на трьох принципах [5]: 1) розробка стратегії управління матеріальними потоками; 2) визначення загальних витрат на виконання логістичних функцій і їх оптимізація; 3) визначення показників ефективності логістичної системи і їх постійний моніторинг.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що оптимізація загальних витрат призводить до підвищення ефективності системи. Логістичні витрати є сумою витрат на управління та реалізацію логістичних процесів, які мають такі логістичні функції, як складування, транспортування, внутрішньозаводське транспортування, пакування тощо [6].

Математично загальні витрати логістичної системи можна виразити так:

$$B_{лс} = \sum_{i=1}^n B_i, \quad (1)$$

де  $B_i$  – витрати  $i$ -го учасника логістичної системи, грош. од.;  $n$  – кількість учасників логістичної системи, од.

Якщо розглядати частину логістичної системи на ділянці «посередник – транспорт – споживач», виходячи з умови, що посередник має нескінченний запас товару, працює цілодобово і не має часових обмежень на відвантаження, то математично загальні витрати будуть мати такий вигляд:

$$B_{лс} = B_{тр} + \sum_{j=1}^m B_{склj}, \quad (2)$$

де  $B_{тр}$  – загальні витрати транспорту, грош. од.;  $B_{склj}$  – загальні витрати  $j$ -го складського господарства пункту збуту, грош. од.

Ефективність діяльності пункту збуту може визначатися на підставі економічних і техніко-експлуатаційних показників. Економічну ефективність складського господарства доцільно визначати на підставі витрат зберігання товарно-матеріальних цінностей.

**Постановка задачі.** Метою дослідження є визначення витрат складського господарства пункту збуту в логістичному ланцюзі.

**Результати досліджень.** Витрати на утримання складу складаються з постійної і змінної складових. При цьому змінні витрати пов'язані з маніпуляціями на складі і залежать від величини запасів. Тому можна стверджувати, що величина змінних витрат на утримання складу є функція від величини вантажообігу:

$$B_{зм}^{скл} = f(Q_j), \quad (3)$$

де  $Q_j$  – обсяг вантажу, що зберігається на  $j$ -му складі, т.

Постійні витрати не залежать від обсягу запасів, і складаються з статей витрат, що залежать від площі складу. Чим більша площа складу, тим більша його інфраструктура і тим більші постійні витрати. Тому:

$$B_{пост}^{скл} = f(S_j), \quad (4)$$

де  $S_j$  – площа  $j$ -го складу, м<sup>2</sup>.

Загальні витрати на функціонування  $j$ -го складу протягом доби за період  $\tau$  тоді, визначаються таким чином:

$$B_{склj} = \sum_{j=1}^m B_{змj}^{скл} \cdot Q_j + \sum_{j=1}^m B_{постj}^{скл} \cdot S_j, \quad (5)$$

де  $B_{змj}^{скл}$  – змінна складова витрат  $j$ -го складу за період  $\tau$ , євро/т;  $B_{постj}^{скл}$  – постійна складова складських витрат  $j$ -го складу за період  $\tau$ , євро/м<sup>2</sup>;  $m$  – кількість складів роздрібної мережі, од.

Як було визначено раніше, змінні витрати складу є функцією від вантажообігу на ньому. При цьому, як показали дослідження, величина вантажообігу впливає на такі складові змінних витрат, як заробітна плата персоналу складу, експлуатаційні витрати навантажувально-розвантажувальної техніки, витрати на матеріали, що забезпечують складський процес та інші.

Для визначення величини змінних витрат на складі були проведені дослідження, в ході яких було проаналізовано залежність змінних статей витрат для складів з різними вантажообігами підприємств м. Харкова, що займаються торгівельною діяльністю. Для цього були розглянуті звіти, в яких визначалися витрати, що були віднесені до змінних і до постійних.

В результаті було отримано залежності змінних витрат на утримання складу від його вантажообігу. Математично цю залежність можна описати такою регресійною моделлю:

$$B_{змj}^{скл} = 6,11 - 0,57 \ln(Q_j). \quad (6)$$

Результати статистичної оцінки вказують, що отримана модель має достатньо високу інформаційну спроможність. Про що свідчить розрахункове значення показника Фішера 70,34, що перевищує табличне – 4,35. Ступінь кореляції дорівнює 0,844. Середня помилка апроксимації складає 7,7 %. В результаті можна зробити висновок, що отримана модель достатньо адекватно описує залежність змінних витрат від вантажообігу складу.

На наступному етапі було проведено визначення постійних витрат на утримання складського господарства. В результаті було отримано залежність постійних витрат на утримання складу від його площі. Математично цю залежність можна описати такою регресійною моделлю:

$$B_{постj}^{скл} = -0,378 \ln(S_j) - 0,38. \quad (7)$$

Результати статистичної оцінки вказують, що отримана модель має достатньо високу інформаційну спроможність. Про що свідчить розрахункове значення показника Фішера 156,44, що перевищує табличне – 4,35. Ступінь кореляції дорівнює 0,887. Середня помилка апроксимації складає 5,36 %. В результаті можна зробити висновок, що отримана модель достатньо адекватно описує залежність постійних витрат від площі складу.

Виходячи з (5), (6) і (7) загальні витрати на утримання складського господарства можна представити таким чином:

$$Z_{склj} = \sum_{j=1}^m Q_j 6,11 - 0,57 \ln(Q_j) + \sum_{j=1}^m S_j (-0,378 \ln(S_j) - 0,38). \quad (8)$$

**Висновки.** Визначення витрат на функціонування складського господарства пункту збуту логістичної системи доцільно проводити на основі змінних і постійних витрат. Встановлено, що величина змінних витрат залежить від обсягу вантажу, що зберігається на складі. При цьому на значення постійних витрат впливає площа складського господарства. Визначення цих видів витрат пропонується проводити з використанням однофакторних нелінійних моделей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. La Londe B. J. A comparative profile of the United States and Canadian distribution managers / La Londe B. J., Lambert D. M. // International Journal of Physical Distribution. – 1977. – Т. 7. – №. 5. – С. 264-274.
2. Неруш Ю. М. Логистика : учебник для вузов / Ю. М. Неруш. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 495 с.
3. Бауэрсокс Д Дж., Клосс Д Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. / пер. с англ. М. М. Баришниковой и Б.С. Пинскера. – М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
4. Вордлоу Дэниел Л. Современная логистика, 7-е издание: Пер. с англ / Дэниел Л. Вордлоу, Дональд Ф. Вуд, Джеймс Джонсон, Поль Р. Мерфи, мл. – М. : Издательский дом» Вильямс. – 2002. – 624 с.
5. Левкин Г. Г. Контроллинг и управление логистическими рисками / Г. Г. Левкин, Н. Б. Куршакова. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 142 с.
6. Крикавський Є. В. Логістика. Основи теорії : підручник / Є. В. Крикавський. – Львів: НУ «Львівська політехніка», «Інтелект–Захід». – 2004. – 416 с.



## НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

*Пипченко А. Д.*

*ИПО «Одесский морской тренажерный центр»  
(Украина)*

**Постановка проблемы.** Согласно данным Европейской ассоциации морской безопасности в период с 2011 по 2015 годы основной причиной 62 процентов морских инцидентов были неправильные действия персонала [1]. При этом половина от общего количества аварий приходится на навигационные инциденты: столкновения и посадки на мель. Более детальное расследование причин навигационных аварий показывает, что судоводители либо не видят опасности, либо не осознают, что опасность существует.

И если проблема непрерывного наблюдения согласно правилам МППСС [2] имеет, в основном, дисциплинарный характер, то проблема осознания опасности является более сложной.

Любая навигационная задача включает в себя геометрический и временной факторы. Соотношение размеров судна, его маневренных характеристик и близость навигационной опасности определяют геометрический фактор. В то же время скорость приближения к опасности и скорость изменения параметров движения определяют временной фактор.

Одним из широко используемых в судовождении терминов, до сих пор не имеющий официального значения является *опасное сближение (close quarters)* [2]. Под опасным сближением понимается ситуация, в которой риск столкновения особенно высок. В литературе можно найти приблизительный диапазон значений *дистанции опасного сближения* равный 2-4 милям.

Другим широко используемым термином является *маневр последнего момента* [3, 4, 5, 6], который рассматривается как аварийным маневр, позволяющий избежать столкновения с судном. Однако, этот термин также не имеет формального определения.

МППСС, в свою очередь, не определяют и даже не дают четких критериев расчета минимальной дистанции расхождения. Процессу судовождения свойственна ситуативность с интуитивным характером управления.

Ситуации расхождения судов в районах интенсивного судоходства имеют ярко выраженный динамический характер. Это связано с тем, что суда не только должны расходиться друг с другом, но и следовать своему маршруту, избегать навигационных опасностей, и выдерживать расчетное время прибытия. Это накладывает ряд дополнительных условий и критериев на решение задачи расхождения согласно классическому толкованию МППСС.

Опытный судоводитель, долгое время работающий безаварийно, способен интуитивно оценивать ситуацию по визуальным параметрам: вектора на радаре, силуэты судов, поведение собственного судна, визуальное отображение на экране ЭКНИС (электронная картографическая навигационно-информационная система). Многие решения по расхождению с одним или несколькими судами, в основном, принимаются интуитивно и затем перепроверяются при помощи имеющегося оборудования.

Однако, выработка подобного навыка требует прежде всего опыта работы, понимания физических процессов, связанных с управлением судна и знания его характеристик судна. Помимо этого, существует ряд отвлекающих факторов, которые могут помешать судоводителю корректно оценить обстановку, таких как: усталость, усиленный радио-трафик, проблемы организационного характера, эмоциональное состояние и другие.

При этом оповещение судоводителя исключительно посредством сигнализации по CPA (closest point of approach) и TCPA (time to CPA) не всегда является эффективным, так

как это не гарантирует, что действия по предотвращению столкновения будут приняты заблаговременно.

Таким образом, **задачей данного исследования** является определение способа информирования судоводителя развития ситуации опасного сближения, с целью своевременного совершения маневра.

**Основные определения.** Анализ публикаций и проведенные автором исследования позволили сделать следующие выводы и дать определения вышеописанным терминам.

*Маневр последнего момента производится в ситуации опасного сближения судов, при этом последний момент - момент времени, после которого столкновение произойдет независимо от предпринимаемых действий. Отсюда, маневр последнего момента (МПМ) – маневр, приводящий к расхождению судов на кратчайшей дистанции стремящейся к нулю.*

МПМ можно разделить на два вида:

- *одиночный* – маневр, совершаемый одним судном, при условии, что другое сохраняет курс и скорость;
- *взаимный* – маневр, совершаемый обоими судами.

В случае программной реализации алгоритма оценки опасности столкновения с учетом размеров судна справедливо будет следующее:

Лемма 1: *опасность столкновения* существует, если курсовой угол  $\beta$  на другое судно с течением времени не меняется, при скорости сближения судов  $V_{COLLISION}$  не равной нулю.

Лемма 2: *столкновение* судов А и В, определенных соответствующими множествами точек наступает, когда  $A \cap B$ .

Если суда маневрируют, тогда *столкновение* судов А и В, определенных соответствующими множествами точек наступает, когда геометрические множества точек их траекторий  $AA \supset A$  и  $BB \supset B$  пересекаются:  $AA \cap BB$ .

Когда определить детерминированные критерии решения задачи затруднительно, целесообразно прибегнуть к методам теории нечеткой логики, что было сделано автором в работе [7].

Построение системы нечетко-логического вывода (FIS – fuzzy inference system) предусматривает три этапа:

- определение функций принадлежности;
- формирование базы нечетких продукционных правил;
- определение алгоритма нечеткого вывода.

На выходе FIS для каждого судна цели, отображенного на экране радара или ЭКНИС, должна дать оценку, выделяя его определённым цветом, а также отображая на векторе собственного судна отметки необходимого начала маневра (рис. 1):

- неопасно – зеленый цвет;
- предостережение – синий цвет;
- опасно – желтый цвет;
- аварийная ситуация – красный цвет.

Указанная оценка характеризуется *дистанцией кратчайшего сближения (CPA)*, *временем сближения (TCPA)* и *минимальной дистанцией до точки кратчайшего сближения (MDTCP)*. По каждому из этих параметров необходимо построить функции принадлежности.

В статье [6] авторы определяют минимальную дистанцию между судами для совершения МПМ применяя модели динамики судов без учета возмущающих воздействий. Суда удаляются друг от друга пока их траектории и советующие геометрические множества относительно этих траекторий не будут пересекаться. Минимальное расстояние между судами MDTС (minimum distance to collision) является

функцией скорости взаимного сближения судов  $V_{\text{COLLISION}}$ , угла пересечения курсов  $\alpha$ , массива параметров маневра  $M$  и размеров судов:

$$\text{MDTC} = f(V_{\text{COLLISION}}, \alpha, M, \text{BB}, \text{AA})$$

Массив  $M$  характеризует параметра управления судном в самом общем случае – угол перекадки руля  $\delta$  и режим хода  $n$ .

Такой подход не позволяет получить однозначного решения задачи, так как при одном значении MDTC, но различных скоростях сближения судов, опасности столкновения может не быть.

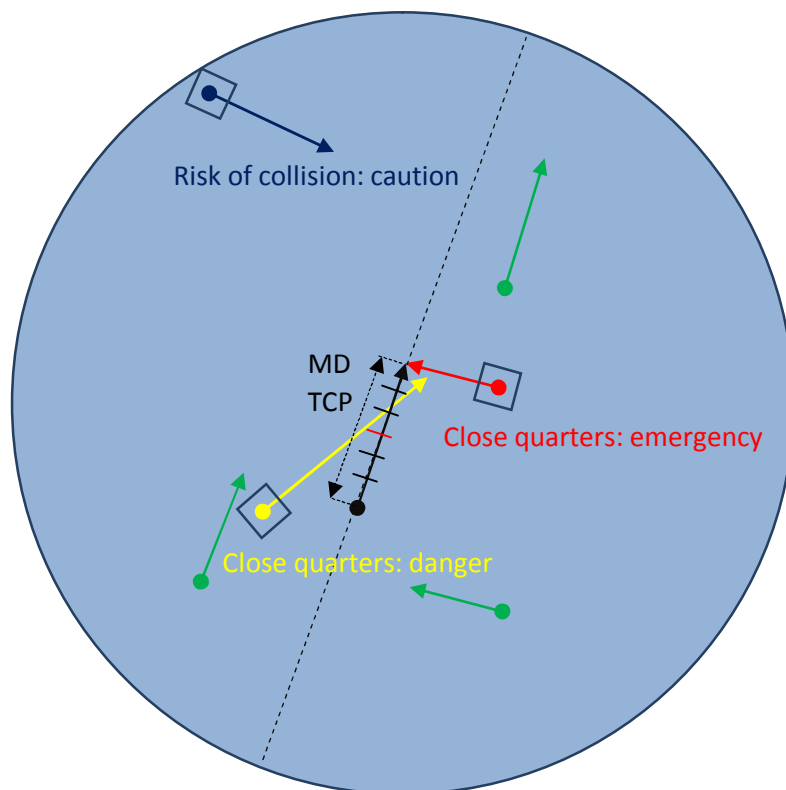


Рисунок 1 – Способ отображения опасных целей на экране радара

При условии постоянства траекторий обоих судов задачу определения MDTC необходимо решать относительно точки предполагаемого столкновения, изначально определяя дистанцию до этой точки MDTCP (*minimum distance to a collision point*).

MDTCP – минимальная дистанция до расчетной точки кратчайшего сближения, на которой планируемый маневр будет эффективным; геометрически определяется как расстояние между ближайшими к друг другу точками множеств  $A$  и  $B$ .

**Формирование функций принадлежности.** В качестве базовой величины для построения функций принадлежности примем MDTCP циркуляции с углом перекадки руля на  $35^\circ$  при угле пересечения курсов  $90^\circ$  с судном целью. Для контейнеровоза длиной 300 м, расходящегося с аналогичным контейнеровозом эта величина MDTCP ( $35^\circ; 90^\circ$ )  $\approx 0,5$  мили. То есть, если расстояние до расчетной точки кратчайшего сближения меньше 0,5 мили, ситуация оценивается как аварийно-опасная (emergency). MDTCP ( $10^\circ; 90^\circ$ )  $\approx 0,65$  мили. То есть, за эту дистанцию собственное судно отвернет от цели, не коснувшись его, при перекадке руля  $10^\circ$ . Естественно, такая величина не может являться фактором безопасности. Увеличив эту величину в 3 раза мы получим 1,95 мили, что примем как начало опасной зоны (danger). Зону внимания (caution) определим в пределах MDTCP  $\in (1,5; 3)$  мили.

Соответственно, CPA < 0,5 мили будем считать опасной (danger). CPA ∈ (0; L), L – длина судна, будем считать аварийной (emergency). CPA < 1.0 мили – требует внимания (caution).

Для ТСРА определим следующие значения ТСРА < 6 мин – аварийная ситуация (emergency); ТСРА ∈ (6; 18) мин – опасно (danger); ТСРА ∈ (12; 20) – внимание (caution).

На рис. 2 приведены функции принадлежности, построенные для трех выбранных параметров MDTCP, CPA, ТСРА.

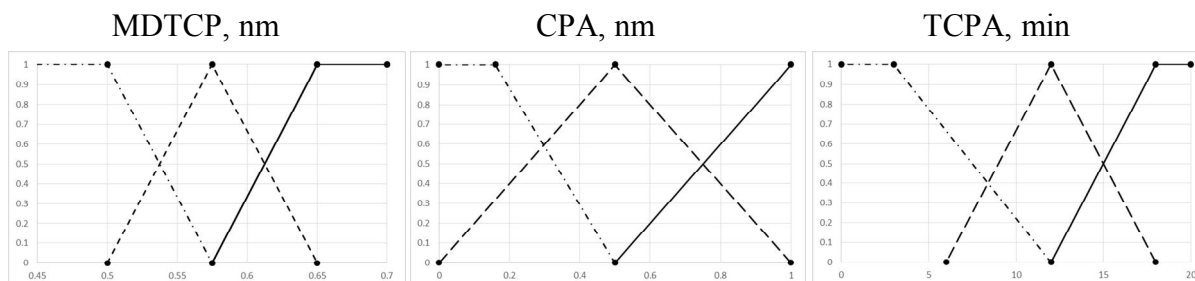


Рисунок 2 – Функции принадлежности для оценки опасности столкновения  
Оценка ситуации: --- emergency; -- danger; - caution

**Выводы.** В результате проведенного исследования предложен метод оценки ситуации опасного сближения и получены функции принадлежности для системы нечеткой логики, позволяющей оценить опасность определенной цели для собственного судна.

Кроме того, предложен способ отображения цели в зависимости от степени их опасности для собственного судна.

Для полного решения данной задачи необходима дальнейшая формализация процесса определения минимальной дистанции опасного сближения и алгоритма определения степени опасности ситуации сближения на базе нечеткой логики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. EMSA. Annual overview of marine casualties and incidents 2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emsa.europa.eu>
2. COLREGS - International Regulations for Preventing Collisions at Sea. Consolidated Edition, IMO: 2003.
3. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л. Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.
4. Ермаков С. В. Математическая модель маневра последнего момента с пассивным фактором / Вестник ГУ МРФ №2(30), 2015 – С. 41-48.
5. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении: Учебное пособие. – Одесса: ОМТЦ, 2005 – 208 с.
6. Montewka J. A method for assessing a causation factor for a geometrical MDTC model for ship-ship collision probability estimation / J. Montewka, F. Goerlandt, H. Lammi & P. Kujala // Proceedings of TransNav, vol. 5, №3, 2011
7. Пипченко А. Д. Оптимизация управления движением судна в штормовых условиях. Диссертация ... к.т.н.: 05.22.16 / А. Д. Пипченко // Одесса: ОНМА, 2010– 190 с.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ

*Федоров А.І.*

Херсонська державна морська академія  
(Україна)

**Вступ.** Оптимізація вантажного плану контейнеровозу в сучасних умовах зростання обсягів контейнерних перевезень має вкрай важливе значення для світового судноплавства. При здійсненні вантажних операцій на контейнеровозі вони доволі часто здійснюються за принципом «останній завантажений – перший вивантажений», що призводить до формування неоптимального вантажного плану судна. Побудова технологічно обумовлених ланцюжків завантаження-вивантаження контейнерів, особливо, якщо маршрут судна проходить через кілька портів, призводить до виникнення проблеми так званого «шифтінга», тобто нераціональних вантажних операцій завантаження-вивантаження контейнерів на судно з метою вилучення лише потрібних в завданому порту контейнерів. Зазначені операції призводять не лише до зростання часу здійснення вантажних операцій, але й впливають на зміну параметрів остійності судна, тому повинні ретельно контролюватися [1]. Зменшення кількості «шифтінга» позитивно впливає на економічні показники перевезення контейнерних вантажів, тому являє собою актуальну наукову та практичну задачу сучасного судноводіння [2].

**Основна частина.** Сучасні контейнерні судна здатні перевозити кілька тисяч контейнерів, при цьому при виконанні рейсу може здійснюватися заходження до кількох портів [3, 4, 5]. Таким чином, складання вантажного плану судна перетворюється на NP-повну комбінаторну задачу. Вирішення цієї задачі ускладнюється необхідністю дотримання ряду обмежень, а саме:

- збереження остійності судна;
- забезпечення дотримання припустимого рівня поперечних та продовжних згинальних сил, що впливають на корпус судна;
- мінімізація кількості використання баластної води;
- врахування розмірів контейнерів (стандартні – 20-ти та 40-ка футові контейнери, контейнери нестандартних розмірів – 45Н та 40Н);
- врахування особливостей вантажного обладнання портів;
- мінімізація зміни диференту;
- ефективно використання люків.

Також існує низка додаткових обмежень, які стосуються технологічних особливостей розміщення контейнерів на судні, а саме:

- більш важкі контейнери повинні завантажуватися першими;
- рефрижераторні контейнери, що потребують електричного живлення, доцільно розміщувати окремими компактними групами;
- контейнери нестандартних розмірів доцільно завантажувати окремо, відповідно до їх розмірів.

Таким чином, з математичної точки зору задача формування оптимального вантажного плану судна-контейнеровозу зводиться до задачі найкращого пакування, або задачі про рюкзак з урахуванням вищезазначених специфічних обмежень.

В розробленій математичній моделі контейнеровоз розглядається як сукупність беїв  $B_i$ , кожен з яких має максимально припустиму довжину розміщення контейнерів  $L_{B_i}$  та висоту розміщення  $H_{B_i}$ . Також існує  $N$  портів, між якими здійснюється рейс судна. Розміщення контейнерів залишається незмінним між будь-яким портом  $k$  та  $k+1$  ( $k \in [1..N]$ ). В кожному з портів є в наявності щонайменше один кран, здатний здійснювати завантаження/вивантаження контейнерів, що перевозяться, при будь-якому їх розміщенні на судні. Завантаження судна під час виконання рейсу може бути

представлено матрицею  $M$ , що має розмір  $(N-1)*(N-1)$ . При цьому кожен елемент матриці  $M_{kj}$  визначає кількість контейнерів (приведену до кількості стандартних 20-ти футових контейнерів), що перевозяться з порту  $k$  в порт  $j$ .

Складання оптимального вантажного плану судна полягає в формуванні такого розміщення контейнерів, яке б найкращім чином задовольняло виконанню зазначених вище обмежень. Розв'язання розглянутої оптимізаційної задачі здійснюється шляхом застосування методів еволюційного програмування.

**Висновки.** Застосування пропонованого підходу до побудови вантажного плану контейнеровозу дозволяє поліпшити економічні показники виконання судном рейсу за рахунок зменшення часу виконання вантажних операцій та тривалості стоянки судна в портах. Перспективним напрямом подальших досліджень є введення до створеної математичної моделі додаткових обмежень, що враховують час виконання рейсу та здійснення вантажних операцій в портах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Чепок А.О. Оценка оптимальности каргоплана контейнеровоза по критерию расходов на перегрузку контейнеров. / А.О.Чепок // Судовождение: Сб. науч. трудов/ ОГМА.- Вып. 1. - Одесса: Латстар, 1999. - С.156 – 163.
2. Qianwen Liu. Efficiency analysis of container ports and terminals. – London : UniversityCollegeLondon, 2010. – 206 p.
3. Alphaliner. TOP 100 – Existing fleet on June 2013 / Alphaliner. com [Электронныйресурс]. – Режимдоступа <http://www.alphaliner.com/top100/>
4. Tozer D. Ultra-large container ships: the green ships of the future? / Auckland Shipbrokers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aucklandshipbrokers.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=172&Itemid=68](http://www.aucklandshipbrokers.com/index.php?option=com_content&task=view&id=172&Itemid=68)
5. Container Stowage Planning and how it works. Shipping and freight resource. – Электронный ресурс. – Режим доступа: [<http://shippingandfreightresource.com/container-stowage-planning-and-how-it-works/>]

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

*Ходаков В.Е., Соколова Н.А.*

*Херсонский национальный технический университет  
(Україна)*

**Введение.** Применение методов транспортной логистики представляют возможности оптимизировать расходы на доставку товара. Исследование существующих алгоритмов, которые применяются для решения логистических задач, позволяет наглядно проследить экономическую эффективность работы логистики транспорта и пути ее повышения.

Задача оптимального планирования маршрутов перевозок, решение которой заключается в решении так называемой задачи коммивояжера (TSP), является задачей комбинаторной оптимизации. Задача последовательного упорядочения (ЗПУ) была первоначально решена как ограниченная версия асимметричного TSP (ATSP). Первая математическая модель для ЗПУ представлена в [1], там был предложен метод секущих плоскостей, что позволило вычислить более низкие границы оптимального решения. В [2] хронологически описаны дальнейшие исследования: был применен метод Лагранжа relax-and-cut (определены новые действительные усечения для получения более сильных низких границ), предложен новый класс действительных неравенств и описан алгоритм branch-and-cut для широкого класса случаев ЗПУ на основе многогранного исследования, выполненного на задачах ATSP с ограничениями предшествования. Полученные эвристики не содержат ограничений, невозможные решения отвергаются в процессе получения. При таком подходе удалось вычислить новые верхние оценки для проблемы ЗУП в TSPLIB, несмотря на то, что генетический алгоритм, известный как Maximum Partial Order/Arbitrary Insertion (MPO/AI), как указано в [3], возможно работает лучше в том же классе задач, но MPO/AI всегда работает в пространстве допустимых решений путем введения сложных операторов скрещивания, что сохраняет общую схему из двух родителей путем определения их максимального частичного порядка через матричные операции.

Таким образом, в условиях современного развития информационных технологий, существующие алгоритмы автоматизированного планирования грузоперевозок не способны найти точное решение или требуют неоправданно большого времени работы алгоритма для поиска эффективных решений. Геоинформационные системы (ГИС), которые используют построение и визуализацию маршрутов транспорта, имеют ряд особенностей и удовлетворяют лишь некоторым определенным требованиям клиента. Актуальность работы предопределена большой сложностью и размерностью задач маршрутизации, а также возникновением ее новых модификаций. В связи с этим возникает необходимость разработки новых методик, направлений, алгоритмов для решения задач данного класса. Предложенная информационная система состоит из алгоритма муравьиной колонии с локальным поиском и ГИС OSRM, что позволяет найти множество «хороших» решений и выдать рекомендации для лица, принимающего решение (ЛПР), для построения маршрутов торговых представителей и грузового транспорта.

Качество решения задачи маршрутизации автотранспорта влияет непосредственно на ценообразование товара. В связи с этим, тема исследования связана с анализом алгоритмов решения задач системного анализа, управления, оптимизации, обработки информации и принятия решений, к которым относятся транспортно-логистические задачи.

Применение систем поддержки принятия решений (СППР) в сфере транспортной логистики имеет целью оптимизацию расходов на доставку товара. Актуальность

исследования predeterminedenno большой сложностью и размерностью задач маршрутизации, а также возникновением их новых модификаций.

Задача решается для логистической компании, которая расположена в Херсонской области и занимается оптовой и розничной торговлей пивом, безалкогольными напитками и сопутствующими товарами. Фирма имеет свой парк автомобилей определенной грузоподъемности, кроме того есть возможность аренды автомобилей, если в этом возникает необходимость. Имеются временные ограничения для пунктов доставки. На фирме работает более 100 торговых работников-представителей (ТП), для которых нужно разработать оптимальные маршруты на каждый из пяти рабочих дней недели. Критерий оптимальности определяется минимальным суммарным километражем пути каждого ТП. Пункты, с которых начинается маршрут и в которых он заканчивается, для каждого ТП задаются индивидуально. На УПК (смартфоне) должна быть возможность визуализации карты маршрута и проверки фиксации визита в торговой точке. Для супервайзера необходимо создать возможность контроля ТП в Online -режиме.

Предлагается решение поставленной задачи осуществлять в два этапа. На первом этапе решается задача разбиения рассматриваемого региона на компактные зоны обслуживания – направления, что осуществляется путем группирования объектов-получателей для каждого маршрута. Таким образом, решается задача кластеризации. На втором этапе решается задача нахождения оптимального (по суммарному расстоянию) порядка объезда пунктов для каждого маршрута (задача маршрутизации).

Предложен метод решения поставленной задачи с использованием алгоритма муравьиной колонии. Объектом оптимизации является массив маршрутов объезда точек заказчиков парком грузовых автомобилей с фиксированной грузоподъемностью. Предложен алгоритм с применением двух типов муравьев для оптимизации двух целевых функций:

$$F_1(v) = v \rightarrow \min \quad (1)$$

$$F_2(X) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $C_{ij}$  – матрица расстояний,  $X_{ij}$  – матрица переходов,  $v$  – количество автомобилей. Первый тип связывает точки доставки с автомобилем (кластеризация), а дальше другой тип муравьев определяет оптимальный маршрут, минимизируя общую длину маршрута. Алгоритм инициализации маршрутов с использованием начального решения состоит из двух стадий: 1) клиенты случайным образом связываются один за другим с автомобилями с заданным количеством ( $v$ ), пренебрегая грузоподъемностью; 2) создается маршрут для каждого автомобиля с итеративным добавлением связанных клиентов.

Мощностью тропы автомобильного муравья является вероятность для клиента  $i$ , что он будет обслужен автомобилем  $k$ . Мощностью тропы маршрутного муравья есть вероятность посещения клиента  $j$  сразу после клиента  $i$ .

На шаге создания решения муравьем происходит связывание точек с автомобилями при условии, что грузоподъемность автомобиля не будет превышена. Пусть  $n$  – количество клиентов,  $l$  – множество еще не обслуженных клиентов,  $C_k$  – множество клиентов, которых обслуживает автомобиль  $k$ ,  $v$  – количество автомобилей,  $Q$  – грузоподъемность каждого автомобиля,  $AC_k$  – доступная грузоподъемность автомобиля  $k$ . Разработан алгоритм связывания точек с автомобилями.

Автомобиль, который будет обслуживать клиента  $i$ , определяется по формуле (3):

$$p_{ik} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ik}]^{\lambda_1} \cdot [\eta_k]^{\beta_1}}{\sum_{h \in \Psi} [\tau_{ih}]^{\lambda_1} \cdot [\eta_h]^{\beta_1}}, & \text{если } k \in \Psi \\ 0, & \text{если } k \notin \Psi \end{cases}, \quad (3)$$



где  $\eta_k = \frac{AC_k}{Q}$ ,  $l_{ik}$  – локальная видимость, которая определяет привлекательность клиента для данного автомобиля. Параметры  $\tau$ ,  $\eta$  отображают относительное влияние мощности тропы и локальной видимости. Когда автомобиль выбран, значение  $AC_k$  обновляется, а клиент добавляется к множеству  $C_k$ .

На этапе создания маршрута для каждого автомобиля после того, как точки связаны с автомобилями, происходит решение задачи коммивояжера для каждого автомобиля. Муравей начинает движение со склада и последовательно строит решение путем выбора следующего клиента  $j$  из множества доступных клиентов. Определяется привлекательность  $I_{ij} = [I2_{ij}]^{l_2} [s(i, j)]^{l_2}$  (параметр  $I2$  представляет влияние мощности тропы (маршрута), а  $l_2$  - сохранение текущего значения) посещения клиента  $j$  сразу после клиента  $i$ . Вероятность перехода от клиента  $i$  к клиенту  $k$  определяется по формуле (4):

$$p_{ik} = \begin{cases} \frac{\xi_{ij}}{\sum_{j \in Re} \xi_{ij}}, & \text{если } j \in Re \\ 0, & \text{если } j \notin Re \end{cases} \quad (4)$$

Этот этап продолжается до тех пор, пока не будет найден маршрут для одного автомобиля, а затем повторяется для остальных автомобилей.

**Выводы.** Таким образом, предложенный алгоритм позволяет для заданного парка автомобилей произвести кластеризацию клиентских точек и проложить маршруты с минимизацией их общей протяженности. Руководству логистической фирмы предложен модуль СППР, который состоит из алгоритма муравьиной колонии с локальным поиском и ГИС OSRM, что позволяет найти множество «хороших» решений и выдать рекомендации для ЛПП для построения маршрутов торговых представителей и грузового транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ascheuer N., Escudero L. F., Grotchel M. and Stoer M., 1993, A Cutting Plane Approach to the Sequential Ordering Problem (with Applications to Job Scheduling in Manufacturing), SIAM Journal on Optimization 3, 25–42.
2. Семенята Е.В. Применение муравьиных алгоритмов для поиска оптимальных маршрутов перевозок / Семенята Е.В., Привалов М.В. // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС та КМ - 2011) / Матеріали II науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Донецьк, ДонНТУ – 2011. – С. 199-203.
3. Chen S. and Smith S., 1996, S.F. Commonality and Genetic Algorithms. Carnegie Mellon University, The Robotic Institute, Technical Report CMU-RI-TR-96-27.

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДОХОДСТВА

*Шишкин С.А.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** В 2005 г. ИМО для повышения безопасности морской навигации на основе современных технологий инициировала проект электронной навигации (e-Navigation) [1] для улучшения взаимодействия между судном и берегом. В рамках стратегической программы e-навигации по внедрению электронных технологий разработан проект создания и эксплуатации безэкипажных судов - Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks (MUNIN) [2], название которого может быть представлено как Морское автономное судоходство на основе сетевого интеллекта. Обширные исследования и разработки аналогичных систем в других областях (автомобильный и железнодорожный транспорт, беспилотные летательные аппараты, роботизированное производство) обосновывают оптимистичный прогноз развития автономного судоходства в ближайшем будущем.

Очевидно, что автономное судоходство будет внедряться эволюционным путем на фоне функционирования обычных судов и действующих МППСС. В связи с этим актуальным является анализ «узких мест» проекта MUNIN с точки зрения практики морского судоходства.

**Целью работы** является анализ принципов построения автономного судна по проекту MUNIN, выявление критических проблем безопасного управления и совместимости автономного судна с традиционным судоходством.

**Основная часть.** Итогом проекта MUNIN явился технический концепт торгового судна без экипажа, возможность его технической осуществимости, оценка экономической целесообразности и решение правовых вопросов. Проект основан на достигнутом потенциале морских технологий и технологий в смежных областях. Разработан проект автономного судна, оснащенного модульными системами управления и средствами связи, позволяющими осуществлять удаленное наблюдение и управление судном и включающее передовые системы поддержки принятия решений.

В качестве объекта внедрения новой технологии MUNIN избрал балкер, работающий в международном трамповом (т.е. осуществляемом преимущественно по случайным направлениям, без определённого расписания движения) плавании. При этом проект MUNIN предусматривает автономное плавание судна только на часть рейса, приходящуюся на морской переход. Плавание в стесненных водах должно происходить традиционным образом с экипажем (ограниченной численностью) на борту.

*Логическая схема работы автономного судна системы MUNIN*

Концепт состоит из следующих модулей:

- расширенный модуль сенсоров, в который помимо конвенционного навигационного оборудования, такого как радар и AIS, входят камера высокого разрешения и тепловизор;
- система автономной навигации, следующая по заданному плану перехода, включающая модули предупреждения столкновения и проводки с учетом погодных условий;
- автономная система управления главным двигателем;
- береговой центр управления.

MUNIN работает в двух основных режимах: автономном (Autonomous), в котором решения по управлению судном возложены на автономную систему принятия решений и режиме удаленного управления (Remote), в котором судно управляется удаленно оператором берегового центра управления.

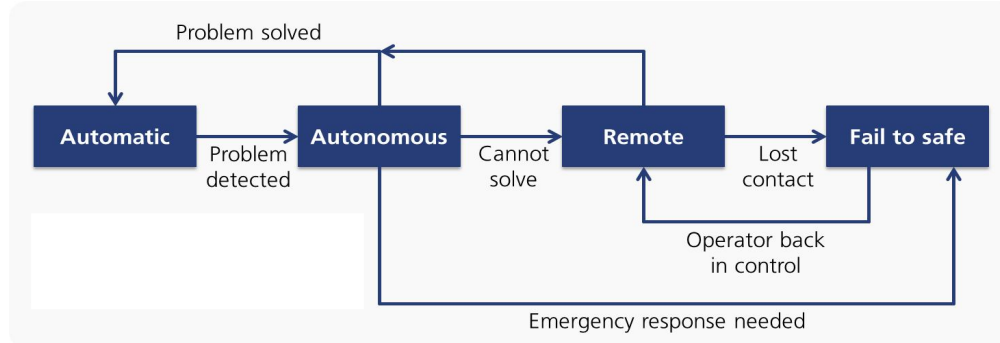


Рисунок 1 – Схема системы принятия решений [2]

Как правило, при движении судна MUNIN будет полагаться на автоматические и полностью детерминированные функции управления (Automatic). Данные от различных сенсоров будут необходимы для обнаружения проблемных ситуаций, таких как объекты на воде, опасность столкновения или ухудшение погодных условий. В таком случае будет приведен в действие автономный модуль, который позволит исправить ситуацию в пределах заданных ограничений. При невозможности справиться с задачей в автономном режиме система привлечет внимание берегового оператора, либо инициирует аварийную процедуру перехода в режим ожидания (Fail to safe).

*Методология создания автономных морских систем.* Автономные системы должны обладать высокой надежностью и быть детерминированными, т.е. делать в точности то, что они должны делать и ничего другого [3]. Автономия предполагает действия системы в любых возможных условиях, что потребует «умных» подходов к управлению, таких как нейронные сети, нечеткая логика, генетическое программирование и других эвристических алгоритмов. Обработка потока информации от судовых сенсоров возможна с использованием новейших методов работы с так называемыми большими данными (BigData). Для проектирования автономных морских систем представляется перспективным изучение методов ассоциации данных, полученных от различных сенсоров [4]. Данные должны быть преобразованы в *информацию* об окружающей обстановке, а полученная информация применена для оценки ситуации. Путем интеграции информации от различных сенсоров можно повысить достоверность оценки ситуации, например, преобразованные данные, полученные с камеры видимого диапазона, (а в тумане данные с акустических приемников) можно ассоциировать с радиолокационной отметкой. Достоверность оценки ситуации, проведенной на основании информации из разных источников существенно выше, что и будет основой для принятия решения.

*Безопасность системы.* Оценка безопасности концепта MUNIN проводилась по влиянию различных главных компонентов системы MUNIN на общую безопасность автономного судна. Результаты анализа показали, что большинство систем будут оказывать позитивное или нейтральное воздействие на безопасность, кроме дополнительных рисков от киберпиратства.

Столкновение и затопление составляют около 50% от всех аварий на море за период с 2005 по 2014 гг. По оценке MUNIN риск происшествий по этим категориям для автономного судна на порядок ниже в сравнении с традиционным судном преимущественно благодаря исключению фактора усталости.

*Экономические аспекты.* Экономический анализ, проведенный MUNIN, показал, что автономный балкер будет коммерчески жизнеспособным при определенных обстоятельствах. Его выгода обусловлена сокращением расходов на экипаж, и некоторая экономия достигается за счет улучшения аэродинамики надстройки и уменьшения веса судна порожнем. Серьезным экономическим вопросом является его неспособность работать на дешевом тяжелом топливе. Именно использование тяжелого топлива снижает надежность работы главного двигателя и требует участия человека. Альтернативой может

стать ограничение района плавания зоной контроля выбросов, где в любом случае требуется использование легкого топлива (MARPOL, Annex VI).

Необходимая надежность механизмов и электронного оборудования увеличит капитальные вложения при постройке судна и поддержании его технического состояния. Однако данные вложения смогут окупиться в долгосрочной перспективе и дадут выгоду при массовом внедрении.

*Роль радиосвязи в проекте автономного судна.* Надежная радиосвязь является ключевым фактором в осуществимости данного проекта. Так при ограниченной видимости с точки зрения полноты информации, доступной оператору нет большой разницы между судном с вахтенным помощником, уткнувшимся в радар, и оператором берегового центра управления, располагающим картинкой с экрана радара, транслируемой с судна в режиме реального времени. Радар автономного судна должен иметь опцию удаленной настройки.

В случае пропадания спутниковой связи, например от ионосферных эффектов, связь с оператором будет потеряна и судно должно будет продолжить плавание в полностью автономном режиме, включая решение задачи расхождения с другими судами.

*Расхождение автономного судна с другими судами.* Невозможность автоматизации процесса расхождения судов по причине нечеткости и противоречивости МППСС-72 обусловлена расчетом на их понимание и выполнение человеком. Построение автономной системы, способной полностью заменить человека в решении задачи расхождения судов по правилам МППСС-72, было бы эквивалентно созданию т.н. слабого ИИ (т.е. искусственного интеллекта, как инструмента, позволяющего решать те или иные задачи, которые не требуют полного спектра человеческих познавательных способностей). Однако в создании таких систем в последнее время был достигнут значительный прогресс [5], что позволяет рассчитывать на возможность успешного решения задачи расхождения в традиционной постановке.

После окончательного перехода к автономной навигации правила маневрирования упростятся, т.к. при исключении человеческого фактора будет устранена и двусмысленность толкования, присущая человеку. Из МППСС-72 можно будет изъять громоздкие конструкции вроде «...насколько это возможно, предпринять заблаговременное и решительное действие с тем, чтобы «чисто» разойтись с другим судном», непонятные компьютеру, и перевести их на язык цифр и алгоритмов, поставив в основу правил расхождения принцип энергоэффективности, т.е. маневр теперь должен стать таким, чтобы привести к минимальным общим потерям энергии. Для решения задачи расхождения судов лучше подойдут такие алгоритмы оптимизации, как муравьиные [6].

*Взаимодействие автономных судов с другими судами.* Как организовать безопасное взаимодействие автономных и традиционно оснащенных экипажем судов? Было предложено список судов, которым следует уступать дорогу согласно правилу 18 «Взаимные обязанности судов» дополнить пунктом «автономным судам» [7]. Взаимодействие между автономными судами и большими конвенционными судами может быть реализовано путем координации их действий. Однако неразрешенной останется задача расхождения с малыми судами, такими как прогулочные яхты и рыболовные суда. Одним из путей является работа по привлечению этих судов к участию в проекте «облако моря» (Marine Cloud) [8], позволяющему всем судам обмениваться путевой информацией, с целью координации действий для безопасного расхождения.

*Преимущества и недостатки системы MUNIN.* Указанные в финальном отчете MUNIN преимущества проекта являются спорными. Тезис о более высокой энергоэффективности автономных судов по сравнению с конвенционными судами несостоятелен, т.к. и экипаж вполне способен выполнять все процедуры по энергоэффективности, это лишь вопрос надлежащей организации.

В проекте MUNIN упустили из рассмотрения необходимость смены балласта во время балластного перехода [IMO Ballast Water Management Convention], что потребует наличия соответствующей системы и отдельного управляющего модуля.

На практике значительную часть усилий команда затрачивает не только на эксплуатацию судна, но и на техническую поддержку. Необходимо решить, как будет проводиться эта работа на судне без экипажа.

Автономные суда смогут перевозить только стабильные и неопасные грузы, не требующие в течение рейса контроля и поддержки со стороны экипажа. Нестабильные, легковоспламеняющиеся и взрывоопасные продукты должны быть под наблюдением и в непредвиденном случае, немедленное вмешательство экипажа, находящегося на борту, необходимо для борьбы и устранения потенциальных угроз [IMDG Code, 2016 Edition].

Спорной также является способность автономного судна выполнять обязательства в отношении поиска и спасения на море (IAMSAR). С одной стороны, улучшенные сенсоры и поддержка с берега должны выступать, как полезные качества MUNIN, с другой стороны, очевидно, что при отсутствии экипажа на борту способность оказать помощь будет существенно ограничена. Ведутся обсуждения по поводу того, обязано ли безэкипажное судно вообще обладать способностью к спасению человека.

*Правовые аспекты внедрения автономных морских судов.* Морское законодательство – главный барьер для введения автономных судов. Морское право имеет репутацию, одной из наиболее стабильных отраслей права. Настоящие международные правила, потребуют значительных изменений, для адаптации под проект автономных судов. Так СОЛАС-74 гл.V требует: «...все суда должны быть достаточно и эффективно укомплектованы экипажем». Конвенция ПДНВ-95 накладывает требования на обучение и сертификацию. Могут ли эти требования быть применимы к персоналу берегового центра управления автономным судном?

**Выводы.** Для успешного проектирования автономных морских судов еще предстоит дать ответ на ряд вопросов. Помимо технической привлекательности проекта нужно принимать во внимание экономические, правовые стороны вопроса, а также социальные последствия внедрения автономных судов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. IMO MSC 81/23/10 Development of an E-Navigation strategy.
2. <http://www.unmanned-ship.org/munin/>
3. Ø. J. Rødsethand Å. Tjora. A risk based approach to the design of unmanned ship control systems. Edited by Sören Ehlers, Bjorn Egil Asbjornslett, Ornulf Jan Rodseth, and Tor Einar Berg, CRC Press 2014.
4. Klein, Lawrence A. (2004). Sensor and data fusion: A tool for information assessment and decision making. SPIE Press. p. 51. ISBN 0-8194-5435-4.
5. Мальцев А.С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов / А.С. Мальцев // Судовождение : сб. научн. трудов/ ОНМА. – Одесса : ИздатИнформ, 2006. – Вып. 11. – С. 74-86.
6. Шишкин А.В., Шишкин С.А. Оптимизация маневра расхождения судов с помощью муравьиного алгоритма, Судовождение, вып. 26, 2016 г. С. 157–165
7. COLREGS-Based Navigation of Autonomous Marine Vehicles Michael R. Benjamin, Joseph A. Curcio <http://oceanai.mit.edu/mikerb/publications/auv04.pdf>
8. <http://maritimecloud.net/>
9. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG), 20 October 1972

**СЕКЦІЯ:**  
**КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД В ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ**  
**ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ**

## **ПРО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГРАФІЧНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ СТУДЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ ТА МОРСЬКИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

**Бредньова В.П.**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
(Україна);

**Кошарська Л.В.**

*Одеський національний морський університет*  
(Україна);

**Лизіна Т.А.**

*УТК «Адмірал»*  
(м.Одеса, Україна)

**Вступ.** На сучасному етапі реформування системи вищої школи є реалізація компетентного підходу в освіті, а саме, формування у майбутніх фахівців професійних компетентностей. В першу чергу, на наш погляд, для студентів будівельного та морського профілів професійні компетентності – це графічна підготовка, змістовність та якість якої повинна забезпечити загально технічна дисципліна «Інженерна графіка». Перша частина цієї дисципліни «Нарисна геометрія» є найкращим засобом розвитку і удосконалення просторового уявлення, що грає досить вагому роль в будь-яких творчих процесах, а також сприяє здобутку теоретичних і практичних знань правил виконання креслень, що надаються в формі понять про сутність здобуття просторових та плоских зображень, про методи проєкціювання і принципи побудови зображень, основні положення графічних стандартів тощо [1]. Формування просторових уявлень надає можливість розвивати результативні способи перероблення інформації - візуалізації, які у значній мірі зберігають час. У цьому є унікальність та універсальність графічних дисциплін, їх позитивний вплив на процес мотивованого придбання індивідуальних необхідних компетенцій. Графічні дисципліни найбільш ефективно та цілеспрямовано допомагають оволодіти високим рівнем знань, вмінь та навиків в галузі засвоєння способів передачі інформації графічною мовою.

Не відмовляючись від існуючих поглядів у дослідженні стану проблеми формування у вищій школі графічних компетенцій [2], необхідно підкреслити, що вони не утворюються самостійно. Основою цього є відпрацьована система організації навчального процесу і самостійної аудиторної роботи студента (СРС), тобто для професійного самостановлення, саморозвитку і самореалізації вмотивованої особистості майбутнього фахівця досить велику частину контактного часу «студент-викладач» повинна займати активна індивідуальна СРС. Мотивація визначає мету та задачі студента у змістовному консультативному спілкуванні з викладачем, наприклад, в набутті навиків розв'язання позиційних або метричних задач з раціональним вибором способу рішення; у виконанні наочних зображень геометричних форм в аксонометричних чи перспективних проєкціях тощо.

У наданій роботі узагальнюються результати експериментальних досліджень 2014-2015 і 2015-2016 навч.р якості графічних компетенцій студентів 1-х і 2-х курсів будівельних (всього 160 студентів, в тому числі 12 іноземних) та морських спеціальностей (всього 55 студ., в тому числі 8 – іноземних) загальною кількістю 215 студентів. На практичних заняттях за єдиним планом виконувались завдання у вигляді експрес-контролю знань та навиків студентів у розв'язанні тестових питань. В режимі самостійної поза аудиторної роботи під керівництвом викладача контролювався час та якість виконання графічного завдання. Аналіз результатів показав важливість та корисність активізації СРС, яка сприяла інтенсифікації розвитку індивідуального технічного та логічного мислення, формуванню самоконтролю при необхідності грамотного і якісного

виконання креслень у відведений час. В цілому при узагальненні було одержано до 50 % правильних та якісних відповідей

Таблиця 1 – Аналіз вибіркового експериментальних результатів успішності

<i>Спеціальність</i>	<i>«Відмінно»</i>	<i>«Добре»</i>	<i>«Задовільно»</i>	<i>Примітки</i>
Будівельні (160 студ.)	42 студ. 26,2%	56 студ. 35%	62 студ. 38,8%	12 інозем. студ. (в тому числі)
Морські (55 студ.)	12 студ. 21,8%	19 студ. 34,6%	24 студ. 43,6%	8 ін.студ.

**Висновки:** Формування професійних графічних компетенцій в освітньому вищому просторі потребує урахування важливих принципів мотивації, активності, самостійності та творчості студента у навчанні. Сучасні темпи розвитку в цілому суспільства потребують високий рівень професійних компетенцій молодих фахівців, в набутті яких велику роль відіграє графічна грамотність. Мобільні та висококваліфіковані спеціалісти становляться основним ресурсом економічного розвитку держави

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бредньова В. П., Бредньов А. М. Про компетентісний підхід до методології викладання графічних дисциплін для студентів-першокурсників будівельних спеціальностей. Матер. XXI Міжнар. Наук.-метод. конф. «Управління якістю підготовки фахівців», 2016 р. / ОДАБА. – Одеса, 2016. – Ч. 2. – С. 27-28.

2. Ермилова Н. Ю. Теоретические основы формирования графических компетенций будущего инженера // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28)



## АНАЛИЗ ИНДЕКСА ХИРША ОЦЕНКИ ВКЛАДА УЧЕНОГО В НАУКУ

*Левин В.И.*

*Пензенский государственный технологический университет  
(г. Пенза, Россия)*

Несколько лет тому назад ученый секретарь одного диссертационного совета, в котором я заседаю, при очередной встрече огорошил меня фразой: «Виталий Ильич, а Вы знаете, что у Вас самый большой в институте Хирш?». От неожиданности и неблагозвучности сказанного я смутился и густо покраснел. Тогда мне объяснили, что такое индекс Хирша, какой это замечательный показатель научных достижений ученого и какое у этого показателя большое будущее. С тех пор прошло много времени, индекс Хирша стал первым и основным показателем, по которому государственные учреждения в России и за рубежом оценивают достижения ученого. При этом Минобрнауки России проталкивает этот показатель фактически силой. В то же время многие авторитетные ученые как в России, так и за рубежом решительно возражают против использования этого, а также других наукометрических показателей для оценки достижений ученых. По нашему мнению, настало время разобраться, является ли индекс Хирша действительно показателем научных достижений ученого, что именно он показывает, какова его эффективность, стоит ли применять его на практике или его следует выкинуть, как многое другое, продвигаемое бюрократами.

Эти же вопросы вызывают и все другие наукометрические показатели научной деятельности.

Индекс Хирша ( $h$ -индекс) научного работника есть наибольшее число  $n$  его статей, таких, что на каждую из них имеется не менее  $n$  ссылок. Рассмотрим простой пример.

Пример 1. Научный работник имеет 12 опубликованных статей, распределение ссылок на которые представлено в таблице цитирований (табл. 1). Эта таблица дает локальное распределение ссылок на статьи.

Таблица 1 – Таблица цитирований

Статьи $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число ссылок на статью $a_i$	2	1	2	3	2	4	1	4	5	5	5	5

Вычислим  $h$ -индекс этого работника. Разобьем множество статей на наборы, состоящие из статей с одинаковым числом ссылок:

$$\{2,7\}_1, \{1,3,5\}_2, \{4\}_3, \{6,8\}_4, \{9,10,11,12\}_5. \quad (1)$$

Таким образом, имеются две статьи – 2 и 7, имеющие каждая по 1 ссылке; три статьи – 1, 3 и 5, имеющие по 2 ссылки; одна статья – 4, имеющая 3 ссылки, две статьи – 6 и 8, имеющие по 4 ссылки, четыре статьи – 9, 10, 11 и 12, имеющие по 5 ссылок. Из перечисленных наборов статей три последних (они подчеркнуты) являются приемлемыми, поскольку в них число ссылок на одну статью не меньше числа статей в наборе, так что эти наборы следует использовать для вычисления  $h$ -индекса. Другие приемлемые наборы, можно получить объединением уже имеющихся по формуле:

$$\{a, b, \dots, d\}_R \cup \{\alpha, \beta, \dots, \delta\}_Q = \{a, b, \dots, d, \alpha, \beta, \dots, \delta\}_{\geq P}, \quad (2)$$

где  $P = \min(R, Q)$ .

Символ  $\{\circ\}_{\geq P}$ , в формуле (2) означает, что на каждую статью в фигурной скобке имеется не менее  $P$  ссылок. Чтобы объединение приемлемых наборов  $\{\circ\}_R$  и  $\{\circ\}_Q$  дало снова приемлемый набор, нужно, чтобы  $P = \min(R, Q)$  было не меньше числа статей в

объединенном наборе. Таким образом, в нашем примере, кроме указанных трех приемлемых наборов, можно получить еще один такой набор, объединив по формуле (2) третий и четвертый наборы из списка (1). Новый набор имеет вид:

$$\{4,6,8\}_{\geq 3}, \quad (3)$$

Т.е. в него входят три статьи – 4,6 и 8, на каждую из которых имеется не менее 3 ссылок. Окончательный список приемлемых наборов научного работника таков:

$$\{4\}_3, \{6,8\}_4, \{4,6,8\}_{\geq 3}, \underline{\underline{\{9,10,11,12\}_5}}. \quad (4)$$

Теперь для подсчета индекса Хирша научного работника ( $h$ -индекса) остается выбрать из списка (4) набор с наибольшим числом статей. Это число и будет значением искомого индекса. Выбранный набор в списке (4) дважды подчеркнут; в нем 4 статьи. Таким образом,  $h$ -индекс работника:

$$h = 4. \quad (5)$$

Заметим, что приемлемые наборы можно получать также разбиением неприемлемых наборов по формуле:

$$\{a,b,\dots,d,\alpha,\beta,\dots,\delta\}_R = \{a,b,\dots,d\}_R \cup \{\alpha,\beta,\dots,\delta\}_R. \quad (6)$$

Действительно, несмотря на неприемлемость левого набора в (6), по крайней мере, один из правых наборов можно сделать приемлемым, выбрав в нем такое число статей  $n$ , что  $n \leq R$ . Полученные этим путем приемлемые наборы в общем случае следует использовать наряду с уже имеющимися для вычисления  $h$ -индекса. В рассмотренном примере это не было сделано потому, что разбиение двух имеющихся в нем неприемлемых наборов на приемлемые согласно (6) давало четыре набора:

$$\{2,7\}_1 = \{2\}_1 \cup \{7\}_1, \quad \{1,3,5\}_2 = \{1,3\}_2 \cup \{5\}_2$$

с числом статей в каждом, не превышающим максимального числа статей в уже имеющихся приемлемых наборах. Так что это разбиение не повлияло бы на значение  $h$ -индекса. Однако в других случаях для получения правильного значения  $h$ -индекса следует учитывать все существующие приемлемые наборы статей, независимо от источника их получения. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим еще один пример.

Пример 2. Научный работник имеет 6 опубликованных статей, таблица цитирований которых представлена табл. 2.

Таблица 2 – Таблица цитирований

Статьи $i$	1	2	3	4	5	6
Число ссылок на статью	3	3	3	3	4	5

Как в примере 1, разобьем множество статей на наборы статей с одинаковым числом ссылок:

$$\{1,2,3,4\}_3, \underline{\underline{\{5\}_4}}, \underline{\underline{\{6\}_5}}. \quad (7)$$

Так что есть четыре статьи – 1,2,3,4, имеющие по 3 ссылки каждая; одна статья – 5, имеющая 4 ссылки, и одна статья – 6, имеющая 5 ссылок. Из этих наборов два последних (они подчеркнуты) являются приемлемыми.

Используем сначала для подсчета индекса Хирша ( $h$ -индекса) работника уже имеющиеся в списке (7) приемлемые наборы. Тогда для получения этого индекса надо выбрать из приемлемых наборов набор с наибольшим числом статей – это число и будет значением индекса. Ясно, что в данном случае можно выбрать любой из двух имеющихся в списке (7) приемлемых наборов, и мы получаем:

$$h = 1. \quad (8)$$

Теперь используем для подсчета индекса Хирша, в дополнение к имеющимся в списке (7) приемлемым наборам, новые приемлемые наборы, полученные объединением имеющихся. В данном случае возможно лишь одно объединение – двух последних

наборов списка (7). Объединяя их по формуле (2), получаем один новый приемлемый набор:

$$\{5\}_4 \cup \{6\}_5 = \{5,6\}_{\geq 4}, \quad (9)$$

так что список наборов (7) расширяется и преобразуется в новый список:

$$\{1,2,3,4\}_3, \underline{\{5\}_4}, \underline{\{6\}_5}, \underline{\{5,6\}_{\geq 4}}, \quad (10)$$

в котором уже три приемлемых набора (все они подчеркнуты). Как и раньше, выбираем из списка (10) приемлемый набор с наибольшим числом статей (четвертый набор) и это дает нам индекс Хирша  $h$ . Так что:

$$h = 2. \quad (11)$$

Наконец, используем для подсчета индекса Хирша, в дополнение к имеющимся в списке (10) приемлемым наборам, новые приемлемые наборы, получаемые разбиением неприемлемых наборов. В данном случае возможно лишь одно подходящее разбиение единственного неприемлемого набора списка (10) – первого набора, которое мы и получаем по формуле (6):

$$\{1,2,3,4\}_3 = \{1,2,3\}_3 \cup \{4\}_3. \quad (12)$$

Таким образом, список наборов (10) снова расширяется, преобразуясь в новый список:

$$\underline{\{4\}_3}, \underline{\{5\}_4}, \underline{\{6\}_5}, \underline{\{5,6\}_{\geq 4}}, \underline{\{1,2,3\}_3}. \quad (13)$$

В новом списке все наборы приемлемы (они подчеркнуты). Выбирая как и раньше, приемлемый набор с наибольшим числом статей (пятый набор), принимаем это число за индекс Хирша  $h$ . Итак,

$$h = 3. \quad (14)$$

Окончательно, в качестве значения индекса Хирша научного работника принимаем то значение, которое получено с учетом всех существующих приемлемых наборов, т.е. значение (14).

Возможен другой, более наглядный метод расчета индекса Хирша  $h$ , отличный от описанного выше. Он основан на использовании интегрального распределения ссылок на статьи, в отличие от локального, использовавшегося выше. Этот метод опишем на нижеследующем примере.

Пример 3. Для научного работника, данные о котором приведены в примере 1, построим интегральное распределение ссылок на его статьи. Из табл. 1 видно, что  $n$  статей работника, на каждую из которых имеется  $m \geq 0$  ссылок, составляет 12. Так же видно, что число  $n$  статей, на каждую из которых есть  $m \geq 1$  ссылка, равно 12; число  $n$  статей, на каждую из которых есть  $m \geq 2$  ссылок, равно 10 и т.д. Собрал все эти числа вместе, получим табл. 3, которая и представляет собой интегральное распределение ссылок на статьи научного работника.

Таблица 3 – Интегральное распределение ссылок на статьи

Число статей $n$	12	12	10	7	6	4	0
Число ссылок $m$	$\geq 0$	$\geq 1$	$\geq 2$	$\geq 3$	$\geq 4$	$\geq 5$	$\geq 6$

Определение индекса Хирша  $h$ , данное выше, можно теперь записать формально в виде в виде:

$$h = n_{\max} : m \geq n, \quad (15)$$

где  $n$  – число статей,  $m$  – число ссылок. Из формулы (15) следует, что для вычисления индекса Хирша достаточно: 1) построить интегральное распределение ссылок на статьи; 2) выделить в этом распределении столбец с максимальным значением верхнего числа,

при котором ниже число все еще больше верхнего (или равно ему); 3) зафиксировать указанное значение верхнего числа – это и будет индекс Хирша научного работника.

Пример 4. Вычислить индекс Хирша научного работника из примера 3.

Шаг 1 описанного алгоритма уже выполнен (см. табл.3). Шаг 2: требуемый столбец табл.3, подлежащий выделению, - это шестой слева столбец. Шаг 3: в выделенном столбце верхнее число равно 4. Таким образом, индекс Хирша научного работника:

$$h = 4$$

Этот результат был получен выше, в примере 1, другим способом.

Мы убедились, что для каждого научного работника по распределению ссылок на его статьи можно вычислить соответствующее значение индекса Хирша. Таким образом, формально индекс Хирша можно рассматривать как некоторый показатель, характеризующий деятельность научного работника. Однако для того, чтобы применять этот показатель на практике, нужно знать, что именно он показывает. Этим вопросом мы займемся в следующем разделе.

В своей работе [1] Дж. Хирш всячески превозносит свой индекс, приписывая ему множество достоинств и не отмечая ни одного недостатка. Так, он пишет, что  $h$ -индекс представляет собой «легко вычисляемую величину, которая дает оценку важности, значимости и масштаба влияния совокупного вклада ученого в науку». Далее он добавляет, что «этот показатель может служить полезным средством для сравнения различных лиц, конкурирующих за один и тот же ресурс, когда критерием оценки являются научные достижения». Более того, Хирш пишет: «Я утверждаю, что два человека, имеющие одинаковую величину  $h$ , сопоставимы с точки зрения их научного вклада, даже если их общее число статей или общее число цитирований очень разные. И наоборот, из двух людей с одинаковым числом цитирований и сильно различающимися значениями  $h$  тот, у кого  $h$  больше, вероятно, является ученым более высокого уровня». Наконец, Хирш утверждает, что « $h$ -индекс предпочтительнее других численных критериев, которые обычно используются для оценки научной деятельности исследователей», поскольку он представляет собой «критерий с одним числом».

Критика предложенного Хиршем  $h$ -индекса появилась почти одновременно с самим индексом. Застрельщиками ее выступили математики [2], которые раскритиковали, наряду с  $h$ -индексом, и все остальные библиометрические показатели (импакт-фактор, индекс цитирования и др.). Так, на обоснование Хиршем утверждения, что  $h$ -индекс является мерой важности и значимости вклада ученого в науку, путем использования данных о высоком  $h$ -индексе у лауреатов Нобелевской премии и членов Национальной АН, его критики справедливо указывают, что обратное утверждение здесь неверно, т.е. из высокого  $h$ -индекса ученого не следует, что он обязательно станет лауреатом Нобелевской премии или членом Национальной АН. А без этого считать  $h$ -индекс состоятельным показателем вклада ученого в науку нельзя. На утверждение Хирша о возможности сравнения вклада двух ученых в науку путем сравнения их  $h$ -индексов ему приводят следующий контрпример. Пусть у одного ученого 10 работ, на каждую из которых есть 10 ссылок, а у другого – 10 работ, на каждую из которых есть 100 ссылок. Тогда  $h$ -индексы обоих ученых равны и составляют 10 единиц. Однако утверждать на этом основании, что вклад обоих ученых в науку одинаков, значит противоречить здравому смыслу – ведь на работы второго ученого в 10 раз больше ссылок, чем на работы первого ученого! Так же не проходит, по мнению критиков Хирша, его уверение о якобы «предпочтительности»  $h$ -индекса по сравнению с другими критериями оценки научной деятельности, как «критерия с одним числом». Да, - говорят критики, -  $h$ -индекс, как показатель с одним числом, делает формально сравнимыми любых двух ученых. Однако, во-первых, такие сравнения, как показывает приведенный числовой пример, не всегда адекватны. А во-вторых, и это главное, целью библиометрики является, в первую очередь, понимание сущности исследований, а не сравнение участвующих в них ученых. Специалисты по библиометрике проанализировали  $h$ -индекс, с точки зрения его соотношений с другими

библиометрическими показателями, и пришли к выводу, что он якобы хорошо коррелирует с ними (с количеством опубликованных работ, общим числом цитирований и др.) [2]. Но тогда возникает вопрос: зачем нужен еще один библиометрический показатель (*h*-индекс), который, вопреки его создателю, не лучше прежних, а повторяет их в своих основных чертах? Кроме того, существование указанной корреляции вызывает сомнение.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Hirsch J.E. An index to quantify an individuals research output // Proc. Nat. Acad.Sci. USA. – 102(2006). – No 46. – P. 16569-16573.
2. Игра в цифирь, или как теперь оценивают труд ученого: сборник статей о библиометрике. – М.: МЦНМО. 2011. – 72 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ МОРСКОГО АГЕНТА КАК ОПЕРАТОРА СЕРВИСНОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Петров И.М.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** В деятельности агентских компаний, образующих сервисные эргатические системы (СЭС), большая роль отведена их операторам, какими являются, в том числе, морские агенты. Качество выполнения ими эргатических функций по эффективному обслуживанию судов в немалой степени зависит от их профессиональной направленности (далее—ПНА - профессиональная направленность агента). Поэтому в менеджменте агентской компании вопросам, связанным с ПНА, должно всегда уделяться пристальное внимание. Особенно это относится к вновь принятым на работу сотрудникам, только окончившим курс обучения в ВУЗах и обладающих определенным уровнем знаний, умений и навыков.

Согласно данным наших исследований, процесс формирования профессиональной направленности начинающего работника агентской компании с высшим образованием составляет от 3-х до 5-и лет практической деятельности, после которой он из квалифицированного специалиста превращается в специалиста компетентного, способного в полной мере реализовать и использовать свой потенциал в работе. В современных условиях жесткой конкуренции в сервисном сегменте агентские компании не могут себе позволить такое продолжительное время подготовки, что создает проблему формирования структуры ПНА на начальном этапе его работы в компании.

**Актуальность исследований.** Предшествующий анализ литературных источников показал, что рассмотрение проблемы формирования структуры профессиональной направленности специалистов проводилось целым рядом отечественных и зарубежных исследователей. Однако большинство работ ограничиваются педагогическими и психологическими аспектами, и к ПНА, как оператора СЭС, не относятся. Таким образом, вопросы формирования структуры ПНА равно как эргономические, организационные, технологические подходы к его деятельности почти не изучены, что обусловило актуальность исследования.

**Постановка задачи.** Объект исследования: СЭС обеспечения производственной деятельности морских транспортных средств.

Предмет исследования: ПНА и формирование ее структуры.

Цель исследования: Повышение эффективности профессиональной деятельности морского агента (ПДА) на основе сформированной структуры ПНА, как оператора СЭС.

**Результаты исследования.** Деятельность морского агента, как оператора СЭС, протекает одновременно в двух сферах – «человек – техника» и «человек – человек». В них, в том числе, происходит развитие ПНА.

Понятие «профессиональная направленность» стало употребляться в середине XX века. Первым этот термин был сформулирован в 1946 г. С.Л. Рубинштейном, который указывал, что «проблема направленности – это, прежде всего, вопрос о динамических тенденциях, которые в качестве мотивов определяют человеческую деятельность, сами, в свою очередь, определяясь ее целями и задачами» [1].

Позднее эта формулировка претерпела уточнения со стороны ряда ученых [2, 3, 4]. В наших исследованиях за основу взято удачное определение Ю. А. Афонькиной: «Профессиональная направленность – это система устойчивых свойств человека как настоящего или будущего субъекта труда, определяющих его психологический склад, обеспечивающих его активность по конструированию собственной (потенциальной или актуальной) профессиональной деятельности, выступающая движущей силой

профессионального самоопределения» [5]. А. Н. Томилин определяет профессиональную направленность, как «систему сформированных, устойчивых мотивов, интересов, потребностей, склонностей, побуждающих к эффективной профессиональной деятельности, проявляющейся в сформированных свойствах личности, где профессиональные характеристики реализуются как когнитивно-личностные новообразования, возникающие в процессе профессиональной деятельности» [6].

До настоящего времени в деятельности специалиста применялась традиционная модель формирования профессиональной направленности. Применительно к морскому агенту она может быть разбита на несколько этапов, характеристика которых сформулирована нами и приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика этапов формирования ПНА

Этапы формирования ПНА	Компоненты этапов, проходимых агентами в процессе формирования ПНА
Начальный	Решение освоить профессию агента, выбрать конкретную специализацию; эмоциональный настрой, эпизодический, ситуативный интерес, предметная установка и формирование отдельных трудовых подходов и привычек; недостаток самостоятельности и инициативы.
Начало формирования ПНА	Четкая установка на профессию агента; устойчивость интересов; проявление профессиональных наклонностей, интерес к практической стороне; определение общего направления агентирования на базе сформировавшейся цели; выработка уверенности и самостоятельности; формирование ответственности.
Процесс формирования ПНА	Твердая установка на профессию агента, устойчивость интересов; проявление профессиональных наклонностей; увлеченность агентской деятельностью; осознанное развитие и самоутверждение начинающего агента через систематизированный добросовестный труд в агентской компании.
Окончательное формирование ПНА	Сформировавшееся увлечение профессией агента и мировоззрение; «проращение» работника в агентирование; развитие способностей к профессии, призванию, высокого мастерства, профессиональной идеализации; наличие твердой убежденность в правильности профессионального выбора.

В начале профессиональной деятельности начинающего свою карьеру морского агента основной задачей должно стать нивелирование и устранение недостатков профессионального воспитания в ВУЗе, которые у некоторой части начинающих агентов проявляются в недооценке профессии как социальной ценности, слабом интересе к работе или же отсутствии его, что снижает развитие организаторских навыков, деловитости, оперативности, подавляет инициативность, умение работать с людьми, затягивает (на 3–4 года) процесс адаптации в агентской компании.

Перейдя к попытке сформировать структуру ПНА и провести ее анализ, отметим, что среди ученых существует множество точек зрения на состав компонентов профессиональной направленности. В качестве структурных компонентов профессиональной направленности могут быть выделены интересы, склонности, стремления, намерения, мотивы и ценностные ориентации. Динамическая сторона профессиональной направленности отражена в содержательно-процессуальной модели Н. С. Пряжникова [7]. Динамику развития ПНА поможет представить выделение и обоснование ее основных структурных элементов. Очевидно, что должна быть учтена иерархия компонентов профессиональной направленности. По – Э. Ф. Зееру [8], это: мотивы (намерения, интересы, склонности, идеалы); ценностные ориентации (смысл

труда, заработная плата, благосостояние, квалификация, карьера, социальное положение); профессиональная позиция (отношение к профессии, установки, ожидания, готовность к профессиональному развитию); социально-профессиональный статус.

В исследованиях А. Маслоу и его последователя Ф. Херцберга, в структуре профессиональной направленности особенно выделяются факторы-«мотиваторы», действие которых направлено на достижение целей в рамках профессиональной деятельности [9, 10]. Л. И. Кунц [11] помогает нам сделать вывод о том, что профессиональная направленность есть интегральное явление, содержащее целевой, эмоциональный, интеллектуальный, волевой и контрольно-оценочный компоненты

На основании анализа литературных источников и руководствуясь собственным практическим опытом в рассматриваемой сфере функционирования СЭС, мы придерживались точки зрения, что системообразующим компонентом ПНА является мотив, который влияет на формулирование и постановку целей и намерений начинающим агентом, что помогает ему, в конечном итоге, развивать и совершенствовать личные профессионально – важные качества. ПНА также включает в себя следующие компоненты: намерения (цели), индивидуальные психофизиологические качества (склонности, способности), и имеет структуру, представленную на рис. 1. Все они представляют в начале ПДА внутренние проявления личности агента.

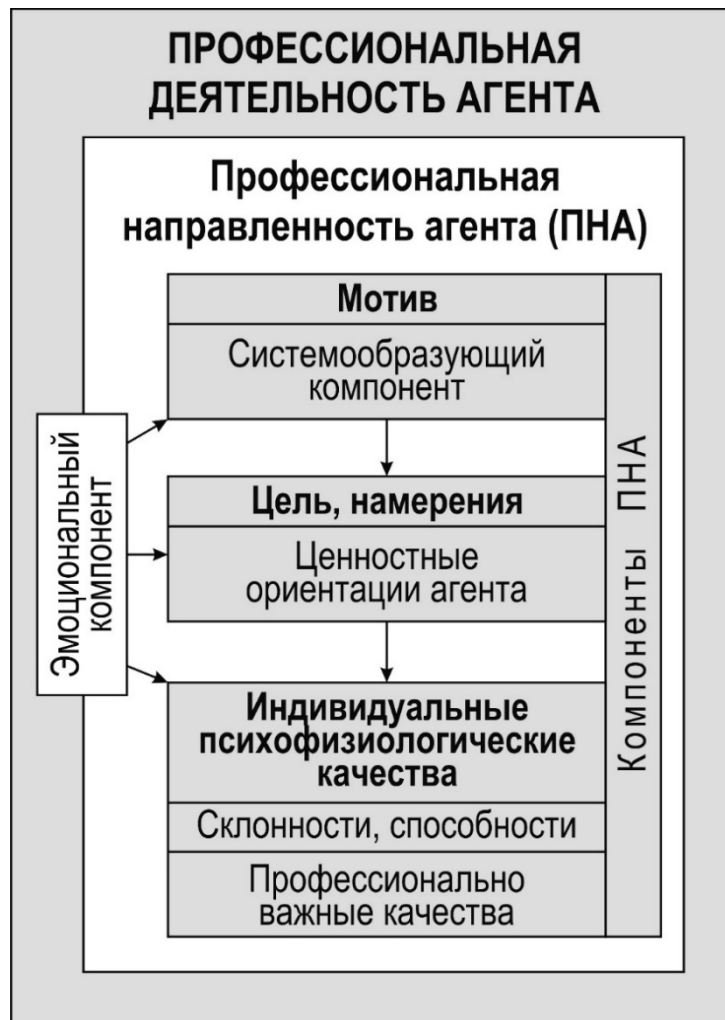


Рисунок 1 – Структура профессиональной направленности морского агента

Эмоциональный компонент, показанный на рис. 1 на стыке ПНА и ПДА, оказывает влияние на все компоненты ПНА, так как учитывает все многообразие эмоций и переживаний, возникающих в процессе ПДА. Блок с эмоциональным компонентом захватывает область ПДА потому, что в процессе агентской деятельности он может, и



будет приобретать новую качественную характеристику, что связано с развитием у агента профессиональных интересов и навыков в процессе выполнения агентской деятельности, параллельно с уточнением мотивов и намерений.

**Выводы:**

1. Проведенный анализ литературных источников показывает, что вопрос формирования структуры профессиональной направленности специалистов, уже окончивших обучение и погрузившихся в профессиональную среду, исследован недостаточно полно и подробно. Значительно больше работ посвящено профессиональной направленности студентов, обучающихся по соответствующим специальностям. В основном они направлены на профилизацию содержания учебных дисциплин. Что касается профессиональной деятельности морского агента, то настоящее исследование представляет собой первую попытку сформировать структуру ПНА.

2. Менеджмент агентских компаний, позиционирующих себя конкурентоспособными на региональных и локальных рынках агентских услуг, должен уделять вопросам, связанным с ПНА, самое пристальное внимание

3. ПНА выступает основой профессионального облика морского агента и, в свою очередь, активизирует конструирование им самим и околоагентской средой эффективной деятельности по сервисному обслуживанию судов.

4. ПНА представляет собой сложную иерархическую структуру и образует систему, которая сама является подсистемой направленности личности. Системообразующим компонентом ПНА является мотив.

5. Приведенное построение ПНА делает возможным формирование в дальнейших исследованиях модели активизации развития ПНА.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн. - СПб.: Питер, 2002. - 519 с.
2. Асмолов А.Г. Деятельность и установка / А.Г. Асмолов. - М.: Просвещение, 1983. - С. 45-58.
3. Платонов К.К. Структура и развитие личности / К.К. Платонов. - М. : Наука, 1986. - С. 126127.
4. Мерлин В.С. Лекции по психологии мотивов человека / В.С. Мерлин. - Пермь, 1987. - С. 248.
5. Афонькина Ю.А. Генезис профессиональной направленности: автореферат дис. ... д-ра психолог. наук / Ю.А. Афонькина. – СПб, 2003. – 33 с.
6. Томилин А.Н. Военно-педагогическая теория и практика формирования и развития профессиональной направленности офицера-воспитателя [монография] / А.Н.Томилин. - Новороссийск: МГА им адм. Ф.Ф. Ушакова, 2010. – 185 с
7. Пряжников Н.С. Теория и практика профессионального самоопределения/ Н.С. Пряжников. – М.: МГППИ, 1999. – 97 с.
8. Зеер Э.Ф. Личностно ориентированные технологии профессионального развития специалиста: научно-методическое пособие / Э. Ф. Зеер, О. Н. Шахматова; Урал. гос. проф.-пед. ун-т, Урал. гос. науч.-образоват. центр Рос. акад. образования. – Екатеринбург: Издательство УГППУ, 1999. – 244 с.
9. Маслоу, Абрахам. Мотивация и личность / Абрахам Маслоу. – СПб: Евразия, 2001г.- 408 с.
10. Херцберг, Фредерик. Мотивация к работе / Ф. Херцберг, Б. Моснер, Б. Блох Снидерман; пер. с англ. [Д.А. Куликов]. – М.: Вершина, 2007. – 240 с.
11. Кунц Л.И. Практикум по психологии человека / Л.И. Кунц. - Новосибирск: НГПУ, 2013. – 101 с.

## МОТИВАЦІЯ УЧБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КУРСАНТІВ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

**Селіверстова С.Р.**

*Херсонська державна морська академія*  
(Україна);

**Одінцова А.М.**

*Херсонський державний університет*  
(Україна);

**Бойко Л.М.**

*Миколаївський університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова*  
(Україна)

**Вступ.** Прогресуюча тенденція до глобалізації світових інтересів, як у виробництві матеріальних благ так і продуктивних сил і нових відносин потребує нових поглядів і підходів [3]. Це положення пов'язане з сучасним поглядом на завдання освіти. Загострення небезпеки втрати унікальності кожної людини, його здатності вибрати свою долю; неможливість людини засвоїти великі потоки інформації в інформаційному суспільстві; суперництво в досягненні успіхів разом з прагненням до рівності можливостей; проведення ринкових реформ без урахування соціальної орієнтації, потребують мобільності освітницьких підходів.

Нова європейська культура – культура галузева, раціональна. У цій логіці кваліфікація як результат професійної підготовки має наявність у випускника певних професійних умінь і навичок. Вочевидь, що в світлі сучасних вимог до випускника, які складаються під впливом ситуації на ринку праці і таких процесів, як прискорення темпів розвитку суспільства і інформатизації середовища, авторитарно репродуктивна система навчання застаріла. Освіта, орієнтована тільки на отримання знань, означає в даний час орієнтацію на минуле. Сучасна система освіти повинна формувати такі нові якості випускника як ініціативність, інноваційність, мобільність, гнучкість, динамізм і конструктивність. Майбутній професіонал повинен володіти прагненням до самоосвіти протягом усього життя, володіти новими технологіями і розуміти можливості їх використання, вміти приймати самостійні рішення, адаптуватися в соціальному і майбутньому професійному середовищі, вирішувати проблеми і працювати в команді, бути готовим до перевантажень, стресових ситуацій і вміти швидко з них виходити. Виховання такої соціально і професійно активної особистості вимагає від педагогів сучасної вищої школи застосування абсолютно нових методів, прийомів і форм роботи. Щоб сформувати компетентного випускника у всіх потенційно значущих сферах професійної освіти і власне життєдіяльності, необхідно застосовувати активні методи навчання, технології, які розвиватимуть, перш за все, пізнавальну, комунікативну та особистісну активність сучасних студентів [1].

**Постановка завдання.** Актуальність досліджень обумовлена тим, що мотиваційна сфера особистості визначається діяльністю. Для того, щоб діяльність стала компонентом розвитку і саморозвитку, важливо не тільки глибоко розуміти характер її змісту, а й постійно вдосконалювати її мотиваційну сторону, що забезпечить успіх і спрямує активність особистості студента в потрібне русло розвитку [2].

Об'єктом дослідження є мотивація навчальної діяльності студентів. Предмет дослідження - психологічні особливості мотивації навчальної діяльності студентів - бакалаврів морської галузі та умови її розвитку.

Метою даного дослідження є виявлення особливостей мотивації навчальної діяльності студентів-бакалаврів морської галузі та психологічних умов розвитку мотивації протягом навчання у морській академії.

Відповідно до мети та задач дослідження було сформовано гіпотезу дослідження, сутність якої складається у тому, що на різних етапах навчання на енерготехнічному факультеті морської академії відбувається зміна мотивації навчання. У зв'язку з цим, визначення задач дослідження проведено таким чином: визначити поняття мотив і мотивація в науковій психології; дослідити проблему мотивації в юнацькому віці; прослідити специфічні особливості мотивації учбової діяльності та професійної направленості майбутніх моряків.

Дослідження проблеми мотивації навчальної діяльності проводилось на базі Херсонської державної морської академії МОН України. В дослідженні прийняли участь 90 чоловік: 30 чоловік – студенти 1-го курсу, які вступали в ВНЗ на базі повної середньої освіти; 30 чоловік – студенти 3-го курсу, які вступали в ВНЗ на базі повної середньої освіти, і 30 чоловік – студенти 1-го курсу, які вступали до ВНЗ на базі кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст». Кількісний-відсотковий склад вказаних груп - студенти/курсанти енерготехнічного факультету 100% чоловіки від об'єму вибірки.

Дослідження мотиваційної сфери суб'єкта передбачає використання сукупності діагностичних методик і прийомів [4], що дозволяють фіксувати різні мотиваційні компоненти - не тільки мотиви, а й цінності, цілі, інтереси, прагнення, бажання, інші суб'єктивні форми прояву і розвитку мотивів діяльності. Під навчальною мотивацією розуміють окремий вид мотивації, включений в діяльність навчання, учбову діяльність, а мотив навчання розуміється як спрямованість активності (діяльності) студента на ті чи інші сторони навчальної діяльності. Пізнавальні мотиви релевантні навчальній діяльності; професійні мотиви адекватні вченню студента і релевантні його майбутній професійній діяльності. Комплекс експериментальних методик призначений виявити різні мотиваційні компоненти, їх взаємодію і взаємовпливів у загальному мотиваційному синдромі навчання студента.

Методичну базу досліджень склали:

1. Методика А.А. Реана и В.А. Якуніна «Вивчення мотивів учбової діяльності студентів»;
2. Методика самооцінки мотивів учбової та пізнавальної професійної діяльності;
3. Анкета вивчення розвитку пізнавальних та професійних мотивів (за модифікацією Р.С. Вайсмана).

Методика «Вивчення мотивів навчальної діяльності студентів» (А.А. Реан, В.А. Якунін) [1] має на меті визначення частоти вибору того чи іншого мотиву (по всій вибірці). Теоретичне обґрунтування методики полягає у наступному: мотиваційна сфера навчальної діяльності студентів має ієрархічну структуру. Домінуюче становище в ній займають ті мотиви, які при ранжуванні отримують перші місця.

Метод вивчення самооцінки мотивів навчальної, пізнавальної та професійної діяльності - додатковий прийом дослідження мотивів в загальному мотиваційному синдромі навчання студента, може також називатися методикою самооцінки значущості цінностей-цілей навчальної, пізнавальної, професійної діяльності [1]. Значимість приведених мотивів оцінюється в балах, відповідно до суб'єктивної значимості цінностей-цілей навчальної, пізнавальної, або професійної діяльності досліджуваного. Отримані дані обробляються за допомогою підрахунку і зіставлення середніх балів, що показують значимість розглянутих мотивів в групах досліджуваних. Значущими вважаються відмінності в один і більше балів по кожному з мотивів, перерахованих в бланках протоколу.

За анкетною Р. С. Вайсмана, студентам пропонується вказати, яку кількість часу протягом місяця вони реально витрачають і хотіли б витратити на різні перераховані в анкеті види діяльності, якби могли вільно розпоряджатися своїм часом. Для визначення показників величини потреби в знаннях і відповідних мотивів враховувалися тільки бажані витрати часу (для більшої точності відзначалися також і реальні витрати часу) [4].

**Висновки.** За даними проведених досліджень можливо зробити висновки про зміну структури мотивів та їх пріоритетів, а також значний вплив на мотивацію учбового та професійного навчання проходження практичної, тренажерної, плавальної підготовки. Рівень розвитку мотиваційної сфери студента залежить від способів, умов і засобів навчання у ВНЗ, усвідомлення власного сенсу вчення, предметно-рефлексивного ставлення до навчання, суб'єктної активності і суб'єктного відношення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бакшаева Н. А. Психология мотивации студентов / Бакшаева Н. А., Вербицкий А. А. – М. : Логос, 2006. – 184 с.
2. Выготский Л. С. Собрание сочинений: в 6-ти томах. Т.3. / Л. С. Выготский. – М. : Педагогика, 1982. – 367 с.
3. Малхазов О. Р. Психология праці : навч. посібник / О. Р. Малхазов. – К. : НАУ, 2008. – 168 с.
4. Практическая психодиагностика. Методики и тесты : учебное пособие / Ред-сост. Д. Я. Райгородский. – Самара : Изд. Дом «Бахрах», 2002. – 672 с.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

*Терещенко О.В., Стрелковская Л.А., Пуляева А.В.*

*Херсонская государственная морская академия*

(Украина)

**Вступление.** Профессионализм и профессиональная компетентность судового экипажа являются главными составляющими безопасного мореплавания. Размеры современных судов, скорости их движения, оснащённость сложными техническими устройствами и большое количество поступающей информации о текущем состоянии судна возлагает огромную ответственность на экипаж. В связи с этим методы обучения будущих моряков изначально должны быть ориентированы на новые подходы к способам обработки информации. В качестве средства решения этих задач могут выступать информационно-коммуникационные технологии [1].

Необходимость выполнения действующих международных требований по обеспечению безопасности плавания приводит к совершенствованию старых и внедрению новых средств судовождения и навигации, управления судовыми машинами и агрегатами. Процесс информатизации флота вызывает необходимость в постоянном повышении уровня информационных знаний моряков для успешной работы и обеспечения безопасности экипажа.

**Основная часть.** Для практического обучения будущих электромехаников существует множество программных средств, позволяющих решать технические задачи, распространённые в электро-технике, электромеханике, электроэнергетике, такие как Electronics Workbench, Mathcad, Microsoft Office Excel, Elcut и другие. Специфика работы электромеханика заключается в том, что он должен уметь диагностировать оборудование и находить неисправности, при этом использование только программных продуктов не всегда является гарантией принятия правильного решения в конкретной ситуации. Одним из вариантов решения проблемы является моделирование предполагаемых процессов с помощью информационных технологий. Для построения любой модели и ее исследования необходимо разбираться в построении алгоритмов.

Электромеханик в своей профессиональной деятельности обслуживает, регулирует и настраивает довольно сложную аппаратуру. Очевидно, чем сложнее аппаратура, тем большее количество отказов и поломок. Основная задача электромеханика – устранить их, затрачивая при этом минимум времени.

Курсантам в первое время, тяжело оперировать информационными моделями, следовательно, у них возникают сложности и в работе с алгоритмами, где необходимо четко и однозначно описать определенные элементарные операции, логически правильно их выстроить.

В процессе обучения электромехаников информационным технологиям, на примере задач, приближенных к реальным, курсанты учатся читать алгоритмы, корректировать их с учетом особенностей эксплуатации оборудования, анализировать полученные результаты.

Рассмотрим построение алгоритма на примере одной из простых модельных ситуаций: Найти максимальное(критическое) значение температуры холодильного оборудования при осуществлении перехода судна из порта А в порт В, определить порядковый номер (т.е день, когда произведена запись о данном показателе). Показания температуры холодильного оборудования снимаются через определенные промежутки времени. Входные данные:  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – числовая последовательность, показания замеров температуры;  $n$  – число замеров. Выходные данные:  $\max$  – критическое значение,  $k$  – его порядковый номер. Промежуточные данные:  $i$  – целочисленная переменная, принимающая значения от 1 до  $n$  с шагом 1, параметр цикла.

На основе полученных данных курсант моделирует последовательность решения задачи в виде алгоритма следующего вида, представленного на рис. 1. Каждый вид блока предусматривает свое действие, а последовательность выполнения происходит по стрелкам.

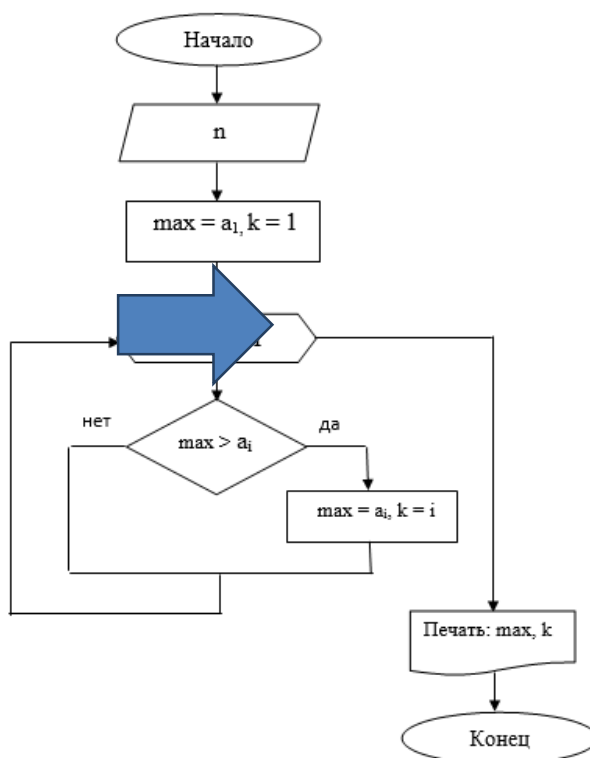


Рисунок 1 – Алгоритм последовательности решения задачи

Алгоритм это универсальный язык для понимания специалистами любого технического направления, поэтому имея правильный алгоритм можно выбрать любой программный продукт для реализации своей задачи и проверить правильность ее решения. Нами был выбран программный продукт Microsoft Excel. Результат предствлен на рис. 2.

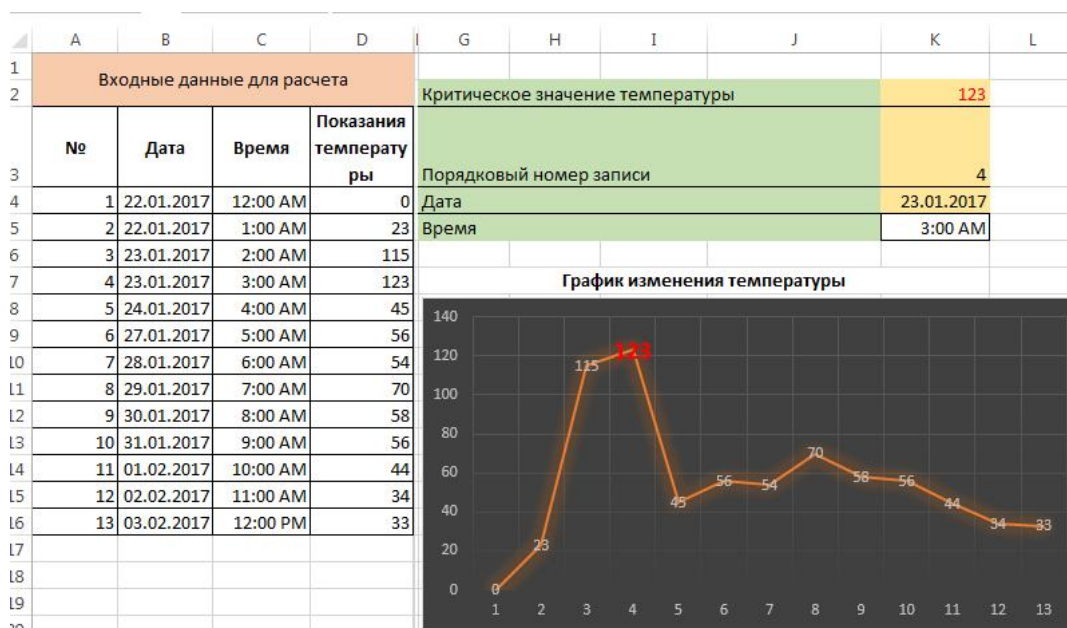


Рисунок 2 – Результат решения задачи

Информатика предлагает новый способ мышления и деятельности человека, позволяет формировать целостное мировоззрение и научную картину мира, и это следует использовать в обучении курсантов [2].

**Выводы.** Таким образом изучение информационных технологий при обучении бакалавров направлено на достижение следующих целей:

1. Приобретение навыков постановки задач для решения любого вида задач с помощью ЭВМ.

2. Получение элементарных знаний о методах математического моделирования и умения строить простые математические модели поставленных задач.

3. Приобретение знаний основных алгоритмических структур и умение применять эти знания для построения алгоритмов решения профессиональных задач по их математическим моделям.

4. Навыки квалифицированного использования основных типов современных информационно-коммуникационных систем для решения с их помощью практических задач, понимание основных принципов, лежащих в основе функционирования этих систем.

5. Умение грамотно интерпретировать результаты решения практических задач с помощью ЭВМ и применять эти результаты в практической деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нуриев Н. К., Старыгина С. Д., Ахметшин Д. А. Дидактическая инженерия: логистика профессионального развития на основе обучения // Образовательные технологии и общество. – 2015. – Т.18. – № 2. – С. 577.

2. Храпаль Л. Р. Организационно- педагогические условия создания информационно-коммуникационной образовательной среды в системе высшего профессионального образования / Л. Р. Храпаль, К. Ш. Шарифзянова, Ф.Ш. Мухаметзянова // Казанский педагогический журнал. – 2013. – № 4. – С. 21-27.

**СЕКЦІЯ:**  
***ТРЕНАЖЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР НА ТРАНСПОРТІ***



## ПРО ВПЛИВ ТЕМПЕРАМЕНТУ ВОДІЯ НА ЧАС ЙОГО РЕАКЦІЇ

*Гюлев Н.У.*

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
(Україна)*

**Вступ.** Безпека і надійність роботи транспортної системи залежить від безперервної, якісної роботи всіх її елементів. У більш ніж в 70% випадків, збої і відмови в цій системі відбуваються з вини водія. Тому при проектуванні транспортної системи та організації дорожнього руху особлива увага повинна бути приділена психофізіології водія і особливостям його діяльності.

**Актуальність досліджень.** Технологія організації дорожнього руху в містах повинна передбачити проїзд транспортних засобів без затримок. Однак на багатьох ділянках вулично-дорожньої мережі міст відбувається утворення численних черг транспортних засобів, які приводять до появи транспортних заторів. Затори утворюються внаслідок перевищення інтенсивності руху транспортного потоку над пропускною спроможністю окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. Перебування в транспортному заторі чинить негативний вплив на психофізіологію водія, призводить до погіршення його функційного стану, зростання часу реакції і до підвищення ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди [1,2].

Час реакції водія грає важливу роль в забезпеченні безпеки дорожнього руху [3]. Від нього залежить гальмівний шлях автомобіля.

Одним з найбільш значущих чинників, що роблять негативний вплив на функційний стан водія, є транспортний затор [4].

Такі якості водія як час реакції, стаж роботи, темперамент у своїх дослідженнях розглядали автори робіт [2, 6, 7].

Перебування в транспортному заторі негативно впливає на психофізіологічні якості водія. Зростання емоційної напруженості призводить до тимчасового розладу деяких його психічних функцій, збільшуючи час реакції [8-12].

**Постановка проблеми.** Збільшення часу реакції водія призводить до збільшення динамічного габариту автомобіля, від якого залежить інтервал руху між сусідніми автомобілями в транспортному потоці [13]. Збереження водієм колишнього динамічного габариту після виходу з транспортного затору може привести до виникнення дорожньо-транспортної пригоди.

Однак не всі водії реагують однаково на перебування в заторі. В основі їхньої поведінки або зміни функційного стану знаходяться індивідуально-типологічні властивості або темперамент [5].

Це свідчить про важливість проведення досліджень з оцінки впливу темпераменту водія на час його реакції водіїв.

**Результати досліджень.** На функційний стан водія і, відповідно, на час його реакції істотно впливають індивідуально-типологічні властивості й темперамент.

Для проведення досліджень щодо оцінювання впливу затору на час реакції були відібрані водії з різними темпераментами: холерик, сангвінік, меланхолік і флегматик.

Для оцінки впливу дорожніх заторів на время реакції водіїв різних темпераментів і вікових груп були розроблені регресійні моделі [14].

На рисунках 1–4 наведено результати досліджень змінювання часу реакції сорокарічних водіїв різного темпераменту у заторах залежно від рівня стомлення ( $P_{cn}$ ). Рівень стомлення за методом Р.М. Баєвського [15].

При початковому рівні стомлення рівному двом балам тенденція змінювання часу реакції водіїв усіх темпераментів у транспортному заторі, подана на рис. 1.

На рис. 1 час реакції водіїв усіх темпераментів змінюється однаково до третьої хвилини транспортного затору, а на рис. 2 – до шостої. Далі час реакції водіїв зростає і

наприкінці транспортного затору сягає таких значень (рис. 1): у водія-холерика – 0,48 с, у водія-сангвініка – 0,26 с, у водія-меланхоліка – 0,08 с і у водія-флегматика – 0,05 с.

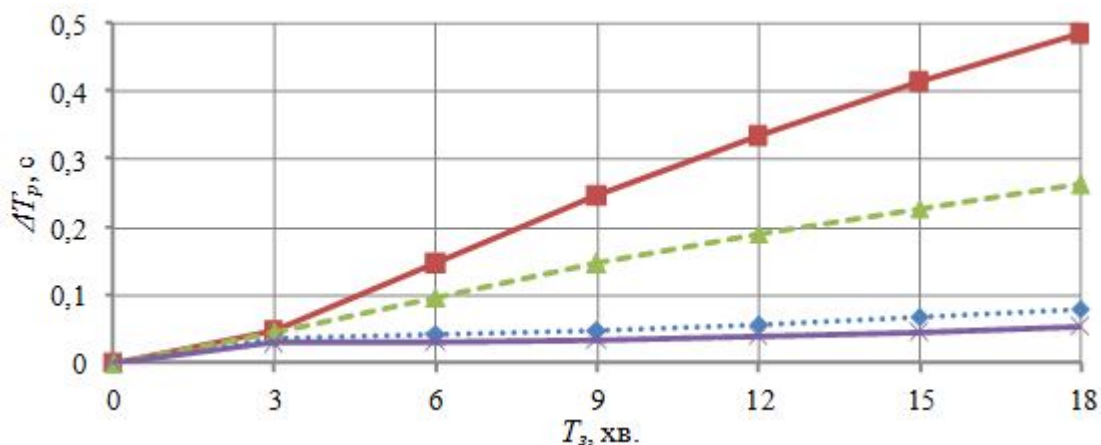


Рисунок 1 – Залежність змінювання часу реакції водіїв (вік 40 років) у транспортному заторі при  $P_{cn} = 2$ :

◆ – меланхолік; ■ – холерик; ▲ – сангвінік; ✕ – флегматик

На рис. 2 час реакції змінюється так: у водія-холерика він становить 0,22 с, у водія-сангвініка – 0,13 с, у водія-меланхоліка – 0,07 с і у водія-флегматика – 0,05 с.

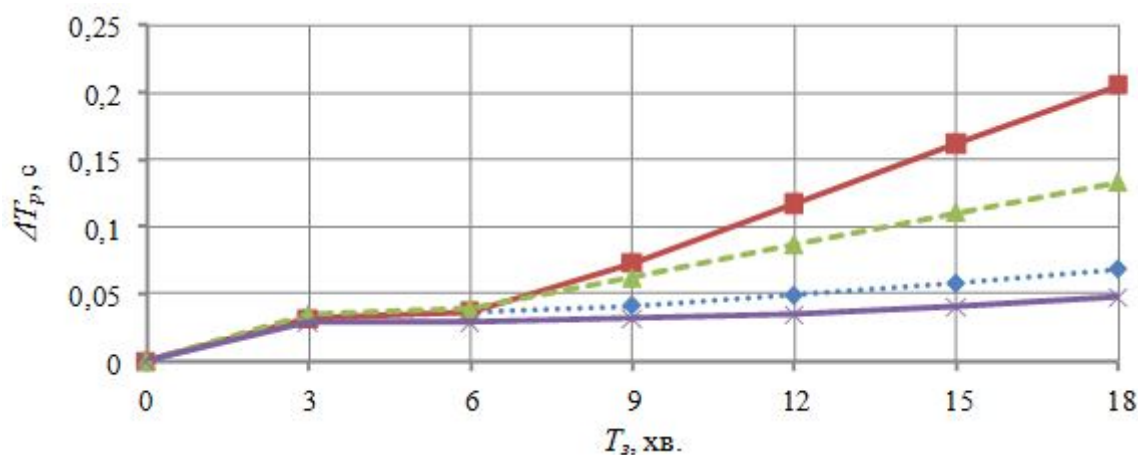


Рисунок 2 – Залежність змінювання часу реакції водіїв (вік 40 років) у транспортному заторі при  $P_{cn} = 4$ :

◆ – меланхолік; ■ – холерик; ▲ – сангвінік; ✕ – флегматик

До третьої хвилини дорожнього затору час реакції водіїв всіх темпераментів змінюється однаково.

Якщо рівень стомлення на початку транспортного затору становить п'ять балів, то у сорокарічних водіїв час реакції в заторі буде змінюватися так (рис. 3): у водіїв усіх темпераментів до третьої хвилини затору час реакції трохи збільшиться, далі до шостої хвилини буде відбуватися вирівнювання часу реакції у водія-холерика і водія-сангвініка. Потім час реакції у них зросте і відповідне змінювання цього часу у холерика буде становити 0,14 с, а у сангвініка – 0,1 с. Час реакції меланхоліка і флегматика поступово збільшиться, а змінювання часу реакції у них до кінця затору буде дорівнювати 0,062 і 0,042 с.

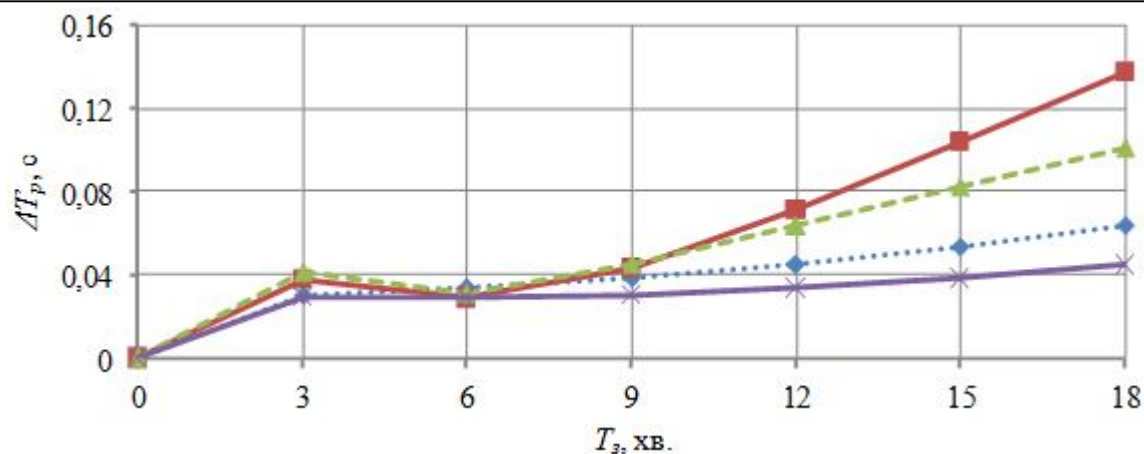


Рисунок 3 – Залежність змінювання часу реакції водіїв (вік 40 років) у транспортному заторі при  $P_{cn} = 5$ :

◆ – меланхолік; ■ – холерик; ▲ – сангвінік; ✕ – флегматик

На рис. 4 час реакції водія-холерика і водія-сангвініка також зростає до третьої хвилини затору, потім знижується у водія-сангвініка до шостої хвилини, а у водія-холерика – до дев'ятої хвилини, далі знову зростає, сягаючи наприкінці затору 0,092 с і 0,078 с відповідно. Потрібно зазначити, що до тринадцятої хвилини затору відповідне змінювання часу реакції обох водіїв вирівнюється, сягаючи значення 0,057 с.

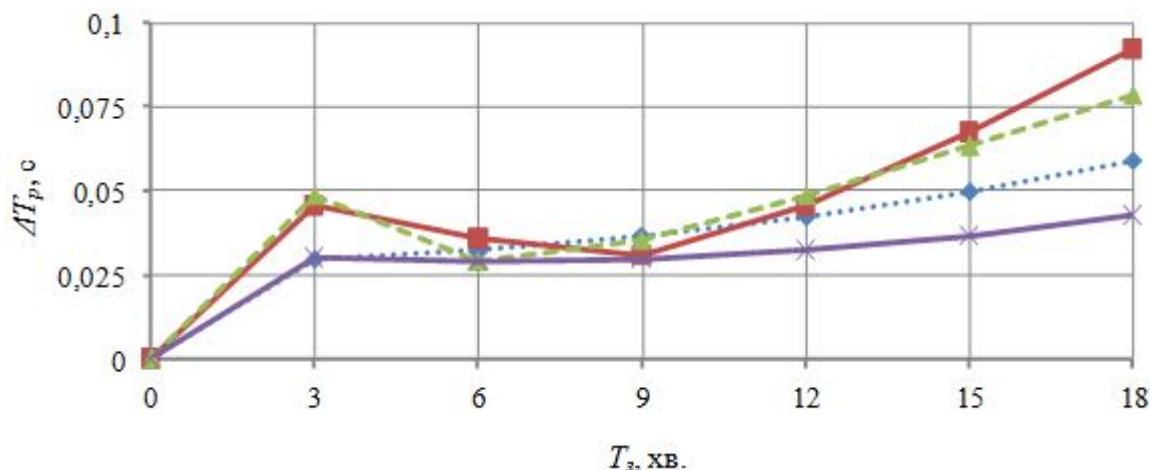


Рисунок 4 – Залежність змінювання часу реакції водіїв (вік 40 років) у транспортному заторі при  $P_{cn} = 6$ :

◆ – меланхолік; ■ – холерик; ▲ – сангвінік; ✕ – флегматик

Час реакції водія-меланхоліка і водія-флегматика на рис. 4 поступово зростає, сягаючи наприкінці затору 0,59 с і 0,042с.

**Висновки.** Час реакції водія є одним з основних чинників, що визначають безпеку руху. Від його значення залежить точність оцінки водієм дорожньо-транспортної ситуації і вибір адекватного цієї ситуації рішення. Транспортні затори впливають на зміну часу реакції водія в бік збільшення, особливо в періоди «пік», внаслідок тимчасового порушення психофізіологічних функцій водія.

Зміна часу реакції водіїв у транспорті заторі значною мірою залежить від їх початкового стану і віку. Водії різних темпераментів по-різному реагують на тривалість транспортного затору.

При розробці технології організації дорожнього руху необхідно враховувати отримані результати досліджень, від яких залежить час реакції водія і безпеку руху.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Системологія на транспорті. Підручник у 5 кн. / Під заг. ред. Дмитриченко М.Ф.– кн.IV: Організація дорожнього руху / Е.В.Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В. К.Доля та ін. – К.: Знання України, 2007 р.– 452 с.
2. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
3. Мишурич В. М. Психофизиологические основы труда водителей автомобилей : учеб. пособие / В. М. Мишурич, А. Н. Романов, Н. А. Игнатов. – М.: МАДИ, 1982. – 254 с.
4. Гюлев Н.У. Оценка значимости факторов, влияющих на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №10. – С. 140–144.
5. Гюлев, Н.У. К вопросу о зависимости функционального состояния водителя от его индивидуально – типологических свойств / Н. У. Гюлев // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – Х.: ХНАМГ, 2011. – Вип. 97. – С. 314 -319.
6. Гаврилов Э. В. Эргономика на автомобильном транспорте / Э. В. Гаврилов. – К. : Техника, 1976. – 152 с.
7. Гюлев Н.У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н.У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №2. – С. 117–120.
8. Lagarde E. Emotional stress and traffic accidents: the impact of separation and divorce / E. Lagarde, J. F. Chastang, A. Gueguen, M. Coeuret-Pellicer, M. Chiron, S. Lafont // *Epidemiology*. – 2004. – № 15. – P. 762–766.
9. Hennessy D. A. Traffic congestion, driver stress, and driver aggression / D. A. Hennessy, D. L. Wiesenthal // *Aggressive Behavior*. – 1999. – № 25. – Vol 6. – P. 409–423.
10. Hennessy D. A. The influence of traffic congestion, daily hassles, and trait stress susceptibility on state driver stress : An interactive perspective / D. A. Hennessy, D. L. Wiesenthal, P. M. Kohn // *Journal of Applied Biobehavioral Research*. – 2000. – № 5. – P. 162–179.
11. McGehee D. V. Driver reaction time in crash avoidance research : validation of a driving simulator study on a test track / D. V. McGehee, E. N. Mazzae, G. S. Baldwin // *In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*. – 2000. – № 20. – Vol 44. – P. 3–320.
12. Philip P., Sagaspe P., Moore N., Taillard J., Charles A., Guilleminault C., Bioulac B.: Fatigue, sleep restriction and driving performance / Philip P., Sagaspe P., Moore N., Taillard J., Charles A., Guilleminault C., Bioulac B. // *Accident Analysis & Prevention*. – 2005. – Vol 37. – №3. – P. 473–478.
13. Гюлев Н.У. К вопросу о влиянии транспортного затора на динамический габарит автомобиля / Н. У. Гюлев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №23. – С. 118–122.
14. Гюлев Н.У. О влиянии изменения функционального состояния водителя на безопасность дорожного движения / Н.У. Гюлев, В.К. Доля, М.С. Бичев // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – Т.3/3(63). – С. 67–69.
15. Баевский Р. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 222 с.

## ТРЕНАЖЕР ДЛЯ НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ

*Жук Д.О., Жук О.К., Криворучко Д.В.*

*Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова  
(м. Миколаїв, Україна);*

*Рожков С.О.*

*Херсонська державна морська академія  
(Україна);*

*Моргуненко С.О.*

*Інспекція з питань підготовки та дипломування моряків  
(м. Київ, Україна)*

**Вступ.** У світовій практиці основним керівним документом щодо підготовки командного складу морських суден, в тому числі електромеханіків суднових, є Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення ваhti (ПДНВ-78) з поправками 2010 р.

Розділ А-III/6 конвенції ПДНВ вперше з 2010 р. охоплює і упорядковує всі стандартні компетентності, необхідні при підготовці електромеханіків – галузь компетентності, знання, розуміння та професійні навички, методи демонстрації і критерії для оцінки компетентності за різними функціями: електрообладнання, електронна апаратура та системи керування на рівні експлуатації; технічне обслуговування та ремонт; управління операціями судна та піклування про людей на рівні експлуатації.

Згідно ПДНВ студент (курсант) – електромеханік морської спеціальності протягом навчання має не тільки засвоїти всі теоретичні відомості та розуміти принципи будови, роботи і базового обслуговування електротехнічних засобів, систем сигналізації і автоматики, комп'ютерної техніки і комп'ютерних мереж судна, які знаходяться в його компетенції, але й продемонструвати достатній рівень практичних навичок, отриманих при схваленій підготовці із використанням лабораторного обладнання і тренажерів.

Досвід, накопичений у минулі десятиріччя навчальними закладами України, забезпечує глибоку теоретичну і лабораторну підготовку електромеханіків з експлуатації суднового електроустаткування і засобів автоматики, які отримують міжнародне визнання та користуються попитом у працедавців.

**Актуальність досліджень.** Зорієнтованість провідних світових виробників на безперервне технічне удосконалення суднового силового електрообладнання та засобів комплексної автоматизації суден, застосування на них сучасних інформаційних технологій і засобів комп'ютерної техніки, вимагає постійного підвищення рівня практичних навичок персоналу, який їх обслуговує як при стандартних, так і при нестандартних ситуаціях.

**Постановка задачі.** Основним завданням роботи є розробка концепції навчально-дослідницького лабораторного обладнання, призначеного для наступних функцій:

- підготовка фахівців з експлуатації, обслуговування і проектування суднових автоматизованих електроенергетичних систем;
- виконання широкого спектру наукових досліджень у галузі електромагнітної сумісності і якості електроенергії в суднових електроенергетичних системах з електроустановками на базі напівпровідникових перетворювачів.

**Результати досліджень.** В ході дослідження питань щодо створення навчального тренажеру вирішено, що до складу лабораторного обладнання мають бути включені такі основні сегменти – апаратна модель суднової електростанції з головним розподільчим щитом та імітаторами дизель-генераторних установок; групи навантажень; персональні комп'ютери; вимірювальні прилади зі стандартними інтерфейсами з ПЕОМ.

До головних ознак лабораторного обладнання відноситься конструктивна і функціональна схожість з реальними судновими аналогами; використання елементної бази

аналогічної судовій; технічна реалізація із врахуванням типових схемних рішень, запроваджених на сучасних судах; забезпечення можливості відпрацювання всіх основних технічних функцій електромеханіка за змістом його підготовки згідно ПДНВ.

Силова частина лабораторного стенду для вивчення судової електростанції може бути виконана за схемою (рис.1), де прийнято наступні позначення: ЩДГ1, ЩДГ2, ЩАДГ/ЖБ, ЩВГ – відповідно щити допоміжних дизель-генераторів, аварійного/живлення з берега і валогенератора; ШВ1-ШВ3 – шинні вимикачі; СГ1-4 – синхронні генератори; АД1-4 – асинхронні двигуни; ПЧ1-4 – перетворювачі частоти; ПЧ1,2-АД1,2-СГ1,2 імітують допоміжні дизель-генераторні установки, ПЧ3-АД3-СГ3 імітує аварійний дизель-генератор, ПЧ4-АД4-СГ4 імітує валогенератор; С1гр, С2гр – споживачі першої і другої групи; АВ1-АВ14 – автоматичні вимикачі; ТН1, ТН2 – підвищувальний і знижувальний трансформатори; РЩ24 В – розподільчий щит 24 В; ЗП – зарядний пристрій акумуляторних батарей АБ; СВ – стабілізований випрямляч.

Крім функції навчально-практичної підготовки судових електромеханіків, запропонована модель лабораторії за складом і змістом є повноцінним об'єктом для виконання науково-дослідницьких робіт. Зокрема, наявність в лабораторній установці напівпровідникових перетворювачів і електроприводів на їх основі, ФКП та аналізаторів ПЯЕ дозволяє використовувати її при виконанні наукових досліджень у галузі електромагнітної сумісності і якості електроенергії в судових електроенергетичних системах. Експерименти при різноманітних режимах судової електростанції та її навантаженнях можуть проводитися вже при використанні штатних щитових вимірювальних приладів відповідного призначення – аналізатори якості електроенергії РМ710 (з комп'ютерним інтерфейсом), LOVATO DMK 30 та ін.. Оснащення лабораторії невеликою кількістю додаткового вимірювального обладнання (цифровий осцилограф, аналізатор спектра) з USB інтерфейсами у комплексі із сучасними засобами забезпечення ЕМС і підвищення ЯЕ, надасть можливість проведення повноцінних науково-дослідних робіт з автоматизацією обробки інформації на ПЕОМ при дослідженні електромагнітних процесів.

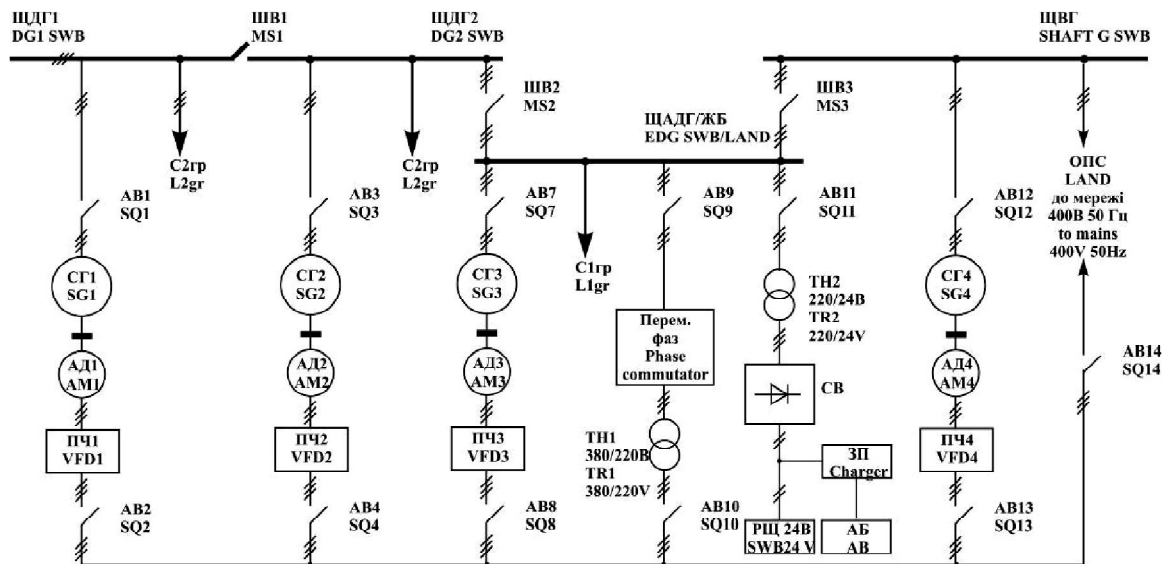


Рисунок 1 – Схема силової частини тренажеру

Лицеві панелі щитів ГРЩ реалізованого за схемою (рис. 1), представлені на рис. 2. Щит розподілу навантажень на рис. 2. не наведений.

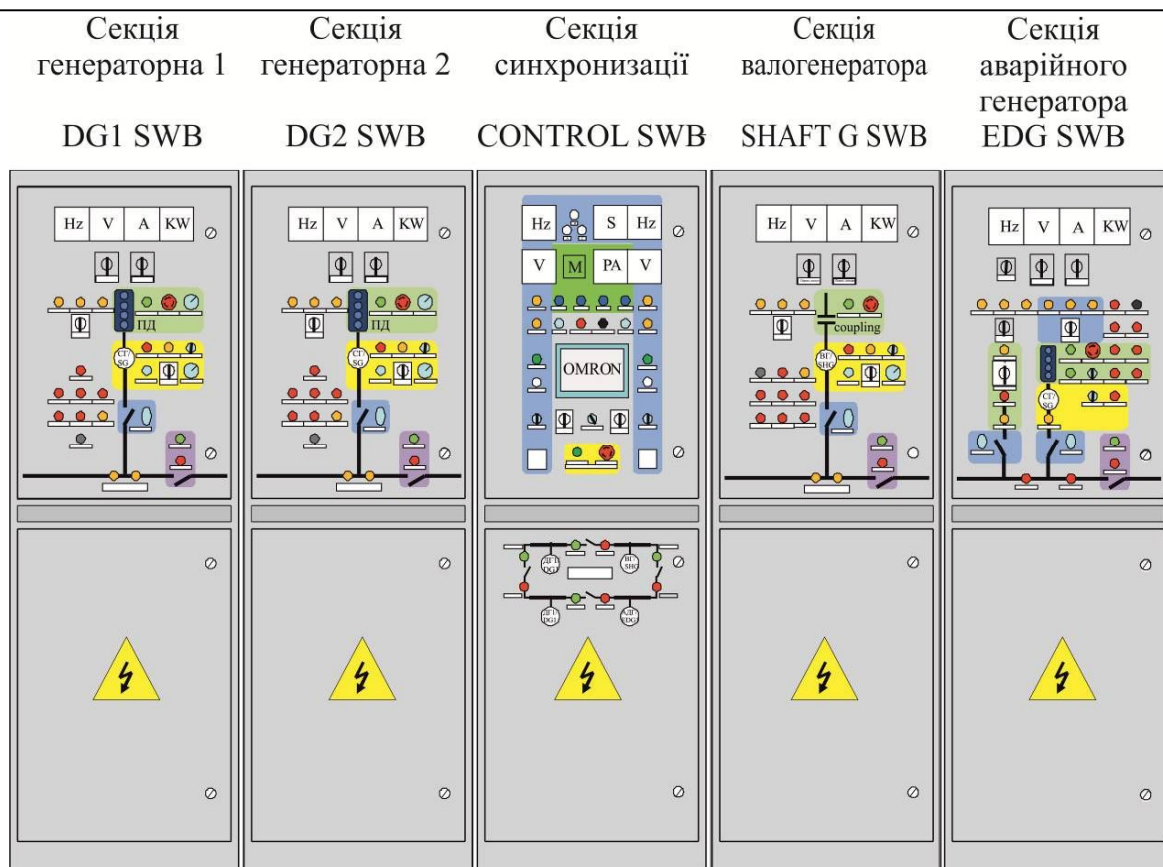


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд панелей головного розподільчого щита у складі апаратної моделі суднової електростанції

На схемі (рис.4) наведено підключення навантажень суднової електростанції, які імітують найбільш розповсюджені суднові електроустановки з напівпровідниковими перетворювачами та фільтро-компенсуючі пристрої (ФКП) для забезпечення умов електромагнітної сумісності.

На рис.4 прийняті наступні позначення: ЩСП – щит споживачів; АВ15-АВ20 – автоматичні вимикачі; КВ – керований випрямляч, БПЧ – безпосередній перетворювач частоти, ПЧ з АІТ – перетворювач частоти з автономним інвертором струму, ПЧ з АІН – перетворювач частоти з автономним інвертором напруги; ФКП – фільтро-компенсуючі пристрої; ШПС – шина постійного струму; АД5-8 – асинхронні двигуни; СД1,2 – синхронні двигуни; ЕМН1-7 – електромеханічне навантаження.

При підготовці плавскладу запропонований тренажер дає можливість проводити наступні види робіт при імітації режимів роботи суднової електростанції: живлення навантажень від одного або двох допоміжних генераторів, ввімкнених паралельно; живлення навантажень від аварійного генератора; програмування пріоритету (черги) ввімкнення генераторів; синхронізація і розподіл потужності генераторів в ручному і автоматичному режимах; резервування потужності генераторів; роздільна робота секцій головної шини; синхронний і несинхронний перехід живлення суднової мережі на берегове джерело; облік споживаної потужності від берегового джерела; автоматичний запуск аварійного дизель-генератора при знеструмленні головного розподільчого щита; моделювання аварійних сценаріїв на головній шині, генераторних агрегатах; технічне обслуговування суднового електрообладнання; техніка безпеки при експлуатації та обслуговування суднового електрообладнання.

Основними видами робіт та режимами, що можуть виконуватись на навчальному тренажері при дослідженні електромагнітної сумісності і якості електроенергії в суднових електроенергетичних системах є: дослідження електромагнітних процесів і показників якості електроенергії в системі з наступними навантаженнями: тиристорний

електропривод постійного струму; асинхронний електропривод з перетворювачем частоти на базі автономного інвертора напруги; синхронний електропривод з перетворювачем частоти на базі автономного інвертора струму; синхронний електропривод на базі циклоконвертора; багатодвигунний асинхронний електропривод із загальною шиною постійного струму; дослідження некерованих фільтрокомпенсуючих пристроїв; дослідження керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв.



Рисунок 3 – Апаратна модель суднової електростанції на черговому етапі монтажу



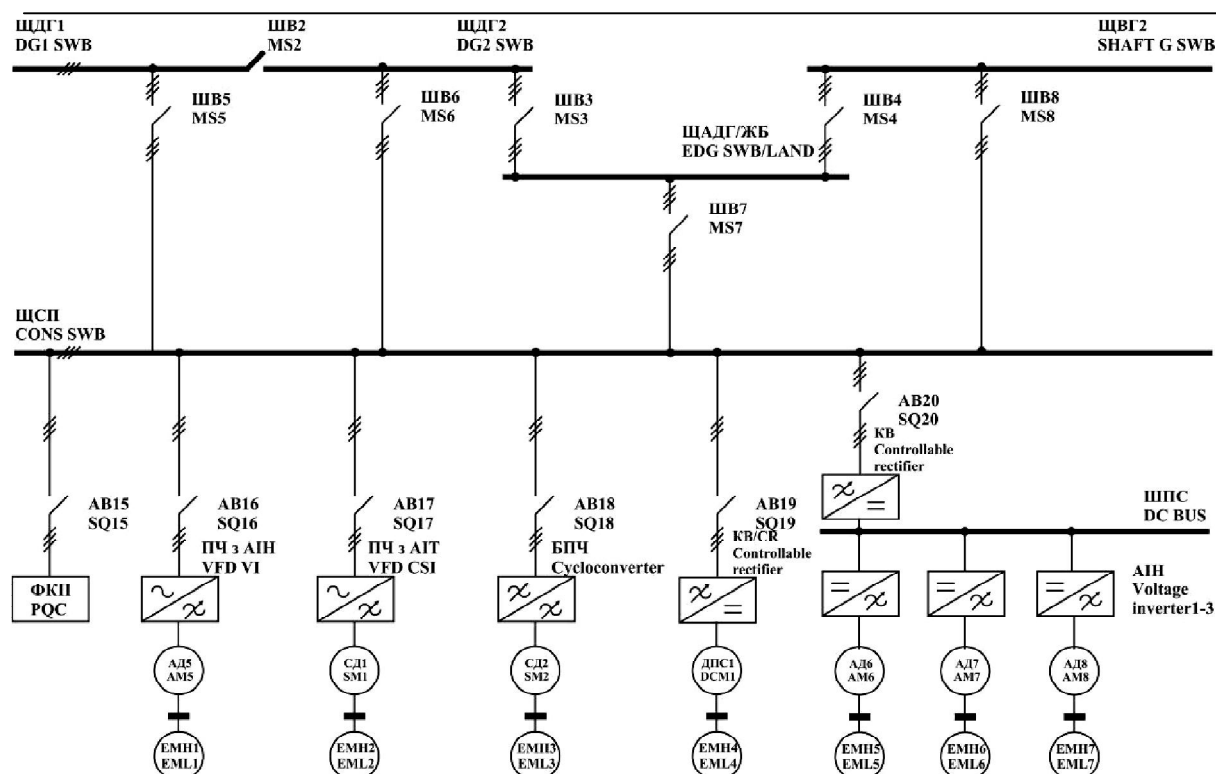


Рисунок 4 – Схема підключення навантажень і фільтро-компенсуючих пристроїв

Враховуючи особливості запропонованого в роботі навчально-дослідницького лабораторного обладнання для тренування суднових електромеханіків, можна запропонувати наступний перелік лабораторних робіт:

Лабораторна робота №1. Живлення навантажень від одного або двох допоміжних генераторів, ввімкнених паралельно.

Лабораторна робота №2. Живлення навантажень від аварійного генератора.

Лабораторна робота №3. Програмування пріоритету (черги) ввімкнення генераторів.

Лабораторна робота №4. Синхронізація і розподіл потужності генераторів в ручному і автоматичному режимах.

Лабораторна робота №5. Резервування потужності генераторів.

Лабораторна робота №6. Режим самосинхронізації.

Лабораторна робота №7. Роздільна робота секцій головної шини.

Лабораторна робота №8. Автономна робота валогенератора.

Лабораторна робота №9. Перехід живлення з валогенератора на головну мережу. Ручна і автоматична синхронізація валогенератора з шинами головного розподільчого щита для переходу на головну мережу.

Лабораторна робота №10. Перехід живлення суднової мережі з дизель-генератора на валогенератор і навпаки. Автоматичний і ручний розподіл потужності.

Лабораторна робота №11. Синхронний і несинхронний перехід живлення суднової мережі на берегове джерело і навпаки.

Лабораторна робота №12. Облік споживаної потужності від берегового джерела.

Лабораторна робота №13. Автоматичний запуск аварійного дизель-генератора при знеструмленні головного розподільчого щита.

Лабораторна робота №14. Моделювання аварійних сценаріїв на головній шині, генераторних агрегатах.

Лабораторна робота №15. Керування навантаженням суднової електростанції в аварійних ситуаціях в автоматичному і ручному режимах.

Лабораторна робота №16. Технічне обслуговування суднового електрообладнання.

Лабораторна робота №17. Техніка безпеки при експлуатації та обслуговуванні суднового електрообладнання.

Дослідження питань електромагнітної сумісності і якості електроенергії в суднових електроенергетичних системах передбачає виконання додаткових робіт:

Лабораторна робота №18. Дослідження електромагнітних процесів і показників якості електроенергії в системі з наступними навантаженнями: тиристорний електропривод постійного струму; асинхронний електропривод з перетворювачем частоти на базі автономного інвертора напруги; синхронний електропривод з перетворювачем частоти на базі автономного інвертора струму; синхронний електропривод на базі циклоконвертора; багатодвигунний асинхронний електропривод із загальною шиною постійного струму.

Лабораторна робота №19. Дослідження некерованих фільтро-компенсуючих пристроїв.

Лабораторна робота №20. Дослідження керованих фільтро-компенсуючих пристроїв.

**Висновки.** Запропонований тренажер надасть змогу значно підвищити якість підготовки фахівців-електромеханіків суднового спрямування та виконання основних вимог ПДНВ щодо їх знань і вмінь, а також забезпечить їх адаптацію до майбутнього робочого місця і функції.

Модульність сегментів тренажеру і використання у його складі сучасної бази програмованих логічних контролерів для реалізації функцій контролю, захисту і керування при необхідності забезпечить можливість гнучкого перенастроювання або модернізації з часом.

Тренажер може бути корисним при підготовці суднових механіків за функціями, пов'язаними із знанням електрообладнання.

За умови створення тренажеру виключно із комплектуючих суднового виконання він може бути сертифікований за Регістром судноплавства України.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти (ПДНВ/STCW-78) з поправками 2010 р.

2. Блінцов В. С., Жук Д. О. Особливості підготовки вітчизняних суднових електромеханіків в сучасних умовах.// Проблеми автоматики і електрообладнання транспортних засобів (ПАЕТЗ). ІХ Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 105–108.

3. Блінцов В. С., Жук О. К., Жук Д. О. Напрямки удосконалення бази для практичної підготовки сучасних суднових електромеханіків в НУК ім. адмірала Макарова» (Проблеми автоматики і електрообладнання транспортних засобів (ПАЕТЗ). ІХ Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 115–118.

4. Блінцов В. С., Жук О. К., Жук Д. О., Бондаренко С. М., Криворучко Д. В. Навчально-дослідницька лабораторія для підготовки електромеханіків суднових. Сучасні проблеми автоматики та електротехніки. Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2015 р.

## АНАЛИЗ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПАРИРОВАНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО-КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ

*Землянский А.В., Сало Н.А.*

*Летняя академия Национального авиационного университета  
(г. Кропивницкий, Украина)*

**Введение.** При парировании потенциально конфликтных ситуаций (ПКС) кроме выбора верного метода решения необходимо учитывать важность своевременности принятия и реализации выбранного решения. Наиболее интересные возможности для упорядочения и формализации своевременности принятия решений при разрешении потенциально-конфликтных ситуаций при управлении воздушным движением (УВД) дает Концепция угроз и ошибок (КУО).

**Актуальность исследований.** Для выявления перехода ситуации в нежелательное состояние вследствие ошибочных действий или бездействия диспетчера УВД предлагается рассмотреть ситуацию с возникновением потенциально-конфликтной ситуации, как одного из вариантов нежелательного состояния безопасности полетов. В качестве ключевого метода используется системный подход. Элементы разрешения ПКС, выработанные в ходе анализа процесса выявления и решения потенциально-конфликтной ситуации, показаны в таблице 1.

Следует отметить, что время на парирование потенциально-конфликтной ситуации и время на отслеживание развития ситуации являются одинаковыми, так как оба этих события происходят одновременно.

Таблица 1 – Элементы процедуры разрешения потенциально-конфликтной ситуации авиадиспетчером

№	Наименование	Описание
1	Выявление ПКС	Определить наличие ПКС и выявить ВС, в ней участвующие
2	Классификация ПКС	Определить тип ПКС для выбора метода разрешения
3	Определение методов разрешения ПКС	Выбрать метод разрешения ПКС
4	Процедуры разрешения ПКС	Выполнить необходимые операции, согласно выбранного метода
5	Парирование ПКС экипажами ВС	Выполнение экипажами ВС указаний по предотвращению КС
6	Отслеживание развития ситуации	Мониторинг выполнения указаний

Очевидно, что часть элементов процедуры решения ПКС авиадиспетчером могут выполняться одновременно (параллельно) с другими процедурами. К таким элементам относятся «Парирование ПКС экипажами ВС» и «Отслеживание развития ситуации».

Для определения этапов развития ПКС по критерию своевременности принятия решений нам, прежде всего, необходимо разработать алгоритм определения своевременности принятия решений при выполнении задач на диспетчерских тренажерах. В качестве инструмента, мы выбрали моделирующий комплекс работы авиадиспетчера Fusion (МК Fusion). В МК Fusion уже разработаны и функционируют модули, которые позволят нам решить задачу определения своевременности принятия решений.

Для определения своевременности парирования ПКС необходимо действовать по следующему алгоритму:

– настроить систему опережающего моделирования на глубину прогнозирования, большую, чем максимально необходимая глубина фиксации своевременности;

– в каждом просчете ситуации определяем текущие ПКС, фиксируем у новых ПКС время начала ( $t$  начала), у существующих – текущий таймер ( $t$  решения). В случае

решения ПКС последнее значение таймера будет временем решения (если переход в КС, то таймеры совпадут);

– фиксируем событие перехода в новое состояние (переход) в конфликтную ситуацию или переход в ситуацию парирования ПКС.

По указанному алгоритму действий нами был проведен анализ своевременности принятия решений при парировании ПКС в записях выполненных упражнений курсантов-диспетчеров КЛА НАУ. Выявленные варианты развития ситуации при парировании ПКС были сведены в табл. 2.

Результаты исследований. Для проведения анализа своевременности при решении ПКС мы построили алгоритм развития ситуации по параметру своевременности принятия решений, который будем называть «деревом ошибок при решении ПКС». Общий вид дерева ошибок показан на рисунках 1, 2 (развитие ситуации, когда диспетчер не выдавал указаний ВС, участвующим в ПКС) и 3 (развитие ситуации, когда диспетчер выдавал указания ВС, участвующим в ПКС).

Для удобства понимания дерева ошибок мы применили следующие цветовые обозначения:

- зеленый элемент – ситуация решилась благополучно (ПКС устранена);
- желтый элемент – ситуация требует дополнительного анализа, как правило изменения (уменьшения) нагрузки на диспетчера. Высокая нагрузка не позволяет однозначно определить проблему;
- красный элемент – ситуация завершилась не благополучно (ПКС перешла в КС).

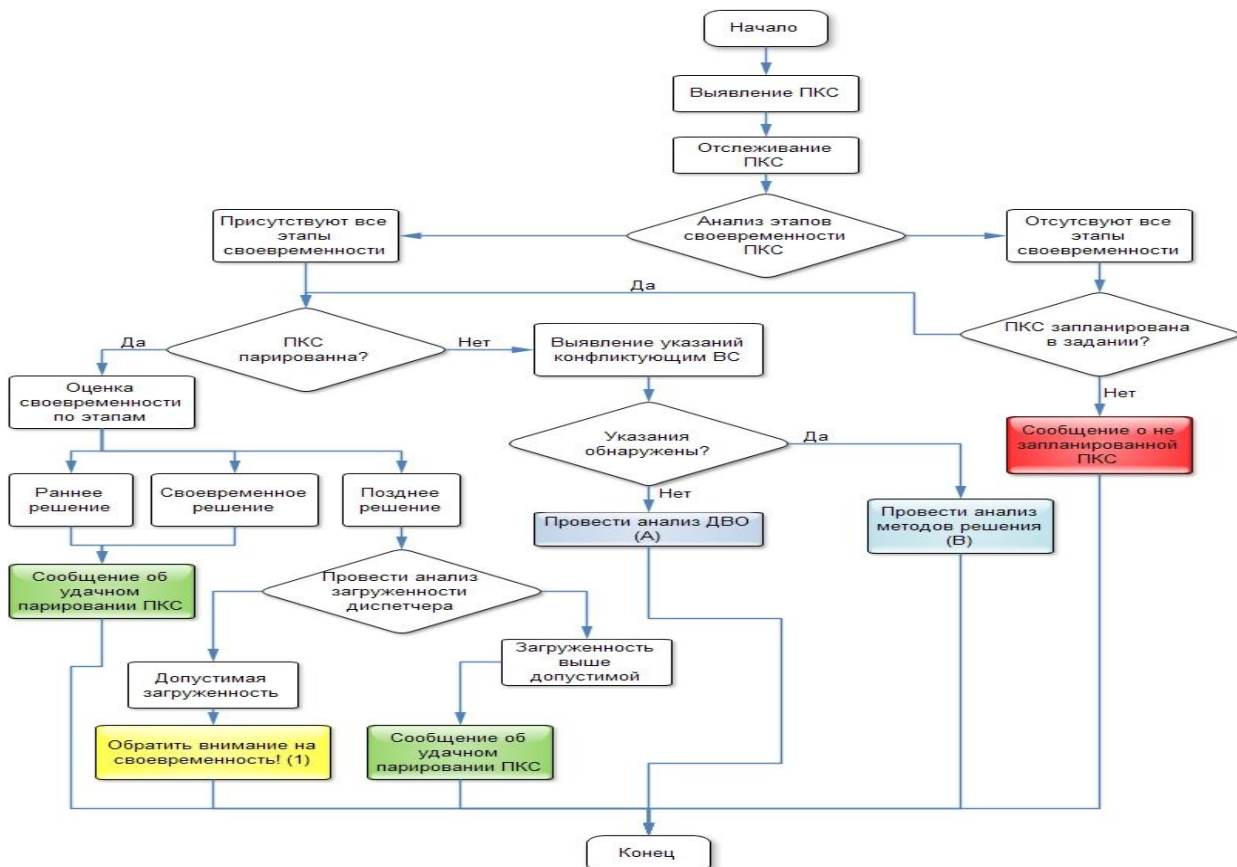


Рисунок 1 – Дерево решений при парировании ПКС (общий вид)

ПКС парирована, зафиксировано позднее решение. Диспетчер парировал ПКС с минимальным запасом времени, что может привести к возникновению КС в случае появления дополнительных усложняющих факторов.

Таблиця 2 – Этапы парирования потенциально-конфликтной ситуации по критерию своевременности принятия решений

№	Наименование этапа	Описание	ПКС решена?
1	Раннее решение	Указания авиадиспетчера экипажам ВС выданы до временного промежутка $T_2$ и привели к парированию ПКС	Да
2	Своевременное решение	Указания авиадиспетчера экипажам ВС выданы во временном промежутке между $T_2$ и $T_1$ и привели к парированию ПКС	Да
3	Позднее решение	Указания авиадиспетчера экипажам ВС выданы во временном промежутке $T_1$ и привели к парированию ПКС	да
4	Не решена	Указания авиадиспетчера экипажам ВС выданы во временном промежутке между $T_2$ и $T_k$ , но не привели к парированию ПКС	нет
5	Не решалась	Указаний авиадиспетчера экипажам ВС выданных во временном промежутке между $T_2$ и $T_k$ не зафиксировано, ПКС не парирована	нет

Не может обнаружить ПКС. В условиях допустимой загрузки диспетчер не предпринял действия по парированию ПКС. Это может трактоваться как ситуация, когда диспетчер не может обнаружить ПКС. Если в указанный период отсутствовали другие технологические операции, то у диспетчера отсутствуют навыки выявления ПКС, требуется корректировка обучения. В случае, если диспетчер выполнял другие действия, то можно допустить, что диспетчер не правильно расставляет приоритеты выполнения задач.

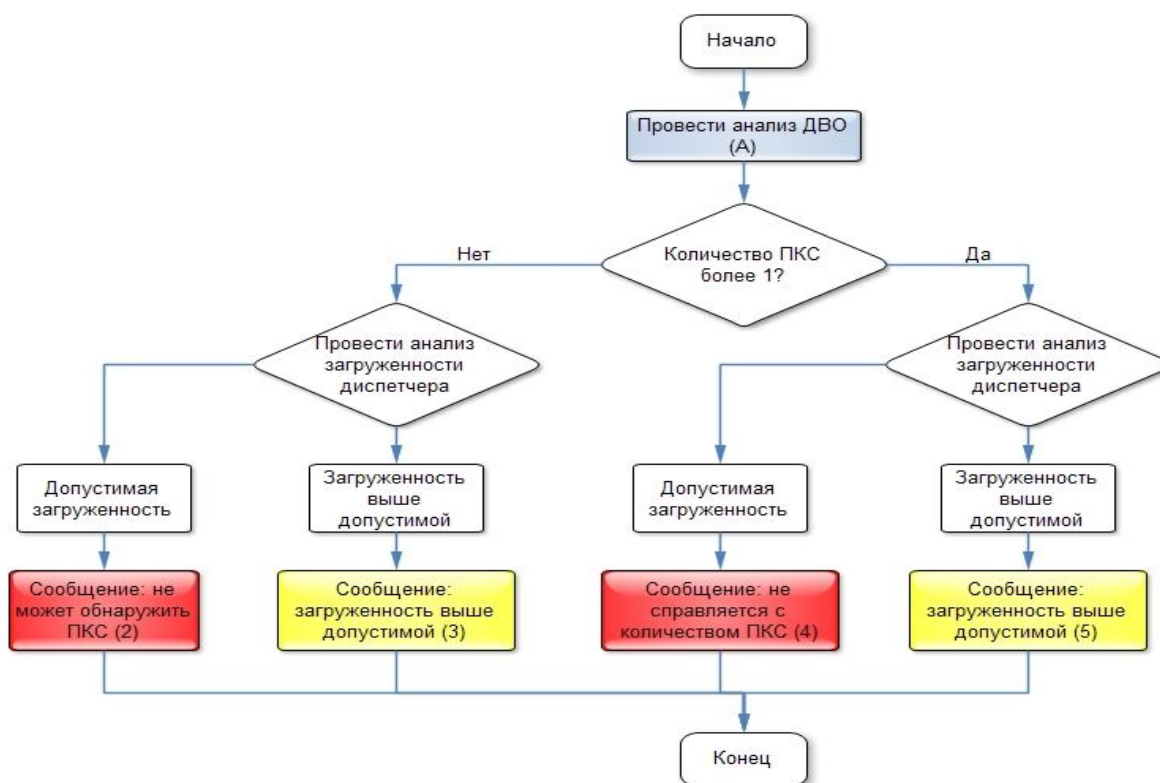


Рисунок 2 – Дерево решений при парировании ПКС (указания диспетчера экипажам ВС отсутствуют)

Не справляется с количеством ПКС. В условиях допустимой загрузки диспетчер не предпринял действия по парированию ПКС. Это может трактоваться как

ситуация, когда диспетчер не может обнаружить ПКС или он не может парировать одновременно несколько ПКС. Если все ПКС, которые развивались в этот временной промежуток, не решались, то у диспетчера отсутствуют навыки выявления ПКС, требуется корректировка обучения. В случае, если диспетчер выполнял другие действия, то можно допустить, что диспетчер не правильно расставляет приоритеты выполнения задач.

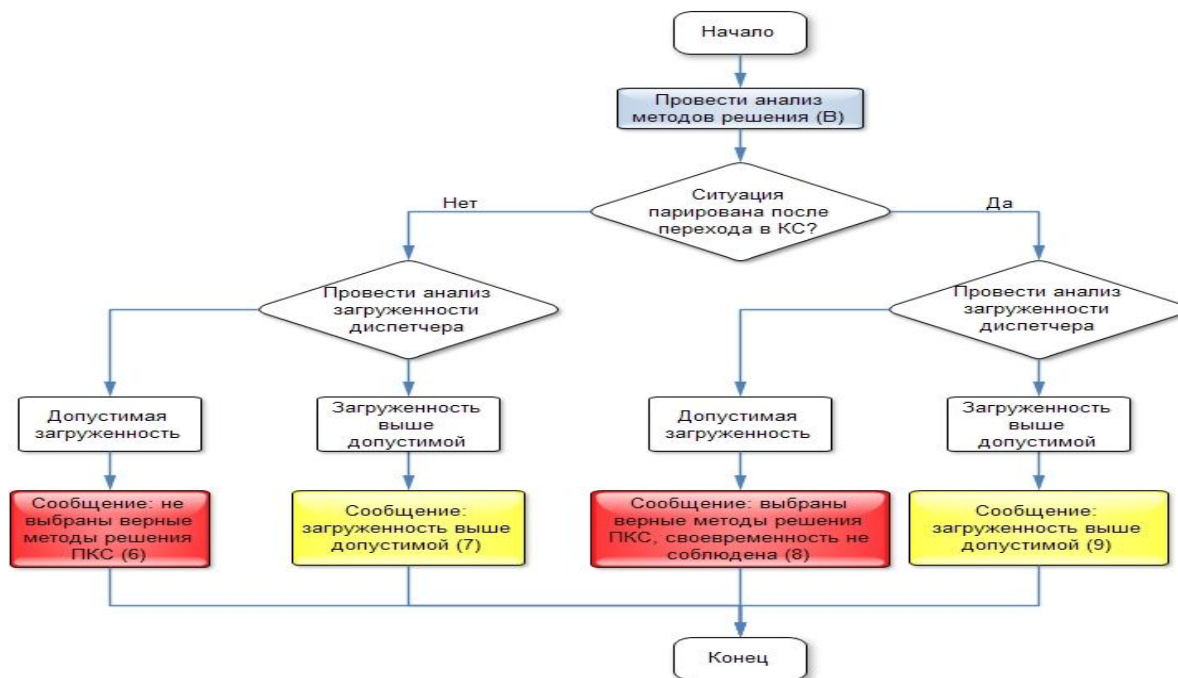


Рисунок 3 – Дерево решений при парировании ПКС (зафиксированы указания диспетчера экипажам ВС)

Не выбраны верные методы решения ПКС. В условиях допустимой загрузки диспетчер выдавал указания ВС, участвующим в конфликте, но это не привело к парированию ПКС. Такое развитие ситуации показывает, что диспетчер не выбрал верных методов решения ПКС. Необходимо изучить рекомендуемые методы решения данного класса ПКС.

Выбраны верные методы решения ПКС, своевременность не соблюдена. В условиях допустимой загрузки диспетчер выдавал указания ВС, участвующим в конфликте, и это привело к решению ситуации после перехода в КС без дополнительных указаний. Такое развитие ситуации показывает, что диспетчер выбрал верные методы решения ПКС, но времени, оставшегося после выдачи указаний, не хватило для парирования ПКС. Диспетчер использует верные метод решения ПКС, необходимо обратить внимание на время обнаружения ПКС и/или скорость принятия решений.

**Выводы.** Проведенный анализ показывает, что для однозначной трактовки результатов необходимо обеспечить допустимую нагрузку на диспетчера в ходе выполнения упражнений. Предельный уровень нагрузки, при котором диспетчер может выполнять свои функции, должен определяться индивидуально для каждого специалиста, а также необходимо определить нижнюю границу предельной загрузки диспетчера, которая будет соответствовать квалификации, требуемой для выполнения функций в заданных условиях (например: на конкретном рабочем месте, заданной интенсивности полетов и т.д.).

Реализация предложенных алгоритмов определения ошибок диспетчера может быть использована в системах поддержки принятия решений, а также для организации автоматизированных систем построения учебных упражнений для практической подготовки авиадиспетчеров.

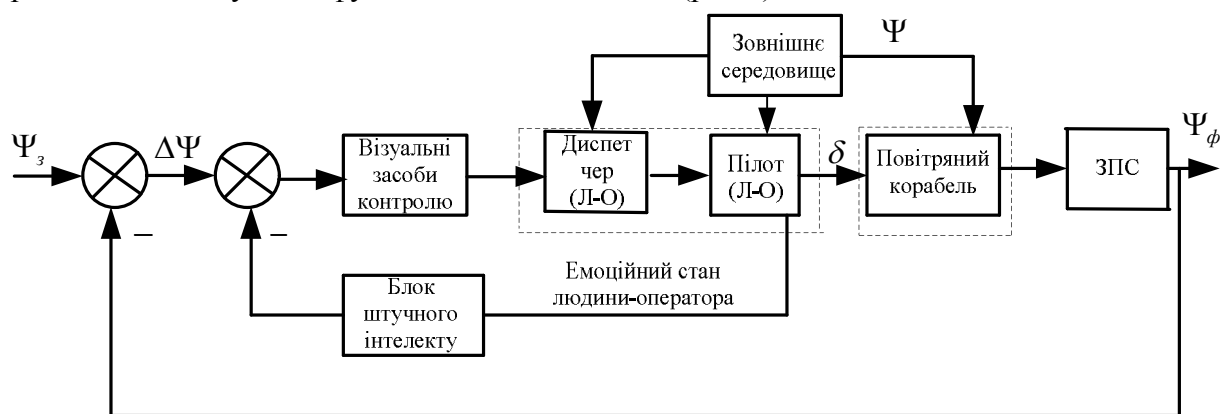
## АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЛЬОТНОЇ ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ

Казак В.М., Прохоренко І.В., Тимошенко Н.А.

Національний авіаційний університет

(м. Київ, Україна)

**Вступ.** Сучасні літальні апарати (ЛА) представляють собою надскладні ієрархічні людинно-машинні системи, що поєднують у собі останні досягнення механіки, інформаційних та комп'ютерних технологій. Згідно з класифікацією ІКАО, такі структури відносяться до авіаційних транспортних систем (АТС). Саме новітні технології створення та експлуатації АТС дозволили підняти безпеку польотів (БП) на якісно новий рівень. У свою чергу рівень БП переважно залежить від людини в контурі АТС, який умовно можна представити наступною функціональною схемою (рис.1).



Рисисунок 1 – Функціональна схема системи «Диспетчер-Пілот-ПК»

Основною ланкою даної схеми є людина-оператор, що сприймає інформацію, переробляє її, приймає рішення і робить відповідні дії на органи керування.

У схемі:  $\Psi_z$ ,  $\Psi_f$ ,  $\Psi$  – задаючий, фактичний та збурюючий впливи,  $\Delta\Psi$  – різниця між задаючим та фактичним сигналами,  $\delta$  – керуюча дія [1].

Аналіз стану статистичних даних розслідування авіаційних пригод (АП) останніх десяти років у світі показав, що причини виникнення можна об'єднати у таку групу складових: людський фактор – (60-80 %), відмова техніки – (30-30 %), вплив зовнішніх факторів – (10-15 %), нез'ясовані – 5 %.

Отже, домінуючим фактором, що впливає на рівень БП є людина оператор, тому авіаційні фахівці усього світу працюють над цією проблемою. Одним з головних шляхів вирішення проблеми зниження впливу людини-оператора на рівень БП є автоматизація усіх функцій, що виконуються нею.

**Постановка задачі.** Для вирішення проблеми мінімізації участі людини – оператора в управлінні процесом функціонування АТС з метою зниження його впливу на БП, окрім автоматизації управління всіма ланками АТС, потрібно суттєво підвищити рівень підготовки пілотів та диспетчерського складу, які є головним джерелом людського фактору.

Отже, роль людського фактору в забезпеченні БП в істотній мірі визначається рівнем професійної підготовки авіаційних фахівців. Для підтвердження цього висновку було досліджено статистичні дані на вибірці 441 – випадків найбільших характерних помилок екіпажів з яких: 162 АП з літаками і 279 – з гелікоптерами. За матеріалами розслідування цих авіаційних подій була складена діаграма розподілу помилок екіпажів літаків та гелікоптерів (рис. 2).

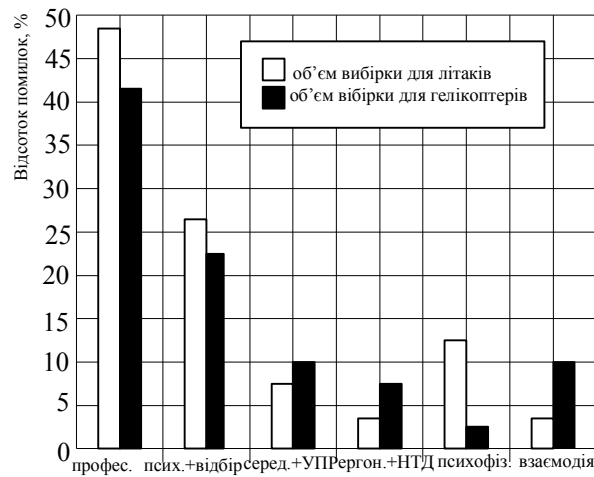


Рисунок 2 – Розподіл факторів помилок екіпажів літаків та гелікоптерів

Аналіз даних діаграми (рис. 2) дозволяє зробити висновок, що переважаючими факторами в «помилках екіпажу» є рівень професійної підготовки та психологічні характеристики членів екіпажу. Слід зауважити, що одна і та ж подія найчастіше містить кілька факторів, пов'язаних з перерахованими аспектами. Тому в діаграмі одна і та ж подія знайшла відображення у декількох стовпцях. Так, помилки в ухваленні рішення можуть бути наслідком практично всіх зазначених факторів:

- недостатня професійна підготовленість членів екіпажу;
- неповна сумісність психологічних характеристик членів екіпажу, недостатня взаємодія між ними;
- психофізіологічні, тощо.

**Результати досліджень.** Проаналізуємо основні фактори, які стали причиною помилок льотного складу [2, 3]:

- професійний (прийняття невірної рішення, неадекватного ситуації помилковій дії при реалізації рішення тощо);
- психологічний (низька здатність прогнозування подій, прийняття рішень, які не відповідають можливостям, недостатня професійна дисциплінованість);
- психофізіологічний (недостатнє урахування фізіологічних особливостей оператора);
- ергономічний (недостатнє врахування характеристик оператора при конструюванні повітряного судна та кабіни пілота);
- відсутність оптимального алгоритму взаємодії членів екіпажу [4].

Всі перераховані аспекти пов'язані з рівнем професійної підготовки авіаційного персоналу, але якщо навіть обмежитися тільки першою складовою, то це більше 50 % помилкових дій. Підготовка льотного складу та всього авіаційного персоналу є важливим елементом БП, а також ефективності повітряних перевезень.

Процес маршрутного польоту літака у складі системи «літак-пілот-диспетчер-середовище» можна стисло представити наступною передаточною функцією [1]:

$$W_{раз}(p) = W_{оп}(p)W_{пк}(p)W_{пд}(p) = \frac{K_{оп}K_{пк}K_{пд}e^{-\tau p}}{(T_{оп}p + 1)(T_{пк}p + 1)p}, \quad (1)$$

де:  $W_{оп}, W_{пк}, W_{пд}$  – передавальні функції Л-О, ПК;  $K_{оп}, \tau, T_{оп}, K_{пк}, T_{пк}, K_{пд} = f(D)$  – відповідні коефіцієнти.

Для урахування емоційного стану пілота використовується пристрій діагностики в блоці штучного інтелекту. Відповідно до (1) необхідно розглянути етапи реалізації автоматизації управління процесом льотної підготовки пілотів, як приклад на (рис. 3) представлена структура поетапної реалізації твердження.



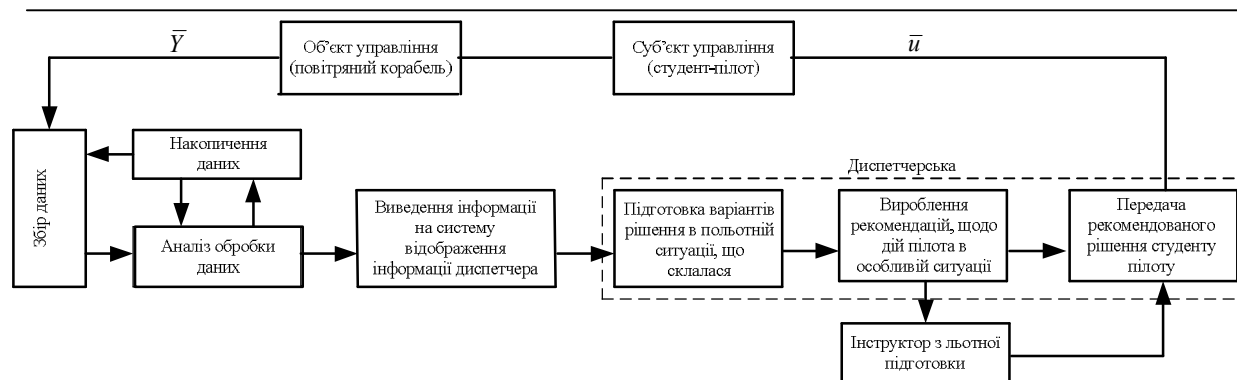


Рисунок 3 – Основні етапи реалізації автоматизованого управління процесом льотної підготовки пілотів

В блоці «збір даних» знаходиться наступна інформація про студента-пілота: перед польотна підготовка студентів-пілотів, рівень індивідуальних здібностей, оптимальна швидкість передачі інформації, оптимальний час засвоєння інформації, результати медичного контролю студентів, дії студента в польоті, щодо керування літаком в нормальних умовах, дії студента в попередніх польотах, щодо керування в особливих ситуаціях в польоті, стан оточуючого середовища (умови польоту), зауваження інструктора по результатах виконання польоту з інструктором.

Наступним кроком проводиться обробка та аналіз даних про студента-пілота, і здійснюється виведення даної інформації на систему відображення інформації диспетчера. І в результаті формуються підказки в разі потреби і автоматично передаються на систему відображення інформації або по радіо у вигляді команд від диспетчера [1].

Льотна підготовка студентів льотних ВНЗ є складним процесом, який складається з двох основних етапів: польоти з інструктором і самостійний політ студента. Присутність інструктора на борту ПК у польоті суттєво полегшує дії студента і підвищує імовірність прийняття рішень, щодо дій у разі виникнення непередбачених ситуацій у повітрі. При переході до реалізації програми самостійних польотів студентів виникає питання блокування неправильних керуючих дій студента в особливих ситуаціях (ОС) у польоті, заспокоєння його й передачі рекомендацій та підказки, щодо виправлення дій. Такого можна досягти тільки при умові повної автоматизації основних етапів виконання самостійного польоту студента. Одним з прикладів такої автоматизації розроблено авторами (Рис.3).

**Висновок.** Запропонована в роботі схема автоматизованого управління процесом льотної підготовки пілотів, дозволяє блокувати неправильні керуючі дії студента – пілота в особливих ситуаціях у польоті.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті [Текст] / В. М. Казак. – К.: НАУ, 2010. – 284 с.
2. Жулев В. И. Безопасность полетов летательных аппаратов [Текст] / В. И. Жулев, В. С. Иванов. – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
3. Овчаров В. Е. Человеческий фактор в авиационных происшествиях [Текст] / В. Е. Овчаров. – М.: МАК, 2005. – 80 с.
4. Морозов А. Н. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств – участников «Соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного транспорта» в 2008 году [Текст] / А. Н. Морозов. Труды общества независимых расследований авиационных происшествий. – М.: – 2009. – № 21. – С. 7–28.

## ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В СИСТЕМІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ

*Неділько В.М., Сурков К.Ю., Землянський А.В.*

*Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету  
(м. Кропивницький, Україна)*

**Вступ.** До професійних обов'язків диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) відносять завдання та функції, що потребують швидкого, впевненого і точного виконання. Готовність спеціаліста авіадиспетчера до роботи залежить від формування знань, навичок, умінь з УПР в період професійної підготовки. Використання адаптивних навчальних систем – це сучасна тенденція вдосконалення навчальної діяльності. Впровадження індивідуальних стратегій навчальної діяльності (ІСН), оснований на врахуванні індивідуальних особливостей користувача дозволить підвищити якість підготовки авіаційних фахівців та підтримати належний рівень навичок та умінь.

Важливими для нашого дослідження є роботи стосовно адаптивного навчання (Л.Е. Байдич, О.В. Бевза, О.Ю. Буров, О.М. Гайтан, Р.П. Графов, А.С. Довбиш, О.В. Кравченко, О.І. Огієнко, Ж.М. Плакасова, А.В. Топчієв, В.А. Чулюков, П.І. Федорук, М. Driscoll, Р. Karampiregis та ін.), роботи з підвищення якості професійної підготовки операторів складних систем (С.П. Борсук, М.А. Павленко, Г.С. Степанов, О.І. Тимочко, В.Г. Чернов та ін.).

Проблеми індивідуалізації підготовки диспетчерів УПР розглядалися в роботах С.М. Неділько, О.В. Извалова, А.С. Пальоного, Ю.В. Чинченко. Однак, у вказаних роботах не в повній мірі розглянуто питання формування ІСН диспетчерів УПР, не визначено механізмів їх формування таких стратегій, визначення яких дозволить забезпечити повноцінне проведення процесу корекції професійної підготовки.

**Результати дослідження.** Як встановлено на даний час, в тренажерних засобах не реалізовано завдання корекції навчання. Інформація, отримана системою під час роботи користувача, не впливає на роботу користувача в системі, не повноцінно працює зворотний зв'язок, не регулюється робота системи згідно з індивідуальними характеристиками користувача. Це призводить до неможливості формування адаптаційних процесів.

Одним із завдань дослідження є визначення ІСН та механізмів їх формування в тренажерній системі. Моделюючий комплекс обслуговування повітряного руху (МК ОПР), розроблений в Кіровоградській льотній академії національного авіаційного університету, використовується як засіб тренажерної підготовки та засіб для проведення досліджень. Результати дослідження реалізуються в МК ОПР. Навчальна діяльність диспетчерів УПР виконується в двох режимах: А – навчально-тренувальний режим (згідно початкової ІСН); В – навчально-тренувальний режим з застосуванням процедури корекції (до початкової ІСН вносяться зміни).

При умові безпомилковості виконання тренувальних вправ, система працює у навчально-тренувальному режимі згідно визначеної початкової ІСН, а за умови допущення помилок – виконується процедура корекції, тобто вносяться зміни до початкової ІСН шляхом аналізу критеріїв вибору стратегій (помилка/помилки, характеристика помилок, характеристика діяльності). Характеристика помилок (дуже значні, значні, незначні) визначається згідно встановлених норм та стандартів [1]. Навчальна діяльність диспетчерів в системі оцінюється за критеріями: безпомилковості та своєчасності [2].

Процедуру корекції розбиваємо можна розбити на менші структурні компоненти – навчальні дії, кожна з яких детальніше визначає подальший напрямок навчальної стратегії. Після проведення вхідного контролю або поточного контролю, аналізу типових помилок, оцінювання, система може сформулювати та рекомендувати такі навчальні дії:

$i_1$  - повторне виконання вправи, в якій було допущено помилка/помилки;  
 $i_2$  - виконання нової вправи з ситуацією/ситуаціями при вирішенні яких було допущено помилка/помилки;

$i_3$  - опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушенні в ході виконання навчального завдання або їх комбінації.

Розрахунок комбінацій навчальних дій проведено з використанням методу виключення змінних, при цьому число можливих комбінацій розраховано за формулою [3]:

$$L_X = 2^{|X|} - 2 \quad (1)$$

Отримано шість можливих комбінацій з врахуванням комбінації  $I_1, I_2, I_3$

Таким чином, отримано такі структурні компоненти режиму корекції:

$I_1$  – повторне виконання вправи, в якій було допущено помилка/помилки;

$I_2$  – виконання нової вправи з ситуацією/ситуаціями при вирішенні яких було допущено помилка/помилки;

$I_3$  – опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушенні в ході виконання навчального завдання;

$I_4$  – повторне виконання вправи, в якій було допущено помилка/помилки, виконання нової вправи з ситуацією/ситуаціями при вирішенні яких було допущено помилка/помилки;

$I_5$  – опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушенні в ході виконання навчального завдання, повторне виконання вправи, в якій було допущено помилка/помилки;

$I_6$  – опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушенні в ході виконання навчального завдання, виконання нової вправи з ситуацією/ситуаціями при вирішенні яких було допущено помилка/помилки;

$I_7$  – повторне виконання вправи, в якій було допущено помилка/помилки; виконання нової вправи з ситуацією/ситуаціями при вирішенні яких було допущено помилка/помилки; опрацювання пунктів нормативних документів, які були порушенні в ході виконання навчального завдання.

При умові безпомилковості виконання тренувальних вправ, система формує та рекомендує перехід до наступної вправи ( $I_8$ ) або закінчення тренування ( $I_9$ ).

Отриманий перелік є основою для формування ІСН. Режими навчальної діяльності та механізм формування ІСН в МК ОПР зображено на рис. 1.



Рисунок 1 – Режими навчальної діяльності та механізм формування ІСН в МК ОПР

Розглянемо приклад реалізації корекційних заходів в МК ОПР. Один з видів помилок, що виникають у диспетчера при виконанні вправ на диспетчерському тренажері,

є помилки, пов'язані зі своєчасністю прийняття рішення при парирування потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС). У дослідженні А.В. Землянського [4] проведено аналіз парирування ПКС, яке було поділено на 5 етапів за критерієм своєчасності прийняття рішення (рис. 2):

1. Раннє рішення – вказівки авіадиспетчера екіпажам ПС видані до часового проміжку  $T_2$  і привели до парирування ПКС, при цьому ПКС вирішена.
2. Своєчасне рішення – вказівки авіадиспетчера екіпажам ПС видані в часовому проміжку між  $T_2$  і  $T_1$  і привели до парирування ПКС, при цьому ПКС вирішена.
3. Пізнє рішення – вказівки авіадиспетчера екіпажам ПС видані в часовому проміжку  $T_1$  і привели до парирування ПКС, при цьому ПКС вирішена.
4. Не вирішена – вказівки авіадиспетчера екіпажам ПС видані в часовому проміжку між  $T_2$  і  $T_k$ , але не привели до парирування ПКС.
5. Не вирішувалася – вказівок авіадиспетчера екіпажам ПС виданих в часовому проміжку між  $T_2$  і  $T_k$  не зафіксовано, ПКС не парирувана.



Рисунок 2 – Етапи рішення ПКС

Для прикладу розглянемо вирішення ПКС (догін ПС в горизонтальній площині) диспетчером в навчально-тренувальному режимі (рис. 3). На схемі видно, що ПС-1 наздоганяє ПС-2 при проходженні на одному рівні польоту, швидкість ПС-1 вище ніж швидкість ПС-2.

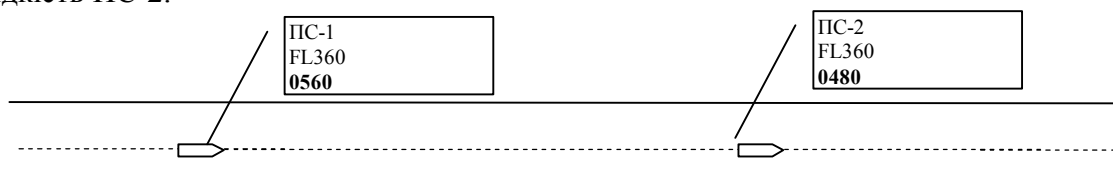


Рисунок 3 – Схематичне подання ситуації по догону ПС в горизонтальній площині

На схемі видно, що ПС-1 наздоганяє ПС-2 при проходженні на одному рівні польоту, очевидно що швидкість ПС-1 вище ніж швидкість ПС-2. Далі, диспетчер вибирає метод вирішення цього класу ПКС, але через те, що рішення прийнято не своєчасно (пізно), відбувається перехід з ПКС в конфліктну ситуацію. Конфліктна ситуація надалі вирішується без додаткових вказівок диспетчера (рис. 4).

Аналіз цієї ситуації показує що в наведеному нами прикладі диспетчер прийняв вірне рішення (метод рішення), тобто конфліктна ситуація вирішилася без додаткових вказівок, але вказівки були видані з запізненням в часовому проміжку № 3 «пізнє рішення».

В даному випадку помилкою є несвоєчасність виконання процедури по парируванню ПКС. Система визначає клас помилки як «значна помилка» – помилка за критерієм своєчасності. Дана помилка розшифровується наступним чином: обрано правильні методи вирішення ПКС, своєчасність не дотримана; в умовах допустимої завантаженості диспетчер видавав вказівки ПС, які беруть участь в конфлікті, і це привело до вирішення ситуації після переходу в КС без додаткових вказівок; такий розвиток ситуації показує, що диспетчер вибрав вірні методи вирішення ПКС, але часу, що залишився після видачі вказівок, не вистачило для парирування ПКС; диспетчер

використовує вірні методи вирішення ПКС, необхідно звернути увагу на час виявлення ПКС і / або швидкість прийняття рішень.



Рисунок 4 – Схема розвитку ситуації при вирішенні КС

В такому випадку корекція навчальної діяльності повинна бути спрямована на:

1. Розпізнавання ПКС.
2. Правильність розстановки пріоритетів при аналізі динамічної повітряної обстановки (ДПО).
3. Швидкодія виконання необхідних процедур.

Після ознайомлення з результатами виконання вправи та виявленими системою помилками користувач може самостійно обирати ІСН, або дотримуватися рекомендацій системи. В розглянутій ситуації для забезпечення корекції навчальної діяльності система пропонує до використання стратегію  $I_4$  - повторне виконання вправи, в якій було допущено помилку і виконання нової вправи з подібною ситуацією. Диспетчер починає працювати в режимі корекції.

**Висновки.** Аналіз робіт дослідників, які розглядали формування ІСН з використанням різних механізмів та технологій побудови, дозволив встановити, що не в повній мірі розглянуто питання формування індивідуальних стратегій навчальної діяльності диспетчерів УПР, не визначені механізми формування таких стратегій, визначення яких дозволить забезпечити повноцінне проведення процесу корекції професійної підготовки. Запропоновано два навчальних режими – навчально-тренувальний (за початковою ІСН) та режим з застосуванням процедури корекції (внесення змін до початкової ІСН). Обрано критерії вибору ІСН, сформовано навчальні дії режиму корекції, визначено механізм формування ІСН в МК ОПР. Наступним завданням дослідження є експертне обґрунтування запропонованих ІСН, алгоритму вибору ІСН, критеріїв формування ІСН.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про професійну підготовку персоналу організації повітряного руху в Державному підприємстві обслуговування повітряного руху України. Видання 5.0. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://uksatse.ua>
2. Григорецький, В.О. Моделі оцінки діяльності авіадиспетчерів в реагуванні на проблемні ситуації на диспетчерських тренажерах [Текст] / В.О. Григорецький, В.М. Неділько, А.С. Пальоний // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 33 (1142). – С. 30-39
3. Родионов Б.И. Теория систем и системный анализ [Электронный ресурс]. - 2013. – Режим доступа: <http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/rodiонов/17.html>.
4. Землянський А.В. Класифікація розвитку конфліктної ситуації по параметру своєчасності /А.В. Землянський, О.М. Даниленко В.С. Авдеев // Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції 26-27 листопада 2015 р. – Кіровоград. – Вид-во КЛА НАУ, 2015. – С.192.

## АПРОБАЦІЯ ЕРГОНОМІЧНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМУ ОСОБИСТІСНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ-АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

*Рева О.М., Борсук С.П.*

*Національний авіаційний університет*

*(м. Київ Україна)*

Узагальнюючи отримані авторами результати досліджень з кваліметрії людського чинника (ЛЧ) під час обслуговування повітряного руху (ОПР) в процесі початкової професійної підготовки (ПП) студентів-авіадиспетчерів (САД), слід акцентувати увагу на виявлені закономірностей прояву основної доміанти прийняття рішень (ПР), рівнів домагань (РД) та нечітких оцінок небезпек порушень усього спектру норм ешелонування повітряних суден (ПС), встановлених ІКАО для горизонтальної площини польоту. При цьому було обґрунтовано актуальність наступного етапу досліджень, спрямованого на розроблення рекомендацій з особистісно-орієнтованої ПП САД, яка б враховувала виявлені закономірності прояву ЛЧ [1-8 та ін.].

Відповідний алгоритм зазначеної особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки (ТП) САД поданий на рис. 1. Вкажемо, що цей алгоритм повною мірою задовольняє відповідним інформаційним критеріям (властивостям): циклічності; детермінованості (визначеності, точності, однозначності); дискретності; масовості; остаточності (фінітності); коректності; результативності (спрямованості), тому може бути застосованим під час ТП. Однак, впроваджуючи запропонований алгоритм у практику ПП (ТП) САД, слід надати також і кваліметричну оцінку відповіді на питання: чи спроможний інструктор тренажера, який в силу своїх професійних обов'язків виконує різноманітні операторські функції (оператора-технолога, оператора-спостерігача (контролера), оператора-дослідника, оператора-керівника, оператора-маніпулятора), ще й виконувати запропонований нами алгоритм особистісно-орієнтованої ТП САД. Тому кваліметрична оцінка ступеня прийнятності для нього алгоритму на рис. 1 має враховувати зазначені особливості його операторської діяльності.

Виходячи з аналізу змісту наукових джерел [9-13 та ін.], вважаємо доцільним застосування для дослідження професійної діяльності інструктора тренажера таких алгоритмічних показників операторської діяльності, як нормовані показники стереотипності  $Z_n = [0, 1]$  і логічної складності  $L_n = [0, 1]$  дій, які мають чітко визначені критеріальні обмеження:

$$\begin{cases} L_n \leq 0,20 \\ 0,25 \leq Z_n \leq 0,85 \end{cases} \quad (1)$$

Якщо умови (1) виконуються, то можна вважати, що конкретний алгоритм, утому числі і поданий на рис. 1, досить повно враховує можливості людини-оператора (Л-О) щодо його реалізації.

За умов, що критеріальні обмеження, визначені у виразі (1) не виконуються, особливо якщо:

$$Z_n \geq 0,09, \quad (2)$$

то вважається необхідним передати функції Л-О (у нашому випадку – інструктора тренажера) машині, тобто ЕОМ. Таким чином, йдеться про необхідність розробки інтелектуального модулю системи підтримки ПР (СППР) інструктора.

Застосовуючи рекомендації і формули з наукових праць [9-13 та ін.], було встановлено, що для алгоритму на рис. 1 розрахункові показники стереотипності і логічної складності дій інструктора тренажера складають відповідні величини:  $Z_n = 0,58$  і  $L_n = 0,30$ .

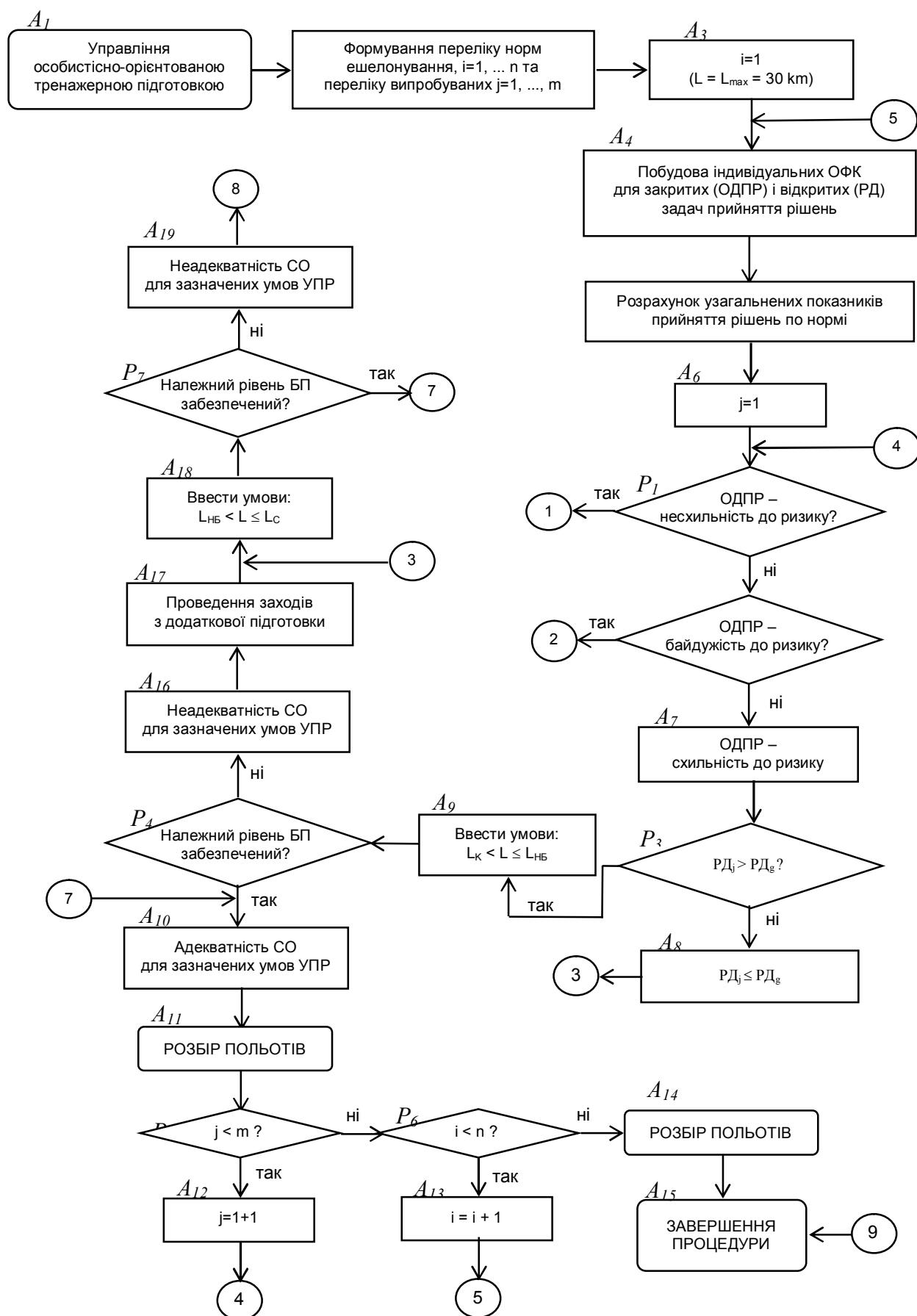


Рисунок 1 – Алгоритмізація організації особистісно-орієнтованої на людський чинник тренажерної підготовки студентів-авіадиспетчерів (фрагмент)

Порівнюючи набуті значення  $Z_n$  і  $L_n$  з критеріальними з виразу (1), можна дійти висновку, що показник стереотипності дій чітко укладається у встановлені границі, тому психофізіологічні можливості «звичайного» інструктора дозволяють йому виконати поданий на рис. 1 алгоритм особистісно-орієнтованої на ЛЧ ТП САД. В той же час отримане значення логічної складності діяльності інструктора в 1,5 разів гірше за граничне значення. Таким чином дійсно, як зазначалося вище, порушується питання про розробку інтелектуального модулю СППР інструктора.

**Висновки.** Узагальнюючи отримані і подані нові наукові результати з ергономічного аналізу професійної діяльності інструктора тренажера, слід вказати на значне її ускладнення під час реалізації запропонованого нами особистісно-орієнтованого на ЛЧ алгоритму ТП САД. А саме, хоча кількісний показник стереотипності діяльності  $Z_n = 0,58$  і укладається в критеріальні обмеження, то показник логічної складності  $L_n = 0,30$  – у півтори рази гірший за них. Виходячи з наведеного, вважаємо доцільним, по-перше, рекомендувати розглянуті процедури оцінювання стереотипності і логічної складності дій на аналіз будь-якої операторської діяльності. По-друге, передбачити в подальших дослідженнях розроблення інтелектуального модулю СППР інструктора тренажера.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рева О. М. Нечітка модель ставлення авіадиспетчера до ризику настання потенційно-конфліктної ситуації / О. М. Рева, С. П. Борсук // *Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж.* – Х. : Національний аерокосмічний ун-т ім. М. С. Жуковського «ХАІ», 2013. - № 10. – С. 214-221.
2. Reva O. Air traffic controllers attitude to the aircraft flight level norms violation / O. Reva, S. Borsuk // *Materials of the 2014 International Conference on Industrial Electronics and Engineering (ICIEE 2014), held in Hong Kong, 1-2 may 2014, – WIT Transactions on Engineering Sciences, Vol. 93.* – pp. 575-582.
3. Reva O. Fuzzy Model of Air Traffic Controller Attitude to the Risk During Decision Making / Alexey M. Reva & Sergey P. Borsuk // *5-th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (АНФЕ – 2014), Kraków, Poland 19-23 July 2014.* – P. 6229-6238.
4. Борсук С. П. Особливості ставлення диспетчерів керування повітряним рухом до поздовжніх та поперечних норм ешелонування / С. П. Борсук // *Електротехнічні та комп'ютерні системи.* – Одеса, 2015. – № 17 (93). – С. 55-62.
5. Рева О. М. Вплив специфіки застосування норми ешелонування на особливості прояву рівнів домагань авіадиспетчерів / О. М. Рева, С. П. Борсук // *Науковий Вісник Херсонської державної морської академії : наук. ж.* – Херсон : ХДМА, 2015. - № 1 (12). – С. 281-289.
6. Reva O. M. Appliance of area under air traffic controller estimate function for main decision taking dominant determination / O. M. Reva, S.P.Borsuk // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж.* – Х. : Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», 2015. - № 7 (134). – С. 157-163.
7. Reva O. Research of air traffic control students proportion concerning their attitude to risk / O. Reva, S. Borsuk // *International Conference on Industrial Technology and Management Science (ITMS 2015) March 27-28, 2015 Tianjin, China. / Atlantis Press, Computer Science Research (volume 34).* – pp. 1631-1634.
8. Reva O. M. Air Traffic Control Students Tendencies of Desirability Levels during Flight Norms Violations / O. M. Reva, S. P. Borsuk // *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 2015 26-30 July, Las Vegas, Nevada, USA, Procedia Manufacturing, Volume 3, 2015, P. P. 3049-3053.*
9. *Справочник по инженерной психологии/Под ред. Б.Ф. Ломова.- М.:*



Машиностроение, 1982.- 368с.

10. Шибанов Г. П. Количественная оценка деятельности человека в системах «человек-техника» / Г. П. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.

11. Основы инженерной психологии : учеб. для вузов / Б. А. Душков, Б. Ф. Ломов, В. Ф. Рубахин [и др.] ; под ред. Б. Ф. Ломова. - М. : Высшая школа, 1986. – 448 с.

12. Эргономические методы и средства тренажерной подготовки летного состава: научно-практические рекомендации / А. Н. Рева, А. А. Комаров, В. А. Кузнецов [и др.]; под ред. А. Н. Ревы, М. И. Рубца. – Кировоград : ГЛАУ, 1995. – 106 с.

13. Невиницын А. Н. Алгоритмические модели как средство исследования факторного резонанса и соответствия процедур деятельности психофизиологическим возможностям авиационных операторов / А. Н. Невиницын, И. В. Старченко // Проблемы аеронавігації : тематич. зб. наук. пр. – Кіровоград : ДЛАУ, 1997. - Вип. III. Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів. – С. 69-75.

## **АПРОБАЦІЯ СТРАТЕГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДБАЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕК ХАРАКТЕРНИХ ПОМИЛОК ДИСПЕТЧЕРІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ**

**Рева О.М.**

*Національний авіаційний університет*

(м. Київ, Україна);

**Насіров Ш.Ш.**

*Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS,*

(м. Баку, Азербайджанська Республіка)

Людський чинник (ЛЧ) вже більш століття є першопричиною більшості авіаційних подій (АП) та інцидентів. Причому найбільший вплив на безпеку польотів (БП), як позитивний, так і негативний, здійснюють авіаційні оператори (АО) «переднього краю» (диспетчери обслуговування повітряного руху (ОПР), члени льотного екіпажу (ЧЛЕ)). Останнім часом було також з'ясовано [1], що саме ЛЧ лежить в основі складної явної і неявної взаємодії і взаємного впливу складових сучасної концепції безпеки польотів (БП) ІКАО, що визначені у праці [2]. Йдеться про «ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов». Таким чином, дослідження зазначеного «ставлення», особливо АО «переднього краю» є перманентно актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої має сприяти зменшенню негативної статистики АП, обумовлених ЛЧ.

«Ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов» визначається через: основні доміанти прийняття рішень (ПР), нечітке оцінювання ризику, рівнями домагань (РД), системами переваг (СП), які є найменш дослідженими серед інших складових зазначеного «ставлення». З урахуванням рекомендацій праці [3] під СП АО розумітимемо ранжируваний ряд показників і характеристик професійної діяльності. У контексті наших досліджень йдеться про впорядковану множину характерних помилок, яка й визначає ставлення диспетчерів ОПР (ДОПР) до їх безпеки. При цьому було виявлено, що побудова такого роду ранжирувань позитивно впливає на рівень професійної підготовки (ПП) ДОПР і, як наслідок, - на рівень БП, тобто має яскраво виражений проактивний (превентивний) характер. Адже застосування випробуваними ДОПР відповідних експертних процедур (ЕП) з впорядкування характерних помилок, яких припускаються під час ОПР, формує в них стійкі навички з розпізнавання цих помилок, а отже запам'ятовування і запобігання [1; 4-8 та ін.].

Вважається, що групова СП (ГСП) є більш об'єктивною, ніж окрема індивідуальна СП (ІСП). Для побудови ГСП наразі застосовуються такі стратегії ПР [9], що спираються на просту більшість думок; виявляються через підсумовування та усереднення рангів з ІСП експертів, базуються на класичних критеріях ПР; застосовують оптимальне передбачення. Перші з трьох перелічених стратегій пройшли успішну апробацію у працях [4-8 та ін.] під час перетворення ІСП ДОПР на множинні характерних помилок (табл. 1) у ГСП. Отримані ГСП бути остаточно оптимізовані за допомогою медіани Кемені [10]. Однак, поза увагою залишилися така стратегія групових рішень, як оптимальне передбачення. Сутність цієї стратегії полягає у тому, що слід вибирати таку ГСП, на основі якої можна найкращим (оптимальним) чином передбачити індивідуальні переваги альтернатив (в нашому випадку – характерних помилок, яких припускаються ДОПР в процесі професійної діяльності).

Передбачення вважається кращим, якщо середня «втрата» за умов його застосування є мінімальною. Щоб оцінити такого роду помилку-«втрату», порівнюються пари альтернатив у груповому впорядкуванні, на основі якого здійснюються передбачення, з парними упорядкуваннями в ІСП випробуваних експертів. Помилка виникає, коли перевага між парами виявляється іншою, ніж та, яка була передбачена у нібито «правильній» СП.

Вводиться поняття *функції втрати*, яка кожному передбаченню індивідуальної переваги на основі групового впорядкування приписує дійсне число (зазвичай «1» та «0»),

яке й є оцінкою помилки. Вважається, що ця функція є безперервною і монотонно зростає з ростом величини помилки передбачення. Зазначене порівняння ілюструє рис. 1.

Таблиця 1 – Характерні помилки, яких припускаються авіадиспетчери в процесі безпосереднього управління повітряним рухом

П <sub>i</sub>	Зміст помилки
1	2
П <sub>1</sub>	Порушення фразеології радіообміну
П <sub>2</sub>	Неузгодженість входу повітряного судна в зону суміжного управління повітряним рухом
П <sub>3</sub>	Порушення побіжних часових інтервалів
П <sub>4</sub>	Порушення зустрічних часових інтервалів
П <sub>5</sub>	Порушення інтервалів між повітряними судами, які знаходяться на курсах, що перетинаються
П <sub>6</sub>	Безадресна передача повідомлень авіадиспетчером
П <sub>7</sub>	Помилка у визначенні позивного повітряного судна
П <sub>8</sub>	Помилка в ідентифікації повітряного судна
П <sub>9</sub>	Помилкове використання диспетчерського графіку
П <sub>10</sub>	Відсутність на стріпі позначки авіадиспетчера про передачу управління суміжному диспетчерському пункту
П <sub>11</sub>	Відсутність на стріпі позначки диспетчера щодо узгодження входу повітряного судна в зону управління повітряним рухом суміжного диспетчерського пункту
П <sub>12</sub>	Порушення авіадиспетчером узгодженого географічного рубежу передачі управління повітряним рухом
П <sub>13</sub>	Порушення авіадиспетчером узгодженого часового рубежу передачі управління повітряним рухом
П <sub>14</sub>	Недбалість в нанесенні на стріп літерно-цифрової інформації (можливість двоякої інтерпретації)
П <sub>15</sub>	Неекономічне управління повітряним рухом
П <sub>16</sub>	Порушення процедури прийому і здачі чергування
П <sub>17</sub>	Не відображення на стріпі виданих команд щодо зміни висоти або напрямку польоту
П <sub>18</sub>	Спроба керувати повітряним судном після спрацьовування на ньому системи TCAS режимі resolution advice
П <sub>19</sub>	Помилки вводу інформації про повітряне судно в автоматизовану систему
П <sub>20</sub>	Порушення технології праці при особливих випадках у польоті
П <sub>21</sub>	Порушення в використанні повітряного простору

$$\left. \begin{array}{l}
 \Pi_{ik} \succ \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \succ \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \prec \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \prec \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \approx \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \approx \Pi_{j1}
 \end{array} \right\} \Rightarrow f_{i1}^{\text{втр.}} = 0$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \Pi_{ik} \succ \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \prec \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \prec \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \approx \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \prec \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \succ \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \prec \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \approx \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \approx \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \succ \Pi_{j1} \\
 \Pi_{ik} \approx \Pi_{jk} \Leftrightarrow \Pi_{i1} \prec \Pi_{j1}
 \end{array} \right\} \Rightarrow f_{i1}^{\text{втр.}} = 1$$

Рисунок 1 – Процедура встановлення значення функції «втрати» при попарному порівнянні альтернатив з різних систем переваг

Отже, з множини  $m=34$  отриманих у [6] ІСП слід вибрати таку, що має мінімальні середні «втрати», пов'язані з передбаченням. Припустивши, що найкращим «вимірювачем» небезпеки помилок є ДОПР<sub>1</sub>, розбиваємо на попарні порівняння його ІСП та досліджуємо їх збіг з думками ДОПР<sub>2</sub> (табл. 2). При цьому зрозуміло, що якщо у якості ГСП буде обрано ІСП ДОПР<sub>1</sub>, то його особисті «втрати» будуть дорівнювати « 0 ». Послідовно «призначаючи» кожного з випробуваних ДОПР ідеальним «вимірювачем» небезпеки помилок за аналогією були визначені також і відповідні абсолютні і середні втрати (табл. 3). Як бачимо з табл. 3, середній показник «вtrat» для усіх  $m=34$  ДОПР складає величину  $\bar{f}_{втр.} = 0,24$ . Найкращим «вимірювачем» небезпек досліджуваних помилок слід вважати ДОПР<sub>63</sub>, оскільки належний йому інтегративний показник



За допомогою такої стратегії групових рішень, як підсумовування і усереднення рангів бу де  $\gamma_g, \approx_g$  – позначка відповідно переваги та адекватності помилок за рівнем небезпеки у ГСП ДОПР.

Таблиця 3 – Показники «втрат» під час вибору групової системи переваг на множині характерних помилок за допомогою стратегії оптимального передбачення

Базова система переваг, визначена	Абсолютні втрати, $f_{ДОПР_i}^{втр.}$	Відносні «втрати», $\bar{f}_{ДОПР_i}^{втр.}$	Максимальна «втрата»	Мінімальна «втрата»	
1	2	3	4	5	
Системою переваг АД <sub>1</sub>	1424	0,20	$f_{ДОПР_{62}}^{втр.} = 0,28$	$f_{ДОПР_{57}}^{втр.} = 0,07$	
Системою переваг АД <sub>2</sub>	1898	0,27	АД <sub>59</sub> =0,38	АД <sub>57</sub> =0,19	
Системою переваг АД <sub>5</sub>	1698	0,25	АД <sub>23</sub> =0,32	АД <sub>20</sub> =0,17	
Системою переваг АД <sub>6</sub>	1788	0,25	АД <sub>23</sub> =0,36	АД <sub>44</sub> =0,18	
Системою переваг АД <sub>12</sub>	1948	0,28	АД <sub>13</sub> =0,35	АД <sub>40</sub> =0,18	
Системою переваг АД <sub>13</sub>	1782	0,25	АД <sub>13</sub> =0,35	АД <sub>1</sub> =0,16	
Системою переваг АД <sub>14</sub>	1715	0,24	АД <sub>60</sub> =0,32	АД <sub>51</sub> =0,19	
Системою переваг АД <sub>15</sub>	1772	0,25	АД <sub>6</sub> =АД <sub>51</sub> =0,31	АД <sub>23</sub> =АД <sub>47</sub> =0,19	
Системою переваг АД <sub>16</sub>	1775	0,25	АД <sub>62</sub> =0,32	АД <sub>42</sub> =АД <sub>57</sub> =0,15	
Системою переваг АД <sub>17</sub>	1665	0,23	АД <sub>40</sub> =0,32	АД <sub>48</sub> =0,18	
Системою переваг АД <sub>20</sub>	1597	0,22	АД <sub>17</sub> =0,30	АД <sub>1</sub> =0,14	
Системою переваг АД <sub>23</sub>	1844	0,26	АД <sub>6</sub> =0,36	АД <sub>15</sub> =0,19	
Системою переваг АД <sub>30</sub>	1669	0,23	АД <sub>59</sub> =0,34	АД <sub>52</sub> =0,14	
Системою переваг АД <sub>36</sub>	1853	0,26	АД <sub>62</sub> =0,38	АД <sub>51</sub> =0,02	
Системою переваг АД <sub>39</sub>	1747	0,24	АД <sub>52</sub> =0,34	АД <sub>54</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>40</sub>	1778	0,25	АД <sub>17</sub> =АД <sub>46</sub> =АД <sub>61</sub> =0,31	АД <sub>55</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>42</sub>	1457	0,20	АД <sub>62</sub> =0,30	АД <sub>1</sub> =0,09	
Системою переваг АД <sub>43</sub>	1730	0,24	АД <sub>45</sub> =0,31	АД <sub>58</sub> =0,04	
Системою переваг АД <sub>44</sub>	1778	0,25	АД <sub>32</sub> =0,37	АД <sub>59</sub> =0,03	
Системою переваг АД <sub>45</sub>	1878	0,26	АД <sub>59</sub> =0,37	АД <sub>60</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>46</sub>	1794	0,25	АД <sub>44</sub> =0,36	АД <sub>61</sub> =0,02	
Системою переваг АД <sub>47</sub>	1778	0,25	АД <sub>2</sub> =0,33	АД <sub>62</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>48</sub>	1400	0,20	АД <sub>15</sub> =0,26	АД <sub>63</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>51</sub>	1819	0,25	АД <sub>45</sub> =0,34	АД <sub>36</sub> =0,02	
Системою переваг АД <sub>52</sub>	1860	0,26	АД <sub>44</sub> =0,37	АД <sub>30</sub> =0,14	
Системою переваг АД <sub>54</sub>	1746	0,24	АД <sub>58</sub> =0,35	АД <sub>39</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>55</sub>	1768	0,25	АД <sub>52</sub> =0,31	АД <sub>40</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>57</sub>	1431	0,20	АД <sub>62</sub> =0,3	АД <sub>42</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>58</sub>	1750	0,25	АД <sub>34</sub> =0,35	АД <sub>43</sub> =0,04	
Системою переваг АД <sub>59</sub>	1841	0,26	АД <sub>2</sub> =0,38	АД <sub>44</sub> =0,03	
Системою переваг АД <sub>60</sub>	1907	0,27	АД <sub>59</sub> =0,37	АД <sub>45</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>61</sub>	1819	0,25	АД <sub>59</sub> =0,37	АД <sub>45</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>62</sub>	1889	0,26	АД <sub>36</sub> =0,38	АД <sub>47</sub> =0,01	
Системою переваг АД <sub>63</sub>	1373	0,19	АД <sub>15</sub> =0,26	АД <sub>48</sub> =0,01	
Статистичні показники	середнє	1734,441	0,2429	0,33	0,08
	дисперсія	23358,56	0,0005	0,0011	0,0058
	середнє квадратичне відхилення	152,8351	0,0222	0,0334	0,0762
	асиметрія	-1,0952	-0,9553	-0,2114	0,2216
	ексцес	3,1917	3,0463	2,0190	1,1154

Було отримано ГСП ДОПР на множині характерних помилок:

$$\begin{aligned}
 & \underset{g}{P_{18}} \succ \underset{g}{P_4} \succ \underset{g}{P_5} \succ \underset{g}{P_{20}} \succ \underset{g}{P_3} \succ \underset{g}{P_{21}} \succ \underset{g}{P_2} \succ \underset{g}{P_{13}} \succ \underset{g}{P_8} \succ \underset{g}{P_{17}} \succ \underset{g}{P_7} \succ \\
 & \succ \underset{g}{P_{12}} \succ \underset{g}{P_{16}} \succ \underset{g}{P_{19}} \succ \underset{g}{P_1} \succ \underset{g}{P_{14}} \succ \underset{g}{P_6} \approx \underset{g}{P_{11}} \succ \underset{g}{P_9} \succ \underset{g}{P_{10}} \succ \underset{g}{P_{15}}
 \end{aligned} \quad (1)$$

Групова СП (1) може бути застосованою у подальших дослідженнях, оскільки, а) є узгодженою (коефіцієнт конкордації Кендалла ( $W_{емп.}=0,742$ ) є статистично-вірогідним на рівні значущості  $\alpha=1\%$  для кількості ступенів свободи  $\nu=n-1=20$  [11]:  $\chi^2_{емп.}=504,71 >> \chi^2_{табл.}=\chi^2_{\alpha=1\%; k=20}=37,566$ ; б) абсолютне значення коефіцієнта конкордації задовольняє такій критеріальній умові [12]:  $W_{емп.}=0,742 > 0,7, \dots, 0,8$ .

Досліджуючи далі ефективність стратегії оптимального передбачення вважаємо необхідним вирішення двох питань: 1) чи є доцільним подальше редукування експертної вибірки шляхом відкидання маргінальних думок, які нескладно встановити з абсолютних та відносних «втрат» кожного ДОПР (табл. 4), збільшуючи тим самим абсолютне

значення коефіцієнта конкордації Кендалла? 2) чи можна встановити якийсь зовнішній критерій, який би підтвердив правильність вибору ГСП, орієнтуючись на кращого у вибірці «вимірювача»? Перше питання вирішується порівнянням середніх витрат за умов послідовного відкидання найгіршого результату щодо збігу думок [11]:

$$\left| \bar{f}_{m_1}^{emp.} - \bar{f}_{m_2}^{emp.} \right| < t_{1-\alpha, k} \sqrt{\left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) D(f^{emp.})}, \quad (2)$$

де  $\bar{f}_{m_1=34}^{emp.} = 1734,4$ ,  $\bar{f}_{m_2=33}^{emp.} = 1668,9$  – середні «втрати», встановлені для вибірок з кількістю експертів  $m_1=34$  та  $m_2=33$  (для кожної ітерації  $m_2=m_1-1$ );  $\alpha=5\%$  – рівень значущості;  $t_{\alpha=5\%; k=65} = 1,997$  – значення теоретичної змінної Стьюдента, яка має  $k=(m_1+m_2)-2$  ступенів свободи і визначається зі спеціальної таблиці [11] для прийнятого рівня значущості  $\alpha$ ;  $D(f^{emp.})$  – середньозважена дисперсія:

$$D(f^{emp.}) = \frac{(m_1 - 1) \cdot D(\bar{f}_{m_1}^{emp.}) + (m_2 - 1) \cdot D(\bar{f}_{m_2}^{emp.})}{(m_1 + m_2) - 2}; \quad (3)$$

$D(\bar{f}_{m_1=34}^{emp.}) = 23358,56$ ,  $D(\bar{f}_{m_2=33}^{emp.}) = 21614,09$  – дисперсії «втрат» у вибірках відповідної розмірності  $m_1$  та  $m_2$ .

Підставляючи усі отримані результати у формулу (2), матимемо:

$$|1734,4 - 1668,9| < 1,997 \sqrt{\left( \frac{1}{34} + \frac{1}{33} \right) \cdot 22499,74} \Rightarrow 66,5 < 73,22.$$

Таким чином, нерівність (2) виконується, а це означає, що статистично-вірогідного покращення показників «втрат» за умов викидання з вихідної вибірки маргінальних думок ДОПР<sub>12</sub> не виявлено. Тому редукування вихідної вибірки експертів недоцільно.

Вирішуючи друге питання було встановлено «втрати» експертної групи за умов, що вираз (1) буде дійсно обрано у якості ГСП. Отримано, що  $f_g^{emp.} = 1233$ ,  $\bar{f}_g^{emp.} = 0,17$ .

Як бачимо, стосовно загального усередненого значення «втрат», поданого у табл. 3 відповідний показник покращився на 40,6 %, а стосовно «втрат» ДОПР<sub>63</sub> – найкращого «вимірювача» вихідної вибірки, – на 11,8 %. Що вимагає проведення подальших досліджень з аналізу «втрат» за умов, що ГСП будуть обиратися за допомогою класичних критеріїв ПР або медіани Кемені. У будь-якому випадку застосування стратегії оптимального передбачення сприяє детальному аналізу ІСП і ГСП, особливо в частині, що стосується встановлення найкращих і найгірших «вимірювачів», що може бути покладено в основу нових коефіцієнтів конкордації (згоди) групових думок. Адже, дійсно, якщо ввести показник:

$$W = 1 - \bar{f}_{emp.}, \quad (4)$$

то він буде змінюватися у добре інтерпретованих експертами межах  $W = [0, 1]$ . Наприклад, для ГСП виду (1) цей показник приймає значення:  $W_g = 1 - f_g^{emp.} = 1 - 0,17 = 0,83$ . В той

час, як для вихідної вибірки ДОПР матимемо:  $W_{m=34} = 1 - \bar{f}_{m=34}^{emp.} = 1 - 0,24 = 0,76$ .

Вважаємо, що предметом подальших досліджень має стати розроблення процедур визначення статистичної вірогідності запропонованого коефіцієнта згоди.

**Висновки** Підсумовуючи отримані і подані нові наукові результати з розвитку експертних процедур, застосовуваних під час ПР в аеронавігаційних системах, вкажемо що вперше у практиці досліджень ЛЧ застосовано стратегію оптимального передбачення для аналізу ІСП і ГСП ДОПР, що ілюструють їх ставлення до небезпек характерних помилок. Таким чином, слід констатувати, що для цілей досліджень ставлення ДОПР до

небезпек характерних помилок нами охоплений весь спектр відомих стратегії групового ПР. Обґрунтовано роль стратегії оптимального передбачення у виборі кращих і гірших «вимірювачів» небезпек. Запропоновано нову процедуру встановлення коефіцієнта конкордації (згоди) думок експертів щодо важливості альтернатив, впорядковуваних у ІСП чи ГСП. Подальші дослідження слід проводити у напрямках як перевірки за допомогою стратегії оптимального передбачення ефективності ГСП, отриманих за допомогою класичних критеріїв ПР та медіани Кемені; так і визначення процедури визначення статистичної вірогідності введеної нами нової інтерпретації коефіцієнта згоди групових думок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ставлення авіаційних операторів «переднього краю» до небезпечних дій або умов професійної діяльності – головний чинник забезпечення безпеки польотів / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. А. Шульгін [та ін.] // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., Херсон, 24-26 травня 2016 р. – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 90-97.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) : Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Изд-е 3-е. - Монреаль, Канада, 2013.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. – Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
4. Насіров Ш. Ш. Пілотне визначення систем переваг авіадиспетчерів Азербайджану на характерних помилках в процесі управління повітряним рухом / Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2010. - № 7. – С. 124-134.
5. Насіров Ш. Ш. Визначення коефіцієнтів важливості характерних помилок авіадиспетчерів в процесі управління повітряним рухом / Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2011. - № 9. – С. 195-201.
6. Насіров Ш. Ш. Багатокрокова процедура виявлення статистично-узгодженої системи переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок їх діяльності / Ш. Ш. Насіров // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. – Вип. 105. – Сер. Технічні науки і архітектура. - Х. : ХНАМГ, 2012. – С. 461-475.
7. Теоретические модели групповых систем предпочтений авиадиспетчеров, базирующиеся на классических критериях принятия решений / А.Н. Рева, В.В. Камишин, Ш.Ш. Насиров, Д.С. Алексеев // Elmi məsələlər: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin, - Bakı, iyul – sentyabr 2012. – Cild.14. – № 3. – С.37-45.
8. Эмпирические модели оценки риска-неопределенности групповых систем предпочтений авиадиспетчеров / А. Н. Рева, Ш. Ш. Насиров, Б. М. Мирзоев, С. В. Недбай // Elmi məsələlər: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin, - Bakı, iyul – sentyabr 2012. – Cild. 14. – № 3. – С. 46–60.
9. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений / Ю. Козелецкий ; под ред. Б. В. Бирюкова ; пер. с польск.: Г. Е. Минца, В. Н. Поруса. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.
10. Рева О. М. Медіана Кемені як групова система переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок / О. М. Рева, В. В. Камишин, Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж. – Х.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2012. - № 4 (91). – С. 106-115.
11. Мюллер П. Таблицы по математической статистике / П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 278 с.
12. Тарасов В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: Теория, синтез, эффективность / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. – К. : МАКИС, 2007. - 336 с.

## ОПИС ЕРГАТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЬОТНОГО ЕКІПАЖУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ

**Рева О.М.**

*Національний авіаційний університет*

(м. Київ, Україна);

**Шульгін В.А.**

*Кіровоградська Льотна академія Національного авіаційного університету*

(м. Кропивницький Україна);

**Липчанський В.О.**

*Центрально-Український національний технічний університет*

(м. Кропивницький, Україна)

Враховуючи сумну статистику авіаційних подій, пов'язаних з негативним впливом людського чинника (ЛЧ) на безпеку польотів, перманентно актуальним є дослідження блоків «L (людина: член льотного екіпажу, диспетчер обслуговування повітряного руху (ОПР))», «L–L (людина – людина: льотний екіпаж, диспетчерська зміна)», «L–S (людина – процедури)» моделі SHELL, рекомендованої ІКАО для системного його дослідження [1]. Узагальнюючи результати відповідних досліджень у вказаних напрямках, було здійснено класифікацію властивостей елемента «льотний екіпаж» складної цілеспрямованої поліергатичної організаційної і активної системи керування «льотний екіпаж – повітряне судно (ПС) – середовище – орган ОПР», яка схематично показана на рис. 1.

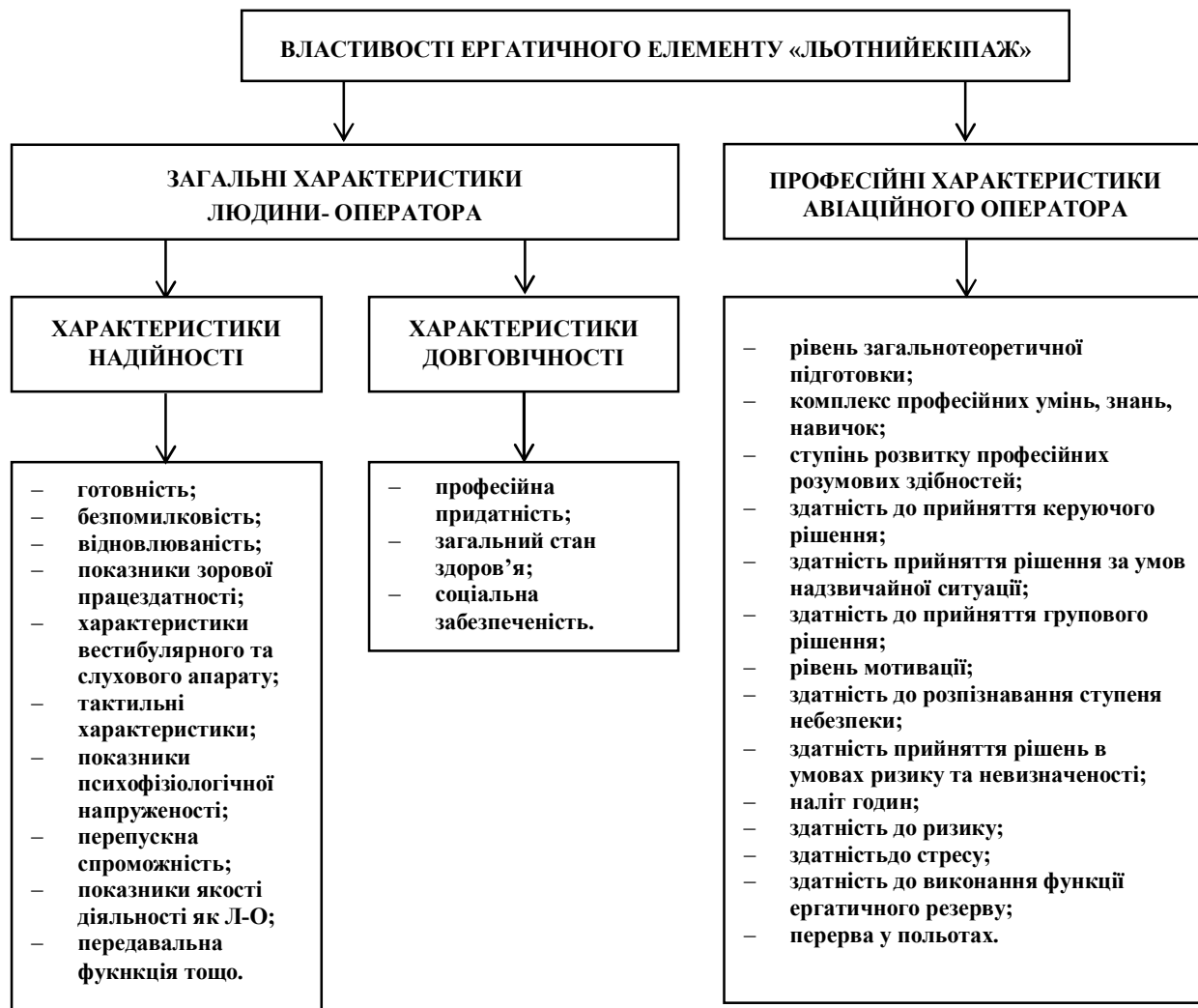


Рисунок 1 – Класифікація властивостей елемента «льотний екіпаж»



Далі застосовуючи метод Дельфі [2; 3], було проведено опитування 30 досвідченіших пілотів-інструкторів зі стажем льотно-методичної роботи не менше 20 років, що дозволило сформуванню переліку більш важливих професійних характеристик льотного екіпажу і надати відповідні кількісні експертні оцінки їх значущості (табл. 1).

Таблиця 1 – Експертні оцінки «ваги» більш значущих характеристик (властивостей) льотного екіпажу

№ з.п.	Характеристика	Експертна оцінка, %
1	2	3
1	Рівень професійної підготовки	$\geq 95$
2	Здатність до прийняття керуючих рішень	$\geq 90$
3	Здатність до прийняття керуючих рішень за умов невизначеності	$\geq 95$
4	Здатність до прийняття групових рішень	$\geq 85$
5	Рівень ергатичної сумісності	$\geq 90$
6	Вміння розпізнавати ступінь небезпеки	$\geq 80$
7	Перерва у польотах	$\approx 20$
8	Схильність до прийняття ризикованих рішень	$\approx 10$
9	Схильність до стресу	$\approx 10$
10	Довід роботи (наліт в годинах)	$\geq 50$

Застосовуючи методологію нечіткої математики [2; 4-6 та ін.], було побудовано ієрархічні структури (функції належності - сумісності) лінгвістичних змінних (ЛЗ) для 10 професійно-важливих властивостей членів льотного екіпажу, поданих у табл. 1. Фрагмент ієрархічних структур відповідних ЛЗ наочно ілюструють рис. 2 та 3.

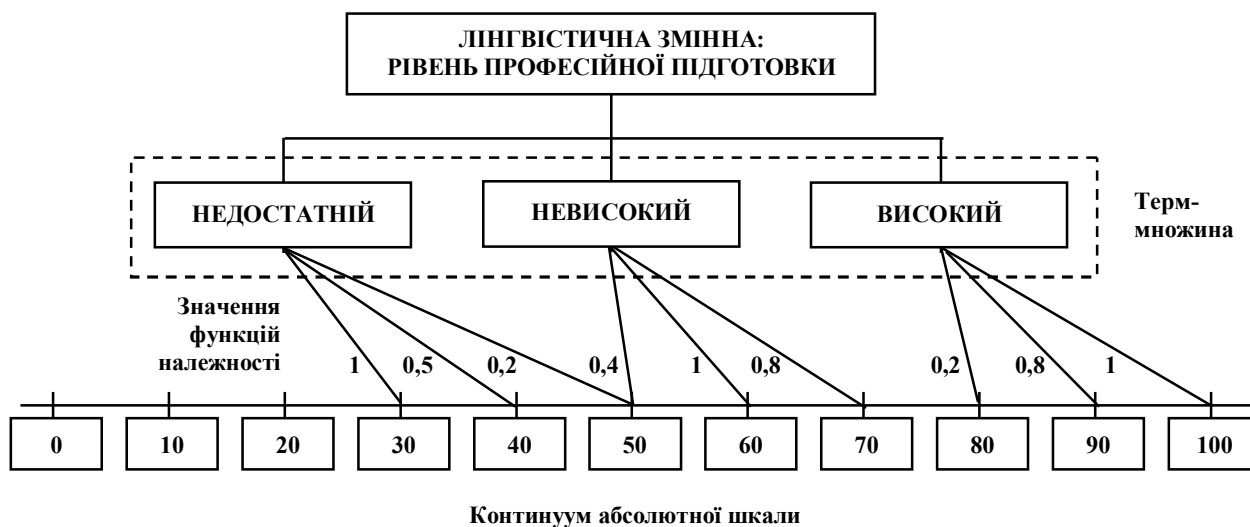
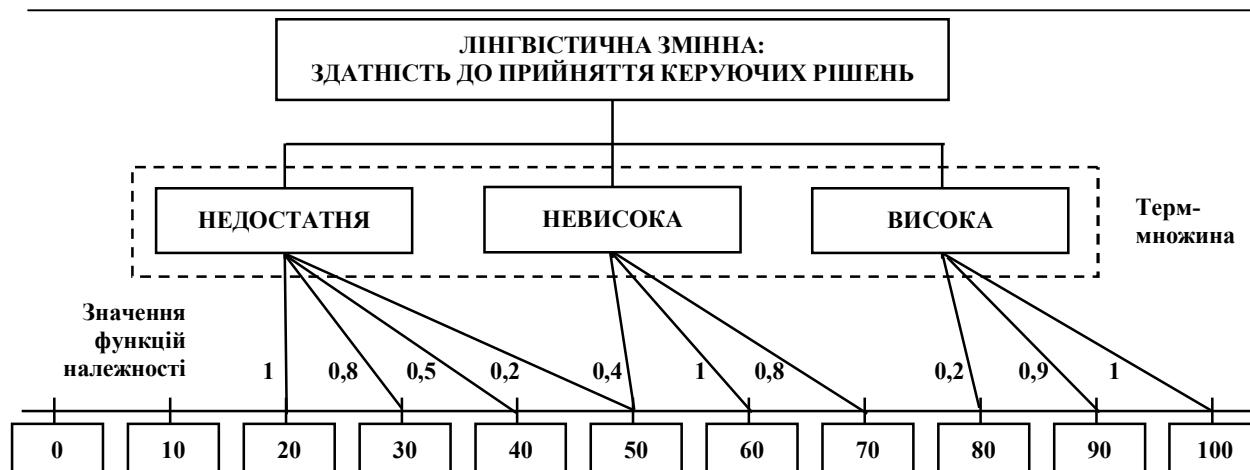


Рисунок 2 – Ієрархічна структура лінгвістичної змінної «Рівень професійної підготовки»

Слід зауважити, що функція належності (сумісності) характеризує нечітке обмеження базової змінної і кожному значенню цієї змінної ставить у відповідність число з інтервалу [0, 1], яке символізує сумісність цього значення з нечітким обмеженням.

За аналогією побудовані ієрархічні структури ЛЗ усього спектру досліджуваних професійно-важливих властивостей членів льотного екіпажу.

Отримані результати були застосовані в подальшому для моделювання і прогнозування ефективності професійної діяльності членів льотного у нормальних і аварійних (штатних і нештатних) польотних ситуаціях.



Континуум абсолютної шкали  
Рисунок 3 – Ієрархічна структура лінгвістичної змінної «Здатність до прийняття керуючих рішень»

**Висновки.** Узагальнюючи отримані і подані нові наукові результати, привернемо увагу до таких найбільш суттєвих положень.

Враховуючи вплив ЛЧ на безпеку авіаційних систем, здійснено класифікацію властивостей ергативного елемента «льотний екіпаж», що враховує як загальні властивості людини-оператора будь-якого профілю, так і специфічні властивості авіаційних операторів «переднього краю». Застосовуючи абсолютну 100-бальну шкалу, проведено експертне оцінення мінімально-прийнятного рівня зазначених властивостей, а також побудовані ієрархічні структури їх спектру з 10 ЛЗ.

Подальші дослідження слід проводити у напрямках моделювання професійної діяльності членів льотного екіпажу як авіаційних операторів «переднього краю» у шатних і нештатних аварійних ситуаціях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор: сб. м-лов № 1. - Циркуляр ИКАО 216 AN / 131. - Монреаль, Канада, 1989. - 34 с.
  2. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. – Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
  3. Самохвалов Ю. Я. Экспертное оценивание: Методический аспект / Ю. Я. Самохвалов, Е. М. Науменко. – К. : ДУИКТ, 2007. – 362 с.
  4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л. ; под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского ; пер. с англ. Н. И. Ринго. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
  5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман ; под ред. С. И. Травкина ; пер. с франц. В. Б. Кузьмина. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
- Борсук С. П. Свойства модификаторов составных термов лингвистических переменных / С. П. Борсук // Електроніка та системи управління : наук. ж. , 2012. – № 3 (33). – С. 152–157.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С АЗИМУТАЛЬНЫМИ ПОДРУЛИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

*Товстокорий О.Н., Лысюк Д.Ю.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

**Вступление.** На данный момент, теоретическая база морских учебных заведений не нацелена на обучение плавсостава судов с системами динамического позиционирования. Несмотря на то, что украинские моряки занимают лидирующие позиции среди командных должностей на судах различных типов, остается возможность улучшения системы обучения по работе на специализированных судах. Развитие системы обучения – это возможность, для моряков и курсантов получения дополнительных знаний и их сертификации.

**Актуальность исследований.** В морских ВУЗах – обучение направленно на классические системы управления судном, достаточно мало времени уделяется специализированным судам и их оснащению. Такое положение вещей, влечет за собой уменьшение активности украинских моряков в оффшорном секторе и других подобных структурах.

**Постановка задачи.** Работа нацелена на развитие системы образования и сертификации моряков, а также курсантов, на базе тренажеров Херсонской государственной морской академии.

С помощью доступной базы тренажеров, предлагается разработать методы обучения, а также методические указания для работы на судах с азимутальными подруливающими устройствами. В качестве примера: предлагается выполнить ряд маневров, с заведомо известной траекторией движения судна (рис. 1).

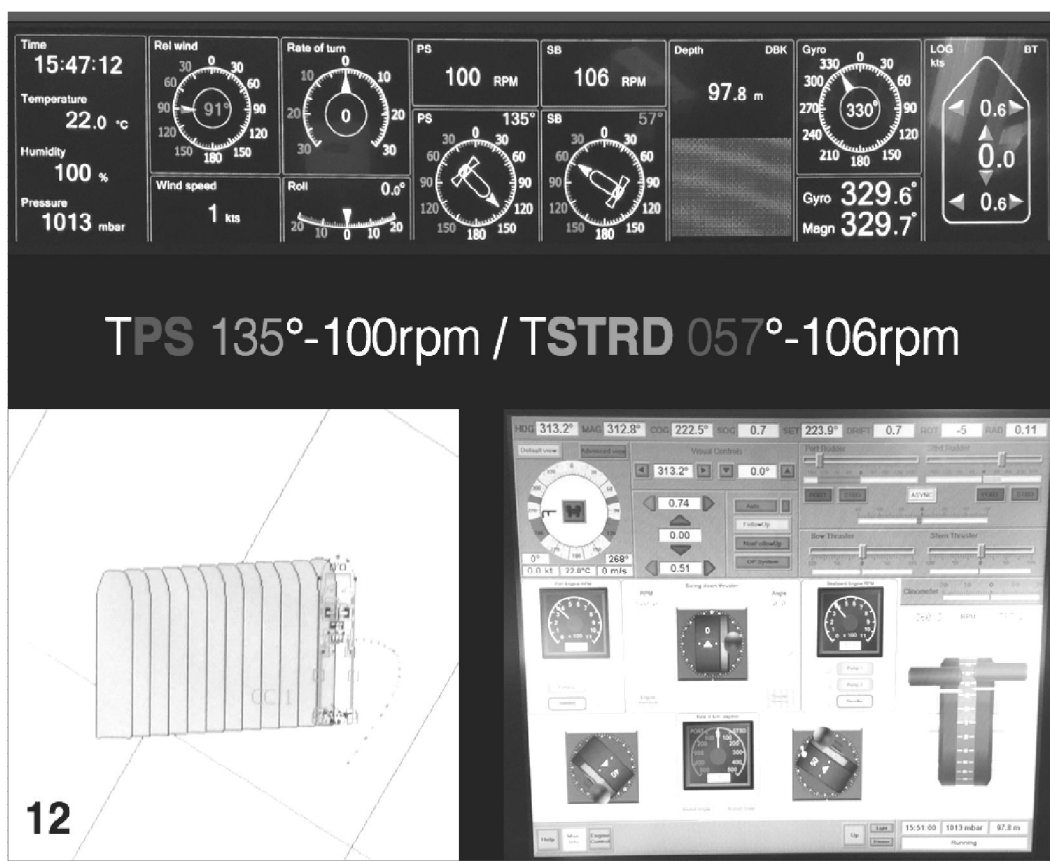


Рисунок 1 – Пример ряда маневров с заведомо известной траекторией движения судна

Развивая методику обучения работы с азимутальными подруливающими устройствами – существует возможность подготовить курсантский состав и действующих моряков, для работы на более широком спектре судов. В последствии, это позволит вывести украинских специалистов на новый уровень, а также повысить ценность морских кадров в отрасли.

**Результаты исследований.** В ходе исследований, удалось провести ряд опытов. В них находилась зависимость положения азимутальных подруливающих устройств с вектором движения судна. На примере (рис. 1), судно двигается лагом, чего удалось добиться систематическим подбором положений подруливающих устройств и оборотов движителей. Для вышеупомянутого случая, результатом оказались следующие данные: 135° и 100rpm, для левого подруливающего устройства и 057° и 106rpm – для правого. После систематизации результатов исследований, достаточно легко применить эти данные для дальнейшего обучения курсантского состава и моряков.

**Выводы.** Для системы образования работа крайне актуальна и перспективна. Следует отметить, что подобные исследования новы и уникальны. Данный подход и современные тренажеры дают толчок к развитию наших специалистов и возможность занять ими более высокое положения в морской отрасли.

**СЕКЦІЯ:  
БЕЗПЕКА СУДНОПЛАВСТВА**

## ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

*Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Вступление.** Обеспечение безопасного судовождения требует высокоточной навигационной информации о позиции судна и его параметрах движения, что существенным образом зависит от закона распределения погрешностей навигационных измерений.

Как следует из анализа статистических материалов, закон распределения погрешностей измерения навигационных параметров может отличаться от нормального закона [1, 2], что обуславливает использование альтернативных законов распределения вероятностей для стохастического описания погрешностей навигационных измерений, и проверку их на материалах натуральных наблюдений, что является темой данной статьи.

**Актуальность исследования.** Исследованию точности локальных радионавигационных систем посвящены работы [3, 4]. Причем в публикации [3] рассмотрены вопросы разработки высокоточных радиолокационных систем обращенного типа, а вопросы обеспечения высокой точности проводки судна в узкости при помощи корреляционных методов навигации обсуждаются в работе [4].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** В данной статье ставится задача проверки статических гипотез распределения погрешностей навигационных измерений, полученных в реальных условиях наблюдений.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Погрешности измерения навигационных параметров  $\xi$  подчинены закону распределения с плотностью  $f(\xi)$ , которая, как следует из анализа обширного статистического материала погрешностей навигационных измерений должна в ряде случаев иметь «утяжеленные» хвосты по отношению к плотности нормального распределения. К таким законам относятся смешанные законы с плотностями [6]:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} \cdot 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, \quad (n \leq 6) \quad (1)$$

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1,5}}, \quad (n \leq 5) \quad (2)$$

где  $\alpha$  - масштабный параметр;  $n$  – существенный параметр.

Выражение (1) является плотностью распределения вероятностей смешанного закона первого типа, а выражение (2) – смешанного закона второго типа, для которых характерно наличие «тяжелых хвостов», причем с ростом существенного параметра смешанный закон распределения приближается к нормальному закону.

Недостатком смешанных законов распределения является то, что они не относятся ни к устойчивым, ни к безгранично-делимым законам и, поэтому, не могут быть использованы в случае зависимых погрешностей навигационных измерений. Этого недостатка лишено обобщенное пуассоновское распределение, плотность которого имеет вид [5]:

$$f(\xi) = \exp(-c) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k}{k!} g^{k*}(\xi).$$

Если в качестве производящей плотности  $g(\eta)$  выбрать плотность нормального закона, то обобщенное пуассоновское распределение с производящей плотностью Гаусса будет выражаться следующим образом:

$$f_G(\xi) = \exp(-c) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k}{k!} \frac{1}{\sqrt{2\pi k \sigma}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2k\sigma^2}\right),$$

или после преобразования:

$$f_G(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp(-c) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2k\sigma^2}\right). \quad (3)$$

Для двух выборок погрешностей измерения дистанции и пеленга РЛС «Наяда-5», которые накапливались в течение продолжительного времени с числом членов каждой не менее 400, проводилась проверка гипотез их распределения по закону Гаусса и обобщенному закону Пуассона (3). При проверке гипотезы распределения погрешностей по закону Гаусса критерий согласия  $\chi^2$  Пирсона обозначен  $\chi_G^2$ , а по обобщенному закону Пуассона –  $\chi_P^2$ . Результаты проверки приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты проверки статических гипотез

Тип погрешности	$n$	$M$	$\mu_2$	$\mu_4$	$\chi_G^2$	$\chi_P^2$
Погрешности D РЛС	462	0,0003 кбт	0,011	0,04235	33,983	17,57
Погрешности П РЛС	400	0,003°	0,64	3,2768	106,96	72,34

Из таблицы следует, что обе выборки погрешностей, полученные в течение продолжительного времени, лучше описываются обобщенным законом Пуассона, так как критерий согласия  $\chi_P^2$  гораздо меньше критерия  $\chi_G^2$ .

Во время рейса в 2015 году выполнялись натурные наблюдения, позволяющие получить погрешности измерения навигационных параметров. Для формирования исходных выборок погрешностей производились серии измерения навигационных параметров количеством более 100 измерений. Навигационные параметры измерялись на стоянке судна, причем с помощью РЛС измерялись дистанция и пеленг на неподвижный ориентир, а с помощью приемника спутниковой навигационной системы GPS фиксировались широта и долгота судна.

В течение рейса было получено 12 выборок погрешностей. В качестве альтернативных законов выбраны нормальный закон и смешанные законы первого (1 2) и второго (2 3) типа. Итоговые результаты натурных наблюдений приведены в табл. 2.

Анализ итоговой таблицы показывает, что погрешности измерения навигационных параметров (пеленга и дистанции), полученные на ограниченном интервале времени (7 часов), подчиняются нормальному закону распределения вероятностей. Погрешности определения широты и долготы на том же интервале времени распределены по смешанным законам обоих типов. Это объясняется тем, что координаты судна рассчитываются по навигационным параметрам (псевдорасстояниям) и погрешности результатов расчета, т.е. координат, могут иметь распределение, отличное от нормального, что и показал анализ третьей и четвертой выборок.

Погрешности измерения пеленга и дистанции, не говоря о погрешностях широты и долготы, на большем интервале времени (сутки и более) подчинены смешанным законам распределения, степень отличия которых от нормального закона пропорциональна интервалу времени измерения серии значений навигационного параметра.

Таблица 2 – Итоговые результаты натурных наблюдений

<i>N</i> выборки	Навигационный параметр	Количество членов	Закон распределения.	$\chi^2$	Длительность наблюдений
1	пеленг	150	Гаусса	0,0065	7 часов
2	дистанция	150	Гаусса	0,006	7 часов
3	широта	150	1-го типа $n=3$	0,0131	7 часов
4	долгота	150	2-го типа $n=1$	0,015	7 часов
5	пеленг	210	1-го типа $n=2$	0,011	1 сутки
6	дистанция	210	2-го типа $n=2$	0,010	1 сутки
7	широта	210	1-го типа $n=6$	0,0094	1 сутки
8	долгота	210	1-го типа $n=1$	0,013	1 сутки
9	пеленг	250	2-го типа $n=3$	0,0088	2 суток
10	дистанция	250	1-го типа $n=4$	0,0088	2 суток
11	широта	250	1-го типа $n=1$	0,010	2 суток
12	долгота	250	2-го типа $n=1$	0,009	2 суток

**Выводы.** Таким образом, погрешности выборки, сформированной в течение времени менее суток подчиняются нормальному закону, при времени формирования выборки до двух суток погрешности распределены по смешанным законам обоих типов, а при длительном периоде времени формирования выборки погрешности подчинены обобщенному пуассоновскому распределению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. – М.: Транспорт, 1989. – 250 с.
2. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426-429.
3. Алексишин В.Г. Перспективы разработки навигационных систем обращенного типа / В.Г Алексишин, Д.А. Бузовский // Судовождение. – 2005. - № 9. – С. 3 – 6.
4. Широков В.М. Результаты имитационного моделирования обсерваций судна в стесненных условиях / В.М. Широков // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 103 – 107.
5. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: -Т.2. / Феллер В. - М.: Мир, 1984.- 751 с.
6. Ткаченко А.С. Смешанные законы распределения погрешностей, плотности которых выражаются в явном виде / Ткаченко А.С.// Судовождение. – 2006. - № 12. – С. 93 – 99.



## НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ МЕСТА СУДНА В ПОЛДЕНЬ

**Бобыр В.А., Райнов А.О.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Вступление.** В Руководстве по планированию навигационного рейса, принятом Резолюцией ИМО А.893(21), предусмотрено, что место судна всегда должно определяться с помощью основных и резервных (вспомогательных) способов. В океанском плавании одним из резервных, а зачастую и единственным является астрономический способ определения места судна.

Для совместного непосредственного определения широты и долготы места в настоящее время используется метод определения широты в полдень во время кульминации Солнца и метод определения долготы места по соответствующим высотам. Общим недостатком этих методов является то, что они не обеспечивают требуемой точности, а определение долготы места по соответствующим высотам ограничено требованиями современной теории мореходной астрономии высотами Солнца от  $75^\circ$  до  $85^\circ$  [1].

**Актуальность исследования.** Для повышения безопасности мореплавания требуется увеличение возможностей астрономического определения места судна, в первую очередь, повышение точности определения координат места судна в полдень - его широты и долготы, а также расширения диапазона высот Солнца для использования метода определения долготы места по соответствующим высотам.

В работе [2] показано, что точность определения широты и долготы места кроме погрешностей в измеряемой высоте светила существенно зависит как от географических координат места судна, так и от места полюса освещенности светила на поверхности Земли. Однако в настоящее время эта зависимость не учитывается.

**Постановка задачи.** В данном исследовании ставится цель обосновать практическую возможность повышения точности непосредственного определения широты и долготы места судна астрономическим способом по Солнцу в полдень и для этого определить:

- 1) условия, при которых влияние географических координат места судна и места полюса освещенности светила на поверхности Земли на точность определения широты места судна сводится до допустимого значения;
- 2) порядок определения времени измерения первой соответствующей высоты;
- 3) условия, при которых нет необходимости учитывать погрешности определения долготы места судна, обусловленные погрешностями счисления пути;
- 4) порядок приведения соответствующих высот к одному склонению;
- 5) порядок измерения высот Солнца секстаном.

**Результаты исследования.** В работе [2] показано, что погрешность в определяемой широте места судна зависит от величины измеренной высоты, координат места судна, координат полюса освещенности выбранного для наблюдений светила и погрешностей в измеряемой высоте и определяется по формуле:

$$\Delta\varphi_h = \cosh \cdot (\cos\varphi \cdot \sin\delta - \sin\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t_m)^{-1} \cdot \Delta h, \quad (1)$$

где  $h$  – высота Солнца;  $\varphi$  – широта места судна;  $\delta$  – склонение Солнца;  $t_m$  – местный часовой угол Солнца;  $\Delta h$  – погрешность в измеряемой высоте Солнца.

Примем, что погрешность измерения высоты Солнца секстаном  $\Delta h$  равна стандартной погрешности  $1',0$  [3]. С учетом того, что во время кульминации  $t_m = 0^\circ$  или  $180^\circ$  и  $\cos t_m = 1$ , выражения для расчета высоты Солнца  $h$  во время кульминации, при которой влияние географических координат места судна и места полюса освещенности

светила на поверхности Земли на погрешность в определении широты места судна ограничивается величиной  $\Delta\varphi_h = \Delta h \leq 1'$ , получим из (2):

$$\cosh = \cos \varphi \cdot \cos \delta - \sin \varphi \cdot \cos \delta. \quad (2)$$

При меньшей высоте Солнца  $h$  во время кульминации, чем рассчитанной по формуле (2), погрешность в широте места судна  $\Delta\varphi_h$ , определяемой по меридиональной высоте Солнца, будет больше  $1'$ . Чтобы повысить точность определения широты места судна в этом случае, нужно рассмотреть возможность использования соответствующих высот, как разновременных линий положения.

Влияние географических координат места судна и места полюса освещенности светила можно также учесть выбором времени наблюдений светила для заданного места судна. Для выбора времени наблюдений при погрешности в измеряемой высоте равной  $1',0$  в работе [2] приведено выражение:

$$\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos t_m - \operatorname{sint}_m - \operatorname{tg} \delta = 0, \quad (3)$$

где  $t_m$  - местный часовой угол Солнца, при котором погрешности определения широты места судна из-за влияния координат места судна и координат полюса освещенности отвечают условиям  $\Delta\varphi_h = \Delta h \leq 1'$ . Формулу для расчета  $t_m$  получаем из (3):

$$\operatorname{sint}_m = (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)^{-1} \cdot (-\operatorname{tg} \delta \pm \operatorname{tg} \varphi) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi - \operatorname{tg}^2 \delta + 1}. \quad (4)$$

С другой стороны, погрешность в определении долготы места судна зависит от погрешности в определении местного часового угла кульминации Солнца и от погрешностей счисления пути.

Погрешность в определении местного часового угла кульминации Солнца зависит от погрешности в определении времени нахождения Солнца на соответствующих высотах. Косвенным указателем времени будут идентичные измеряемые высоты. В свою очередь, точность измерения высоты Солнца будет зависеть от скорости изменения высоты и погрешности измерения его высоты.

Для определения времени измерения первой соответствующей высоты зададимся условием, что погрешность в измерении высоты Солнца во время наблюдений должна быть равна скорости изменения высоты на данном азимуте.

Примем условия, что при измерении высоты Солнца погрешность совмещения его края с горизонтом  $\Delta h = 0',2$ , а затраты времени при этом 4 сек. Это соответствует изменению местного часового угла Солнца на одну дуговую минуту  $1'$ . Тогда выражение для определения местного часового угла Солнца  $t_l$ , град., при котором будут соблюдены эти условия, получим из известной в мореходной астрономии формулы  $\sin h$  после ее дифференцирования по  $h$  и  $t_l$ , преобразований и перехода к конечным приращениям и с заменой  $\Delta h = 0',2$ :

$$\operatorname{sint}_l = -0,2 \operatorname{cosh}_{l1} \cdot (\cos \varphi \cdot \cos \delta)^{-1}, \quad (5)$$

где  $t_l$  - местный часовой угол Солнца, при котором нужно измерять первую соответствующую высоту;  $h_{l1}$  - высота Солнца при  $t_l$ .

Из формулы (5) следует, что момент времени для измерения первой соответствующей высоты непосредственно не зависит от высоты Солнца. Этим снимается упомянутое выше ограничение по высотам от  $75^\circ$  до  $85^\circ$ .

Если  $t_l = t_m$ , то соответствующие высоты можно использовать в качестве высотных линий положения для обеспечения условия  $\Delta\varphi_h = \Delta h \leq 1'$ .

Для обеспечения идентичности соответствующих высот необходимо определить условия, при которых нет необходимости учитывать влияние погрешностей счисления пути на погрешности определения долготы места судна. Для этого определим максимальное время  $T_\lambda$ , час. между наблюдениями соответствующих высот Солнца, при

котором стандартные погрешности определения долготы места, обусловленные погрешностями счисления пути, будут на порядок меньше стандартных погрешностей определения долготы, обусловленных погрешностями измерения высот светила. Тогда, принимая, что измерения соответствующих высот Солнца равноточны, поскольку осуществляются одним и тем же наблюдателем и одним и тем же секстаном, на основе [2] получаем:

$$T_{\lambda} = 15 \cdot V^{-1} \cdot \gamma^{-1} \cdot \sec \varphi_{cp} \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

где  $V$  – скорость судна между наблюдениями соответствующих высот Солнца, уз.;  $\gamma$  – число, которое зависит от закона распределения случайной величины – погрешности измерения навигационного параметра и заданной вероятности;  $\varphi_{cp}$  – среднее значение счисляемой широты места судна между наблюдениями соответствующих высот Солнца, град.;  $\alpha$  – угол между курсом судна и осью абсцисс, град.

В случае, если соответствующие высоты будут использоваться в качестве высотных линий положения, как указано выше, то максимальное время между одновременными наблюдениями соответствующих высот Солнца, при котором погрешностями определения широты места, обусловленными погрешностями счисления пути, можно пренебречь, на основе [2] определится по формуле:

$$T_{\varphi} = 15 \cdot V^{-1} \cdot \gamma^{-1} \cdot \cos \alpha. \quad (7)$$

Для обеспечения идентичности измерений высот необходимо внести поправку к первой измеренной соответствующей высоте за изменение склонения Солнца между наблюдениями соответствующих высот. Эту поправку получим из упомянутой выше формулы  $\sin h$  после ее дифференцирования по  $h$  и  $\delta$ , преобразований и перехода к конечным приращениям:

$$\Delta h_{\delta} = -\Delta \delta \cdot \sec h \cdot (\cos \varphi \cdot \sin \delta \cdot \cos t_1 - \sin \varphi \cdot \cos \delta), \quad (8)$$

где  $\Delta \delta$  – часовое изменение склонения Солнца, выбирается из МАЕ.

Поправка за приведение первой измеренной соответствующей высоты за перемещение судна между измерениями высот к зениту второй соответствующей высоте определяется на основе известной формулы приведения высот к одному зениту [4]:

$$\Delta h_z = 0,07 \cdot V \cdot t_1 \cdot \cos(180^{\circ} - ИК) \quad (9)$$

где  $\Delta h_z$  – изменение высоты Солнца за промежуток времени в минутах, соответствующий изменению местного часового угла Солнца на величину  $2t_1$ ;  $t_1$  – местный часовой угол Солнца, при котором необходимо измерять первую соответствующую высоту, определяемый по формуле (5), в мин. времени;  $ИК$  – истинный курс судна, град.

При определении широты места используется один секстан и порядок проведения наблюдений следующий:

- 1) для заданных счисляемых координат места судна предвычисляется судовое время кульминации и высота Солнца во время кульминации, например, с помощью электронного альманаха;
- 2) по формуле (2) рассчитывается оптимальная высота Солнца;
- 3) если оптимальная высота Солнца больше или равна его высоте во время кульминации, то широта места судна определяется по меридиональной или наибольшей высоте Солнца одним секстаном;
- 4) если оптимальная высота Солнца меньше его высоты во время кульминации, то рассчитываются  $t_l$  и  $t_m$  по формулам (4) и (5); при  $t_l = t_m$  широта места определяется по соответствующим высотам, принимая их за одновременные высотные линии положения;
- 5) если  $t_l < t_m$ , то по формулам (1) и (2) рассчитываются  $\Delta \varphi_h$  с учетом погрешностей определения широты места, обусловленными погрешностями счисления

пути, и при  $T_\varphi < t_m$ , исходя из того, что меньше, широта определяется по меридиональной или наибольшей высоте Солнца либо по соответствующим высотам, как по разновременным высотным линиям положения.

При определении долготы места используется другой секстан и порядок проведения наблюдений следующий:

1) по формуле (5) рассчитывается  $t_1$ , при котором нужно измерять первую соответствующую высоту, и  $T_\lambda$  по формуле (6) для оценки и учета, если необходимо, влияния погрешностей счисления пути;

2) рассчитываются поправки к первой соответствующей высоте за изменение склонения Солнца по формуле (8) и за приведение к зениту второй соответствующей высоты по формуле (9);

3) в момент времени, соответствующий  $t_1$ , вторым секстаном измеряется первая высота и засекается гринвичское время  $t_{gp1}$ ;

4) в секстан вводятся поправки за изменение склонения и за приведение к одному зениту путем вращения винта алидады в ту сторону, куда он вращался при измерении первой соответствующей высоты;

5) при приходе Солнца на высоту, установленную на секстане, засекается гринвичское время  $t_{gp2}$ ;

6) рассчитывается гринвичское время кульминации Солнца, как  $t_{gpk} = t_{gp1} + (t_{gp2} - t_{gp1})/2$ ;

7) определяется гринвичский часовой угол кульминации Солнца;

8) долгота места определяется, как разница между  $0^\circ$  или  $180^\circ$  и гринвичским часовым углом кульминации Солнца.

Фигурой погрешности, характеризующей точность определения широты и долготы по предлагаемой методике, будет прямоугольник. Одна его сторона ориентирована по направлению N-S и равна  $\pm \gamma \cdot \Delta\varphi_h$ , а другая ориентирована по направлению O-W и равна  $\pm \gamma \cdot \Delta\lambda$ . Здесь  $\Delta\lambda$  – погрешность определения гринвичского времени кульминации Солнца. Расчеты показывают, что с учетом принятых выше условий  $\Delta\varphi_h$  не превысит  $1'$ , а  $\Delta\lambda$  –  $1',4$ .

**Выводы.** Таким образом, разработанная нами методика определения широты и долготы места судна по Солнцу в полдень позволяет значительно повысить точность определения широты и долготы места судна за счет:

1) уменьшения влияния случайных погрешностей метода, обусловленных географическими координатами места судна и положением полюса освещенности светила на поверхности Земли при определении широты;

2) исключения влияния систематических погрешностей измерения соответствующих высот Солнца при определении долготы.

Для эффективного внедрения предложенного метода в практику судовождения требуется разработка компьютерных программ для автоматических расчетов по обеспечению приведенного выше порядка проведения наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Красавцев Б.И. Мореходная астрономия: учебник для вузов. – М. : Транспорт, 1986. – 255 с.

2. Бобырь В.А., Райнов А.О. Чувствительность судовой эргатической функции определение места судна / Судовождение: Сб. научн. трудов / НУ ОМА, Вып.27. – Одесса : «ИздатИнформ», 2017. – С.25-35.

3. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М. : Транспорт, 1969. – 256 с.

4. Мореходные таблицы (МТ-75). – М. : Министерство обороны СССР, Главное управление навигации и океанографии. 1975. – 322 с.

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НА КОНТЕЙНЕРОВОЗЕ

**Бобыр В.А., Тимошенко А.В.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Вступление.** Предотвращение проявления «человеческого фактора» остается серьезной проблемой на транспорте. Для контроля над «человеческим фактором» на морском флоте в настоящее время применяются различные системы менеджмента. Это International Safety Management Code (ISM Code), International Code for the Security of Ships and Port Facilities (ISPS Code), International Standards: 1) ISO 9001:2015 «Quality Management Systems», 2) ISO 14001: 2015 «Environmental Management Systems», 3) ISO 50001: 2011 «Energy Management Systems»; 4) OHSAS 18001:2007 «Occupational Health and Safety Management Systems» и др. В основе предотвращения проявления «человеческого фактора» с помощью систем менеджмента лежит менеджмент рисками.

Однако практика показала, что одних систем менеджмента для контроля над «человеческим фактором» оказалось недостаточно. Поэтому в дополнение к системам менеджмента, например, в авиации и на железнодорожном транспорте стали использоваться эргатические системы, которые реализуются с помощью судовых эргатических функций (СЭФ). При этом одни и те же эргатические системы должны обеспечивать достижение разных целей систем менеджмента [1].

**Актуальность исследования.** Эргатическая функция – это любое изменение энтропии связи элементов внутри эргатической системы и ее связей с внешней средой, рассматриваемыми с точки зрения производственных целей и задач. Эргатические функции определяют связь между эксплуатационными и/или финансовыми показателями действия экономических законов и показателями действия законов природы. На практике – это связь между действиями оператора и результатами его действий.

В каждой судовой системе менеджмента СЭФ является подсистемой, с помощью которой достигается цели системы менеджмента и обеспечивается ее результативность и эффективность. До настоящего времени возможность уменьшения энтропии связей с помощью СЭФ на морском флоте не принималась во внимание. Однако именно через СЭФ реализуются цели систем менеджмента.

Любая СЭФ состоит из структурных элементов системы менеджмента: 1) организационной структуры; 2) должностных обязанностей; 3) правил выполнения работ; 4) ресурсов: операторов (членов экипажа), инфраструктуры (судна, его оборудования и технических систем), рабочей среды; 5) отчетных документов, 6) действий операторов. В основе уменьшения энтропии связей лежат оценки вероятностных состояний структурных элементов СЭФ, как их способность обеспечивать цели системы менеджмента с заданной степенью вероятности.

**Постановка задачи.** В данном исследовании ставится задача разработать методику для оценки на контейнеровозах вероятностного состояния структурных элементов СЭФ и на этой основе самой СЭФ в целом.

**Результаты исследования.** При реализации СЭФ ее структурные элементы образуют конечное множество параметров –  $P_{\Sigma} \subseteq (P_{\alpha}, P_{\beta}, P_{\gamma}, P_{\delta}, P_{\varepsilon}, P_{\zeta})$ . Здесь  $\Sigma = 1, 2, \dots, \sigma$ ; а  $\sigma$  – суммарное количество параметров структурных элементов СЭФ.

Каждый структурный элемент имеет свои конечные множества параметров: 1) организационная структура –  $P_{\alpha}$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, g$ ); 2) должностные обязанности –  $P_{\beta}$  ( $\beta = 1, 2, \dots, h$ ); 3) правила выполнения работ –  $P_{\gamma}$  ( $\gamma = 1, 2, \dots, k$ ); 4) ресурсы –  $P_{\delta}$  ( $\delta = 1, 2, \dots, l$ ); 5) отчетные документы –  $P_{\varepsilon}$  ( $\varepsilon = 1, 2, \dots, m$ ); 6) действия операторов –  $P_{\zeta}$  ( $\zeta = 1, 2, \dots, n$ ); где  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$  и  $\zeta$  – количество параметров каждого структурного элемента.

Параметры каждого структурного элемента СЭФ в отдельности являются независимыми событиями, так как вероятность появления одного из них не зависит от появления или не появления другого. Тогда вероятность совместного появления параметров одного структурного элемента СЭФ равна произведению вероятностей появления ее параметров. При этом параметры структурных элементов СЭФ при совместной ее реализации:

1. Образуют полную группу событий, так как в результате реализации СЭФ обязательно должен проявиться хотя бы один из параметров структурных элементов. Например, СЭФ подготовка контейнеровоза к приему груза. На судне эта СЭФ реализуется неоднократно. Поэтому фактические характеристики состояния хотя бы одного из структурных элементов этой СЭФ будут соответствовать параметрам, определенным требованиями системы менеджмента для данных условий проведения грузовых операций.

2. Являются совместными событиями, так как появление одного из них не исключает появления других в одной и той же реализации СЭФ. Это очевидно, поскольку для реализации СЭФ в соответствии с целями системы менеджмента требуется одновременное качественное и количественное наличие всех параметров у всех структурных элементов.

3. Представляют собой зависимые события – вероятность появления одного из них зависит от того, наступит или не наступит другое событие. Это означает, что появление одного события влечет за собой появление другого. Подтверждением зависимости событий на контейнеровозе является процессный подход в системах менеджмента, согласно которому окончание одного действия является началом следующего.

4. Могут представлять собой произведение событий – это событие, состоящее в одновременном наступлении всех событий. Например, вахтенный помощник выполнил все действия, указанные в его должностных обязанностях, что обеспечило реализацию СЭФ в соответствии с требованиями целей системы менеджмента.

5. Могут являться суммой событий – событием, состоящим из наступления хотя бы одного из событий. Эта особенность вытекает из того, что параметры структурных элементов СЭФ, как случайные события, образуют полную группу событий.

На этой основе при реализации СЭФ вероятность совместного появления независимых параметров структурных элементов СЭФ равна произведению вероятности одного из структурных элементов на условные вероятности всех остальных, причем вероятность каждого последующего события вычисляется в предположении, что все предыдущие уже появились.

В промышленности доверительная вероятность нормируется – в большинстве случаев это «две сигмы» или «три сигмы». На высокотехнологичных предприятиях доверительная вероятность устанавливается на уровне «шести сигм».

На морском флоте Резолюцией ИМО А.953(23) вероятностное состояние СЭФ нормируется, например, для СЭФ определение места судна доверительной вероятностью 0,95 («две сигмы»).

Оценки вероятностных состояний параметров структурных элементов СЭФ, полученные на основе данных анализа статистики опасных происшествий на контейнеровозах показывают, оказались следующими:

- 1) организационная структура  $P_a = 0,99$ ;
- 2) обязанности  $P_b = 0,96$ ;
- 3) правила  $P_\gamma = 0,97$ ;
- 4) ресурсы  $P_\delta = 0,03$ ;
- 5) действия операторов  $P_\zeta = 0,02$ ;
- 6) отчетные документы  $P_\epsilon = 0,98$ .

Это дает основания считать, что оценки вероятностных состояний параметров двух структурных элементов СЭФ – действий членов экипажа  $P_{\zeta}$  и ресурсов  $P_{\delta}$  являются определяющими при оценке ее вероятностного состояния. Оценки остальных вероятностных состояний структурных элементов больше доверительной вероятности 0,95. Поэтому они вполне достаточны для доверительной вероятности СЭФ и на данном этапе исследований СЭФ на контейнеровозах их можно пока не рассматривать.

Учитывая, что условные вероятности независимых событий равны их безусловным вероятностям, получаем оценку вероятностного состояния СЭФ:

$$P_{\delta, \zeta} = P_{\delta}^2 \cdot P_{\zeta} \quad (1)$$

Используя свойство параметров структурных элементов СЭФ являться суммой событий для случая ее совместной реализации, представим вероятности событий совместного появления параметров структурного элемента СЭФ – действия членов экипажа в виде зависимости от вероятностей готовности оператора  $P_z$ , его безошибочности  $P_b$ , своевременности  $P_c$  и восстанавливаемости  $P_e$  [2]:

$$P_{\zeta} = P_z [P_b P_c - (1 - P_b) P_e] \quad (2)$$

Вероятность готовности оператора представляет собой вероятность включения оператора в работу в любой произвольный момент времени:

$$P_z = 1 - t_0 / \tau \quad (3)$$

где  $t_0$  – время, в течение которого оператор не может участвовать в реализации СЭФ;  $\tau$  – общее время реализации СЭФ.

Для обеспечения требуемой вероятности безошибочности оператора при реализации СЭФ можно воспользоваться рекомендациями [3]:

$$P_b = e^{-\sum_{i=1}^n (1 - P_i) \cdot k_i} \quad (5)$$

где  $P_i$  – вероятность безошибочного выполнения  $i$  –ой операции;  $k_i$  – число выполненных действий в  $i$  –ой операции; общее число действий  $i = (1, 2, \dots, n)$ ;

$$P_i = (N_i - m_i) / N_i, \quad (6)$$

где  $N_i$  – число требуемых действий в  $i$  –ой операции;  $m_i$  – число отказов оператора при выполнении действий в  $i$  –ой операции.

Вероятность восстанавливаемости оператора  $P_e$  зависит от вероятностей событий - выдачи сигнала системой контроля  $P_k$ , обнаружения оператором сигнала контроля  $P_{об}$  и исправления оператором ошибочных действий при повторном выполнении операций  $P_u$ . Эти события являются независимыми, поэтому:

$$P_e = P_k \cdot P_{об} \cdot P_u \quad (7)$$

где  $P_k = 1 - m_k / N_k$ ;  $P_{об} = 1 - m_{об} / N_{об}$ ;  $P_u = 1 - m_u / N_u$ ;  $m_k, m_u, m_{об}$  – количество отказов при: 1) выдаче сигнала системой контроля, 2) обнаружении оператором сигнала контроля и 3) исправлении оператором ошибочных действий при повторном выполнении операций;  $N_k, N_{об}, N_u$  – общие числа: 1) сигналов системы контроля, 2) обнаружения оператором сигнала контроля и 3) исправления оператором ошибочных действий при повторном выполнении операций.

Статистическое значение вероятности своевременности оператора может быть получено на основе [2] по одной из формул теории надежности:

$$P_c = 1 - m_c / N_c \quad (8)$$

где  $m_c$  – число отказов в действиях оператора и  $N_c$  – общее число его действий при реализации СЭФ.

Чтобы определить уровень вероятности  $P_\delta$ , который должен обеспечивать структурный элемент СЭФ ресурсы, воспользуемся одним из показателей надежности – вероятностью безотказной работы объекта в интервале времени от 0 до  $\tau$ :

$$P_\delta = N(\tau) / N(0), \quad (9)$$

где  $N(\tau)$  – количество параметров структурного элемента СЭФ ресурсы, оказавшихся в готовности при реализации СЭФ;  $N(0)$  – количество параметров структурного элемента СЭФ ресурсы, необходимых для ее реализации.

Выражение для оценки вероятностного состояния СЭФ контейнеровоза на основе оценок вероятностных состояний параметров структурных элементов - действий членов экипажа и ресурсов получим после подстановок (2) - (9) в (1):

$$P_{\delta,\zeta} = \frac{N(\tau)}{N(0)} \left\{ \frac{1-t_0}{\tau} \left[ e^{-\sum_{i=1}^n \frac{N_i - m_i k_i}{N_i}} \cdot \frac{1 - m_c}{N_c} - \left( 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \frac{N_i - m_i k_i}{N_i}} \right) \frac{1 - m_k}{N_k} \cdot \frac{1 - m_{об}}{N_{об}} \cdot \frac{1 - m_u}{N_u} \right] \right\}^2. \quad (10)$$

**Выводы.** Подученное нами выражение (10) может служить основой для разработки методов уменьшения энтропии СЭФ на контейнеровозах и тем самым обеспечить требуемую вероятность достижения целей судовых систем менеджмента и, в конечном счете, результативности и эффективности этих систем.

На контейнеровозе оценки вероятностного состояния СЭФ, полученные по формуле (10), позволят определить, достигает ли СЭФ доверительную вероятность, установленную ИМО.

Из анализа выражения (10) следует, что величина вероятностного состояния СЭФ может быть определена при наличии на судне таких статистических данных, как:

- 1) количество отказов оператора;
- 2) время, в течение которого оператор не может участвовать в реализации СЭФ;
- 3) общее время реализации СЭФ;
- 4) количество требуемых действий при реализации СЭФ;
- 5) количество параметров структурного элемента СЭФ и т.п.

Для практической реализации предложенной нами методики необходима дальнейшая разработка системы сбора в судовых условиях указанных выше статистических данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бобырь В. А. Судовые эргатические функции: монография. – К. : Кафедра, 2014. – 362 с.
2. Ветошкин А.Г., Марунин В.И. Надежность и безопасность технических систем. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. – С.48-49.
3. Беляев Ю. К, Богатырев В. А., Болотин В. В. Надежность технических систем. Справочник / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.



## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ СУДЕН МЕТОДОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНЫХ И ГАРМОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТОТ

**Богомяко Н.А.**

*Медицинский центр «Довіра»*

(г. Херсон, Украина)

**Введение.** Работа относится к инновационным технологиям в сфере безопасности жизни и деятельности человека, в частности – защиты его от воздействия вредных частот и вибраций.

Известно, что движущееся на волнах судно и работа его механизмов и машин (в частности – постоянно работающего двигателя внутреннего сгорания) сопровождается различными комплексами колебаний и вибраций. Кроме того, металлический корпус судна и его надстройки подвергаются воздействию естественных геомагнитных полей вращающейся Земли, которые изменяются при их прохождении через движущееся или стоящее судно. При этом комбинации скоростей и направлений всех этих движений могут создавать различные комбинации колебаний наведенных полей, в интервале от инфразвуковых, до высоких частот.

**Анализ состояния проблемы.** В частности на экипаж воздействуют инструментально измеряемые колебания полей и частот (страх 0,1...2,2 Гц, обиды 0,6...3,3 Гц, раздражение 0,9...3,8 Гц, возмущение 0,6...1,9 Гц, голова 50 Гц, сердце 150 Гц). Наиболее опасны они для несущих вахту в рулевой рубке и в машинном отделении, где в ряде случаев приходится принимать экстраординарные решения. Поэтому актуальной становится задача защиты от вредных частот членов экипажа, ее решение имеет большое практическое значение и составляет главную цель данной работы.

Санитарные нормы и правила предусматривают защиту человека от вредных вибраций работающих машин и механизмов, но не учитывают вредного воздействия наведенных полей и вибраций геомагнитного поля Земли. Поэтому необходимо устранение этого недостатка, для чего нужны широкомасштабные исследования.

**Предлагаемый путь решения проблемы.** Возможность полезного влияния на организм человека наведенных частот и вибраций была обоснована в работах Александра Гурвича (Россия). Ройяла Райфа (США).

Известен также опыт положительного воздействия наведенных частот и вибраций в медицине. В частности проведены клинические испытания (в больницах г. Москвы, Нижнего Новгорода, Новосибирска, Екатеринбурга, Воронежа, заверенные официальными актами).

Обеспечивается данное воздействие выпускаемыми DETA-ELIS Holding «DeVita» (Россия-Германия), высокочастотными вибрационными приборами AP (антипаразитарный) и RITM, созданных на базе патента С. П. Коноплева на изобретение Российской Федерации № 2132204. Приборы сертифицированы по Европейским стандартам (Германия).

Технические параметры приборов AP обеспечивают создание вибраций с частотой около 50 МГц, что позволяет оказывать бактерицидное воздействие на большинство бактерий, вирусов, паразитов и грибков, обитающих в человеке и вызывающих его болезни.

Прибор RITM обеспечивает резонансную поддержку собственных колебаний всех внутренних органов человека, что усиливает их жизнедеятельность и сопротивление влиянию вредных факторов окружающей среды.

Приборы могут быть запрограммированы на 30 программ из общего списка 3,5 тыс. программ, и перепрограммированы в зависимости от потребностей человека по результатам его индивидуальной электромагнитной диагностики.

Прибор COSMO обеспечивает косметическое воздействие по 20 программам на основные области лица человека, связанные с деятельностью его внутренних органов.

**Выводы.** Совокупность проведенных исследований и накопленный опыт применения метода защитных и стимулирующих частот и реализующих их приборов «DeVita» позволяет рекомендовать их к использованию моряками дальнего плавания.

## УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ МНОЖЕСТВА МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ

*Бурмака И.А.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Проблема обеспечения безопасного расхождения судов в случае возникновения угрозы их столкновения является одной из наиболее актуальных. В настоящее время стесненные районы плавания, которые характеризуются особенно интенсивным движением, оборудуются станциями управления движением судов, предназначенными для контроля судовождения и управления опасно сближающимися судами. Поэтому вопросы разработки способов управления опасно сближающимися судами, в частности изменением их скоростей, является актуальным научным направлением.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** Принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [1], а вопросам расхождения изменением скорости судна посвящена статья [2].

Вопросы использования опасной области курсов судов для безопасного судовождения освещаются в работах [3, 4], причем в работе [3] рассмотрено использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения, а в работе [4] предложен маневр расхождения трех судов изменением их курсов.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью данного доклада является определение условия возможного существования множества безопасных маневров расхождения изменением скоростей судов.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Как показано в работе [4], область недопустимых скоростей пары судов имеет границы:

$$V_1^* = k^* V_2, \quad V_{1*} = k_* V_2.$$

В случае  $k^* > k_*$  с помощью области недопустимых скоростей (рис.1) определяется пара безопасных скоростей  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$ . Из-за инерционности судов для достижения необходимых значений  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$  требуется время  $\tau_{1y}$  и  $\tau_{2y}$ . Причем, в общем случае эти интервалы времени не равны между собой. Поэтому длительность переходного процесса  $t_p$  от начала изменения скоростей судов до выбранных значений  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$  определяется большим из интервалов  $\tau_{1y}$  и  $\tau_{2y}$ , т. е.  $t_p = \max(\tau_{1y}, \tau_{2y})$ . Если в этот момент времени при установившихся скоростях  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$  дистанция кратчайшего сближения будет равна или больше предельно-допустимой дистанции  $D_d$ , то множество безопасных маневров расхождения существует.

Так как маневр расхождения судов изменением скоростей выполняется их торможением, то, очевидно, значения скоростей  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$  являются меньшими, чем их начальные значения  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$ , и суда с пониженными скоростями следуют до момента времени кратчайшего сближения, после чего увеличивают скорости до начальных значений.

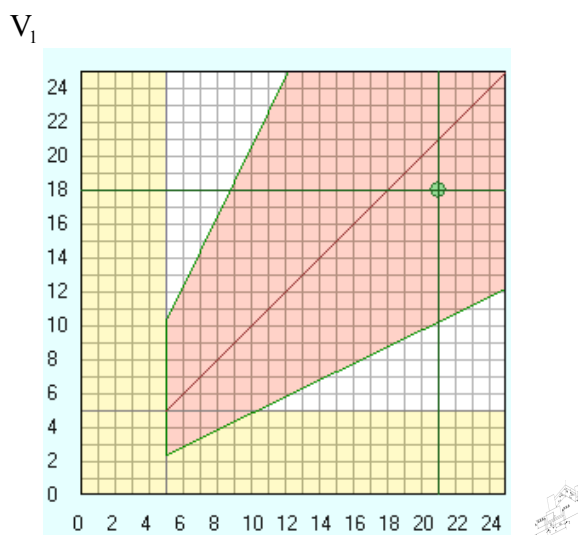


Рисунок 1 – Область опасных скоростей судов

К моменту времени окончания общего переходного процесса  $\tau$  координаты судов  $X_{mnp}$ ,  $Y_{mnp}$ ,  $X_{mnp}$  и  $Y_{mnp}$  определяются следующими выражениями:

$$X_{mnp} = L_{mx} \sin K_{mx} = (V_{mx} t_n + S_{mx}) \sin K_{mx};$$

$$Y_{mnp} = L_{mx} \cos K_{mx} = (V_{mx} t_n + S_{mx}) \cos K_{mx};$$

$$X_{mnp} = L_{mn} \sin K_{mn} = [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn})] \sin K_{mn};$$

$$Y_{mnp} = L_{mn} \cos K_{mn} = [V_{mn} t_n + S_{mn} + V_{mny} (t_p - \tau_{mn})] \cos K_{mn}.$$

В момент времени  $t_p$  параметры движения обоих судов становятся неизменными, как и относительный курс  $K_{отр}$ . Поэтому дистанция кратчайшего сближения судов  $D_{min}$  рассчитывается с помощью формулы:

$$D_{min} = \Delta_p D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p).$$

Если полученное значение  $D_{min}$  равно или больше величины  $D_d$ , то существует множество допустимых маневров расхождения с помощью выбранных скоростей  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$ . В противном случае следует выбрать другую пару скоростей  $V_{1y}$  и  $V_{2y}$ , которые не принадлежат области недопустимых скоростей, и повторить проверку существования множества допустимых маневров.

**Выводы.** Таким образом, получено условие существования множества маневров расхождения изменением скоростей опасно сближающихся судов с учетом их инерционно-тормозных характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Тюпиков Е.Е. Особенности расхождения с целью изменением скорости судна / Тюпиков Е.Е. // Судовождение: Сб. науч. трудов.- Вып.11/ ОНМА, – Одесса: ИздатИнформ, 2006. – С. 122 - 126.
3. Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов изменением курсов // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 18 – 23.
4. Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения // Судовождение: Сб. науч. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 35-40.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СУДОХОДСТВЕ

**Вильский Г.Б.**

*Международный технологический университет «Николаевская политехника»*

(Украина);

**Бень А.П.**

*Херсонская государственная морская академия*

(Украина)

В условиях совершенствования информационных систем морской логистики, обеспечения навигационной и коммерческой безопасности судна возникает острая необходимость защиты сведений и сообщений от появления недостоверных данных, искривления информации в результате случайного или целенаправленного вмешательства. Как показывают реалии морской практики, подлежат защите: логистическая информация, поступающая на судно от управляющих компаний или судовладельца; подтверждающая оперативная навигационная информация, получаемая в открытом доступе в виде печатной публикации; исходящая с судна информация по обеспечению; ведение устных частных переговоров [1].

К особой опасности относится взаимодействие между постами служб регулирования движения судов (СРДС), когда происходит регулярный обмен данными с целью репликации информации Баз Данных. Она включает достаточно полную информацию о судах, их маршрутах, грузах, графиках движения и даже реальные траектории движений. По нашему мнению целесообразны принятие мер по обеспечению безопасности каналов с таким информационным обменом и попытки скрытия моментов их проведения, поскольку сам процесс репликации хотя и продолжается относительно короткое время, но является наиболее уязвимой процедурой. В простейшем случае здесь можно просто потерять информацию по проводке судов. При более квалифицированном враждебном вмешательстве возможно стремление дестабилизации всей системы хранения данных, по крайней мере, региона СРДС. Для этого применяется целенаправленный «вброс» в одну из Баз Данных поста, структурно похожей информации и таким образом пытаются превратить устойчивый статический процесс репликации в астатический, а еще хуже в незатухающий колебательный.

Как показывает опыт управления движением судов, на постах СРДС целесообразны перевод в статус холодного резерва автоматизированных аппаратно-программных комплексов иностранных производителей и проведение их тщательной технической экспертизы на предмет выявления средств скрытой передачи данных, или полное избавление. Причина - все такие комплексы имеют в своем штатном, кстати - рекомендованном международной морской организацией, аппаратурном составе все необходимое для скрытой передачи процедурной, радиолокационной, навигационной и другой информации непосредственно с собственной зоны действия в квазиреальном времени внешнему потребителю. Разработчику остается только организовать такую передачу программными средствами, которые, как известно, имеют характеристики «черного ящика». Технически выявить факт такой передачи достаточно сложно, особенно, если она происходит не регулярно, а под внешним управлением.

К случайным процессам относят неверные навигационные или логистические сообщения, как результат ошибочных действий ответственных операторов при подготовке данных или технических сбоев, таких как пропадание части информации из-за временного отсутствия связи, или иных причин. Целенаправленное вмешательство возможно при открытости информации или недостаточном использовании криптозащитности сообщений. Необходимым инструментарием по защите инфоресурса судоходства может служить весь существующий спектр приёмов кибербезопасности, с включением:

внедрения обязательного буфера очистки информационно-навигационного контента; фрагментарного использования «облачных технологий» и системно-целевого неформального обучения плавсостава.

Главная компонента системы защиты информационного обмена в судоходстве, структурно представленная на (рис.1). Она ориентирована на уменьшение вероятности внесения в банки данных сведений и сообщений судовладельцев (управляющих компаний) и судов неверной или недостоверной информации [2].

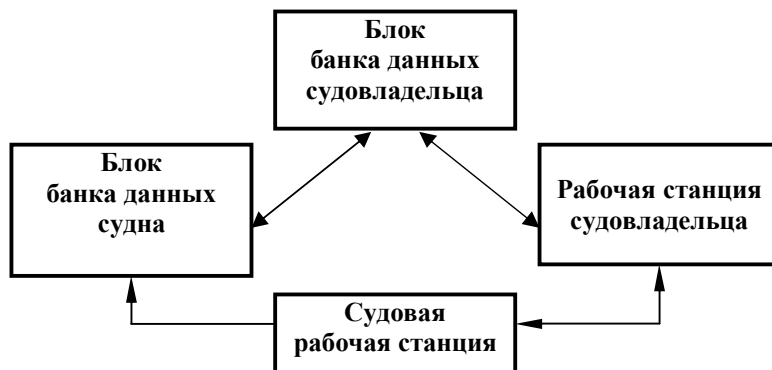


Рисунок 1 – Структурна схема главного компонента системы защиты информационного обмена в судоходстве

С этой целью в информационной навигационно-коммерческой системе «судовладелец-судно» операторы, участвующие в обмене данными, должны подвергаться регистрированию. Судовым операторам-пользователям (включая и участников частных переговоров) дополнительно предлагать генерацию ключевых пар и присваивать пароли, а в судовом блоке Банка Данных, размещать открытые криптографические ключи. Только при этих условиях устанавливается возможность соединения между судовой рабочей станцией и блоком Банка Данных. Отмеченную выше обменную информацию требуется зашифровывать и расшифровывать сеансовыми ключами, которые следует менять при каждом сеансе. Информация удостоверяется электронной цифровой подписью, посредством созданных личных криптографических ключей судовых операторов-пользователей. Поступившая от рабочей станции судна информация записывается в блок Банка Данных судна и по ней ведётся электронное протоколирование для всех операций судовых операторов-пользователей. Целесообразно проведение входного и выходного анализа информации на наличие противоречивости данных. При обнаружении противоречивой информации, степень противоречивости определяют сравнением с информацией, содержащейся в блоке Банка Данных. При расхождении информации сеансы обмена данными прекращаются. Предлагаемые процедуры информационного обмена в судоходстве с шифрованием и криптографированием судового контента гарантируют повышение уровня информационной безопасности судна.

**Выводы.** Для совершенствования защиты информационного обмена в судоходстве необходимо широкое использование инструментария кибербезопасности, с включением таких элементов и процессов, как криптографические ключи, сеансовые пароли и шифрование, что позволяет повысить защищенность достоверности и целостности информационного банка данных движения судов.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Вильский Г. Б. Информационная безопасность судоходства: Монография. [Текст] – Миколаїв : Видавництво ФОП Швець В.Д., 2014. – 336 с.
2. Патент 58414 UA, 7H04L 9/08, H04L 9/32. Спосіб функціонування інформаційно-виробничої системи / Артеменко В.І., Бобовкін В.Т., Воробйов Ю.Є., Згуровський М.З., Прокофев В.Я., Серпенко І.В. – № u2003043543; заявлено 04 2003р.; опубліковано 15 07 2003р., Бюл. № 7, 2003р.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ СИТУАЦИОННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ

**Волков Е.Л.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

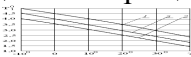
**Введение.** Одной из причин столкновения судов является существующая несовершенная процедура определения наличия и значение ситуационного возмущения и поведения опасно сближающихся судов при различных его значениях. Поэтому разработка способа определения значения реализовавшегося ситуационного возмущения пары опасно сближающихся судов является актуальным и перспективным направлением.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** В работе [1] рассмотрена реализация определенного типа взаимодействия судов в случае опасного сближения при возникновении ситуационного возмущения различного значения.

Вопросу определения угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [2], а в работе [3] показано формирование гибких стратегий возмущения в зависимости от значения ситуационного возмущения.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью данного доклада является описание разработанного графического способа оценки значения ситуационного возмущения.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Ситуационное возмущение  $\omega$  возникает при прогнозируемом попадании судов в область недопустимых позиций. Оно выявляет грядущую опасную позицию заблаговременно, исходя из прогноза изменения относительной позиции пары судов, и возникает тогда, когда прогнозируемое значение дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min}$  меньше значения предельно-допустимой дистанции сближения  $D_d$ .

Второй характеристикой ситуационного возмущения является время запаса  $t_{zi}$  и  $t_{zj}$  для каждого из пары судов, смысл которого заключается в следующем. Если при наличии ситуационного возмущения дистанция между судами превосходит значение  $D_d$  и судно может своим маневром обеспечить максимальное значение дистанции кратчайшего сближения  $\max D_{\min}$ , для которого  $\max D_{\min} > D_d$ , то судно находится в допустимой позиции. С течением времени дистанция между судами сокращается и наступает момент времени  $t_{di}$ , когда достигается равенство . При дальнейшем сближении судов с программными параметрами движения  $\max D_{\min} < D_d$ , и судно попадает в подмножество недопустимых позиций, причем никаким маневром оно не сможет разойтись с другим судном в дистанции  $D_d$ . Поэтому время запаса  $t_{zi}$  равно интервалу времени от текущего момента до момента времени  $t_{di}$  попадания судна в подмножество недопустимых позиций, причем  $t_{zij} = \min(t_{zi}, t_{zj})$ .

Ситуационное возмущение  $\omega$  может принимать три значения:

$$\omega = \begin{cases} 0, & D_{\min} > D_d; \\ 1, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} > 0; \\ 2, & D_{\min} \leq D_d, t_{zij} \leq 0. \end{cases}$$

Была получена графическая диаграмма для определения значения ситуационного возмущения, которая показана на рис. 1. На ней показаны области позиций для  $D = 3$ ,  $D_d = 1$  и  $\alpha = 0$ , в которых ситуационное возмущение может принять значение 2.

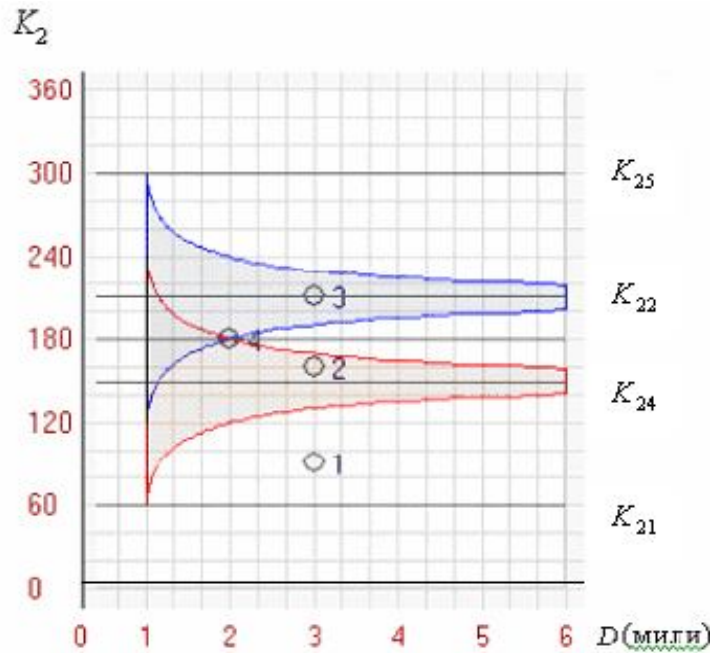


Рисунок 1 – Области позиций, в которых возможно  $\omega=2$

Верхняя область на рис.1 соответствует значениям  $K_2$  и  $D$ , при которых  $D_{\min}$  нельзя увеличить, увеличивая относительный курс до  $K_{\text{отmax}}$ , а нижняя область характеризует отсутствие возможности увеличения  $D_{\min}$  уменьшением относительного курса до  $K_{\text{отmin}}$ .

На рис. 1 обозначены следующие курсы:

$$K_{21} = \alpha + \arccos \rho; \quad K_{22} = \alpha + \pi + \arcsin \rho; \quad K_{23} = \alpha + \pi;$$

$$K_{24} = \alpha + \pi - \arcsin \rho; \quad K_{25} = \alpha - \arccos \rho,$$

где  $\rho = V_1/V_2$ .

С помощью областей, показанных на рис.1, можно определить значение ситуационного возмущения  $\omega$ , располагая дистанцией между судами  $D$  и курсом судна с большей скоростью  $K_2$ . Так для точки 1, которая соответствует  $D=3$  и  $K_2=90^\circ$ , ситуационное возмущение  $\omega=1$ , так как точка 1 не принадлежит обеим областям. Точка 2 ( $D=3, K_2=160^\circ$ ) принадлежит нижней области и в случае отсутствия возможности увеличения  $D_{\min}$  изменением относительного курса к величине  $K_{\text{отmax}}$  ситуационное возмущение  $\omega=2$ . В противном случае, если возможно увеличение  $D_{\min}$  увеличением относительного курса к  $K_{\text{отmax}}$ ,  $\omega=1$ .

Верхняя область содержит точку 3 ( $D=3, K_2=210^\circ$ ), при возможности увеличения  $D_{\min}$  изменением относительного курса к величине  $K_{\text{отmin}}$  ситуационное возмущение  $\omega=1$ , а в противном случае  $\omega=2$ . Если ситуация соответствует точке 4 ( $D=2, K_2=180^\circ$ ), которая принадлежит обеим областям, то ситуационное возмущение принимает только значение  $\omega=2$ .

**Выводы.** Таким образом, с помощью предложенной диаграммы, построенной для возникшей ситуации опасного сближения, в зависимости от курса цели и расстояния до нее можно определить значение ситуационного возмущения и характер маневра расхождения. Если точка на диаграмме не принадлежит обоим областям, то судно выполняет стандартный маневр расхождения. В случае принадлежности исходной точки одновременно обоим областям судну следует незамедлительно реализовать маневр



екстренного расхождения. Если точка на диаграмме принадлежит только одной области, то в зависимости от возможной стороны поворота судно может выполнить стандартный маневр расхождения или маневр экстренного расхождения.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. – 312 с.
2. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 166 –171.
3. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

## ДВУМЕРНАЯ ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВЕКТОРИАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

**Ворохобин И.И.**

Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)

**Вступление.** Одной из наиболее актуальных является проблема обеспечения безопасности судовождения в стесненных районах плавания. Для ее решения необходимо обеспечить снижение числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель и навалов на причал, что возможно достичь повышением точности определения места судна. Для этого необходимо минимизировать ковариационную матрицу векториальной погрешности, для чего требуется аналитическое выражение ее двумерной плотности распределения вероятностей.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** В работе [1] рассматривались вопросы по оценке надежности судовождения в случае, когда судно следовало мимо выделяющихся (точечных) навигационных опасностей, а обоснованию критерия навигационной безопасности посвящена работа [2]. Вопросы оценки эффективности обсервованных координат судна при известных законах распределения погрешностей линий положения освещены в статье [3].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью данного доклада является получение аналитического выражения двумерной плотности векториальной погрешности.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В случаях определения места судна по двум линиям положения истинное место судна  $M_1$  находится на пересечении линий 1-1 и 2-2, которые соответствуют нулевым значениям погрешностей  $\xi_1$  и  $\xi_2$  (рис. 1). Обсервованное место судна  $M_2$  определяется пересечением линий положения  $ЛП_1$  и  $ЛП_2$ , которые смещены относительно линий 1-1 и 2-2 на величины погрешностей  $\xi_1$  и  $\xi_2$ .

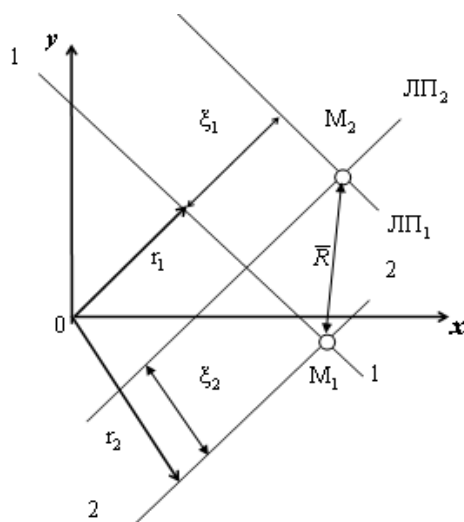


Рисунок 1 – Определение места судна по двум ЛП

В дальнейшем будем рассматривать только случайные погрешности. Очевидно, выбор обсервованной точки при определении места судна по двум линиям положения однозначный, а векториальная погрешность  $\bar{R}$  является случайным вектором, который

характеризует положение обсервованной точки  $M_2$  относительно истинного места судна  $M_1$ .

Ситуация меняется если место судна определяется по числу линий положения больше двух. На рис. 2 показан случай определения места судна по трем линиям положения, когда имеется одна избыточная линия положения.

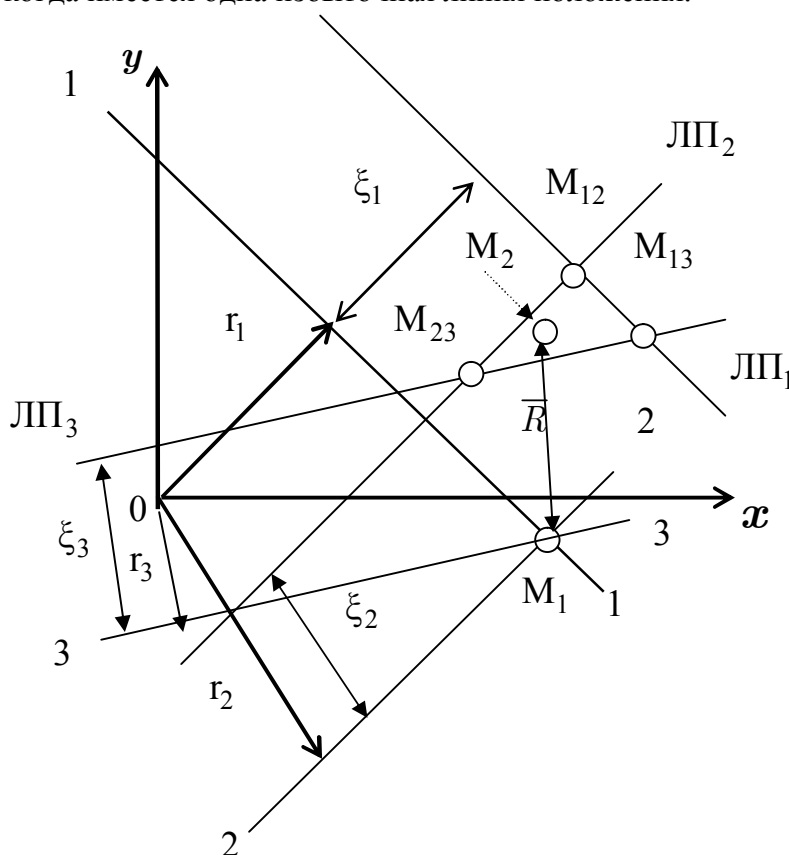


Рисунок 2 – Определение места судна по трем ЛП

При отсутствии погрешностей  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  и  $\xi_3$  линии 1-1, 2-2 и 3-3 пересекаются в одной точке, которой является истинное место судна  $M_1$ . Наличие погрешностей линий положения  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  и  $\xi_3$  ведет к тому, что линии положения ЛП<sub>1</sub>, ЛП<sub>2</sub> и ЛП<sub>3</sub> пересекаются в разных точках  $M_{12}$ ,  $M_{13}$  и  $M_{23}$ . Поэтому выбор обсервованного места судна должен отвечать некоторому критерию точности. Точность определения места судна зависит от величины векториальной погрешности  $\vec{R}$ , поэтому, учитывая ее случайный характер, при наличии избыточных линий положения обсервованную точку  $K(x, y)$  следует выбирать таким образом, чтобы ковариационная матрица  $K(x, y)$  векториальной погрешности принимала минимальное значение. Случайный вектор  $\vec{R}$  характеризуется двумерной плотностью распределения  $f(x, y)$ , которая позволяет определить его математическое ожидание и ковариационную матрицу.

Известно [4], что  $n$  случайных величин  $\xi_i$  (погрешностей ЛП) можно рассматривать как координаты  $n$ -мерного пространства  $R_n$ , в котором распределена единичная плотность, причем совместная плотность распределения  $g(\xi_1, \dots, \xi_n)$  определяется частными (маргинальными) плотностями  $f_i(\xi_i)$  величин  $\xi_i$ . Плоскость,  $R_2$  на которой ищется распределение вектора  $\vec{R}$  является линейным множеством пространства  $R_n$ , т.е.

каждой точке плоскости  $R_2$  соответствует точка в  $R_n$ . Точке с координатами  $x, y$  на плоскости  $R_2$  соответствует точка с координатами  $\xi_i = a_i x + b_i y - r_i$  пространства  $R_n$  [4, 121]. Для рассматриваемого случая  $a_i = \sin \alpha_i$  и  $b_i = \cos \alpha_i$ . Следовательно, связь координат  $R_2$  и  $R_n$ :

$$\xi_i = x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i.$$

С учетом полученного выражения плотность  $f(x, y)$  находим, подставляя его в выражение для совместной плотности  $g(\xi_1, \dots, \xi_n)$ , т.е.:

$$f(x, y) = A_n g[(x \sin \alpha_1 + y \cos \alpha_1 - r_1, \dots, (x \sin \alpha_n + y \cos \alpha_n - r_n)],$$

где  $A_n$  – нормирующий множитель, величина которого определяется выражением:

$$A_n = \left\{ \int_{R_2} g[(x \sin \alpha_1 + y \cos \alpha_1 - r_1, \dots, (x \sin \alpha_n + y \cos \alpha_n - r_n)] dx dy \right\}^{-1}$$

Для независимых случайных величин  $\xi_i$  их совместная плотность распределения  $g(\xi_1, \dots, \xi_n)$  равна произведению частных плотностей  $f_i(\xi_i)$ .

Поэтому получим:

$$f(x, y) = A_n \prod_{i=1}^n f_i(x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i),$$

где  $A_n = \left\{ \int_{R_2} \prod_{i=1}^n f_i(x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i) dx dy \right\}^{-1}$ .

Окончательно выражение для  $f(x, y)$  принимает вид:

$$f(x, y) = \frac{\prod_{i=1}^n f_i(x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i)}{\int_{R_2} \prod_{i=1}^n f_i(x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i - r_i) dx dy}.$$

**Выводы.** Таким образом, в докладе получено выражение двумерной плотности векториальной погрешности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. – М.: Транспорт, 1989. – 230с.
2. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
3. Бурмака И.А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / Бурмака И.А., Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург. – 2016. – выпуск 1 (35). – С. 24-29.
4. Крамер Г. Математические методы статистики / Крамер Г. - М.: Мир, 1975, 648 с.

## НАВІГАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В УМОВАХ МІЛКОВОДДЯ

Габрук Р.А.

Національний університет «Одеська морська академія»  
(Україна)

**Постановка проблеми.** Для забезпечення власної енергонезалежності Україна планує подальшу технологічну розробку ресурсів шельфу Чорноморсько-Азовського басейну. Для цього повинні бути вирішені, відповідно до міжнародних вимог, питання забезпечення безпеки при реалізації динамічного позиціонування (ДП) рухомими об'єктами водного транспорту (РОВТ) в локально обмеженому просторі виконання технологічних робіт. Реалізації процесів високоточної навігації в цих умовах заважають відомі чинники навколишнього середовища (НС): вітер, течія, хвилювання [1-3]. Проте ДП в умовах мілководдя не приділяється достатньої уваги. В умовах мілководдя при ДП інерційні характеристики РОВТ змінюються. Таким чином виникає небезпека втрати надійного контролю системою динамічного позиціонування (СДП).

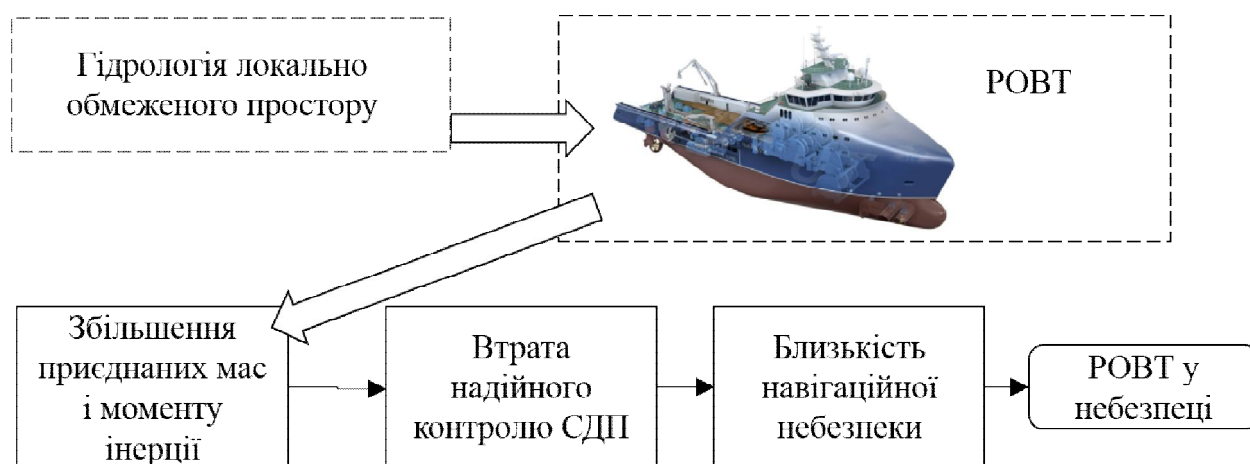


Рисунок 1 – Ланцюговий зв'язок, що може привести РОВТ у небезпечний стан

Втрата контролю СДП може бути небезпечною при наявності навігаційної небезпеки, що може привести РОВТ в небезпечне становище та привести до навігаційної аварії.

**Метою дослідження** є підвищення навігаційної безпеки РОВТ при здійсненні динамічного позиціонування в умовах локально обмеженого простору мілководдя.

**Виклад основного матеріалу.** Підвищення надійності функціонування системи пропонується шляхом урахування додаткових приєднаних мас і моменту інерції в математичній моделі керування СДП. Адекватна модель руху РОВТ в умовах мілководдя може бути основою програмно апаратних комплексів підтримки прийняття рішень операторів СДП [4,5].

Кінетична енергія рідини  $T_p$  може бути виражена через узагальнені приєднані маси  $\lambda_{ik}$ :

$$2T_p = \sum_{i=1}^6 \sum_{k=1}^6 \lambda_{ik} V_i V_k, \quad (1)$$

де  $\lambda_{ik}$  – приєднані маси води;  $V_i, V_k$  – швидкості.

Приєднані маси води виражаються через наступну матрицю. При обчисленні інерційного впливу під час ДП можна знехтувати впливом вільної поверхні. Таким чином, значення  $\lambda_{jk}$  залежать виключно від форми підводної частини корпусу РОВТ.

$$\begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} & \lambda_{14} & \lambda_{15} & \lambda_{16} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} & \lambda_{24} & \lambda_{25} & \lambda_{26} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} & \lambda_{34} & \lambda_{35} & \lambda_{36} \\ \lambda_{41} & \lambda_{42} & \lambda_{43} & \lambda_{44} & \lambda_{45} & \lambda_{46} \\ \lambda_{51} & \lambda_{52} & \lambda_{53} & \lambda_{54} & \lambda_{55} & \lambda_{56} \\ \lambda_{61} & \lambda_{62} & \lambda_{63} & \lambda_{64} & \lambda_{65} & \lambda_{66} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матриця (2) є симетричною відносно головної діагоналі. У завданнях управління вплив вільної поверхні виключається. Тому матриця (2) набуде наступного вигляду:

$$\begin{pmatrix} \lambda_{11} & 0 & \lambda_{13} & 0 & \lambda_{15} & 0 \\ 0 & \lambda_{22} & 0 & \lambda_{24} & 0 & \lambda_{26} \\ \lambda_{31} & 0 & \lambda_{33} & 0 & \lambda_{35} & 0 \\ 0 & \lambda_{42} & 0 & \lambda_{44} & 0 & \lambda_{46} \\ \lambda_{51} & 0 & \lambda_{53} & 0 & \lambda_{55} & 0 \\ 0 & \lambda_{62} & 0 & \lambda_{64} & 0 & \lambda_{66} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Отримана матриця (3) також є симетричною, тобто  $\lambda_{jk} = \lambda_{ki}$ . З урахуванням отриманих даних кінетичну енергію системи Корпус – В'язка нестискувана рідина запишемо так:

$$\begin{aligned} 2T = & (m + \lambda_{11})V_x^2 + (m + \lambda_{22})V_y^2 + (m + \lambda_{33})V_z^2 + (J_x + \lambda_{44})\omega_x^2 + (J_y + \lambda_{55})\omega_y^2 + \\ & (J_z + \lambda_{66})\omega_z^2 + 2\lambda_{13}V_xV_z + 2\lambda_{15}V_x\omega_y + 2\lambda_{35}V_z\omega_y + 2\lambda_{24}V_y\omega_x + 2\lambda_{26}V_y\omega_z + \\ & + 2(\lambda_{46} - J_{xz})\omega_x\omega_z. \end{aligned} \quad (4)$$

Останній доданок в (2.2.9) обумовлений відмінністю напрямів вісі x та вісі z і головних вісей інерції. Тому можна вважати  $\lambda_{46} - J_{xz} = 0$ . Розглядаючи рух РОВТ винятково в горизонтальній площині, скористаємось наступним припущенням:

$$V_i = \begin{cases} \neq 0 & \text{при } i = 1, 2, 6, \\ = 0 & \text{при } i = 3, 4, 5. \end{cases} \quad (5)$$

Використовуючи вираження (2.2.10), виключаючи з розгляду параметри хитавиці отримуємо вираження для кінетичної енергії РОВТ:

$$2T = (m + \lambda_{11})V_x^2 + (m + \lambda_{22})V_y^2 + (J_z + \lambda_{66})\omega_z^2. \quad (6)$$

Виведення рівнянь динаміки РОВТ робиться на основі теорем про зміну кількості руху і моменту кількості руху з урахуванням наступних допущень:

– лінійна і кутова швидкості руху визначаються в зв'язаній координатній системі, початок якої поєднаний з комплексним (з урахуванням приєднаних мас) центром мас РОВТ;

– корпус РОВТ приймається подібним до еліпсоїда обертання.

Загальна форма рівнянь динаміки РОВТ матиме вид:

$$\begin{cases} (m + \lambda_{11}) \frac{dV_x}{dt} + (m + \lambda_{22}) \omega_z V_y = R_x, \\ (m + \lambda_{22}) \frac{dV_y}{dt} - (m + \lambda_{11}) \omega_z V_x = R_y, \\ (J_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega_z}{dt} - (\lambda_{22} - \lambda_{11}) V_x V_y = M_{x0y}, \end{cases} \quad (7)$$

де  $m$  – маса РОВТ, кг;  $\omega_z$  – кутова швидкість РОВТ відносно вісі  $z$  зв’язаної системи координат, рад/с;  $V_x, V_y$  – лінійна швидкість РОВТ навколо відповідної вісі зв’язаної системи координат, м/с;  $J_z$  – момент інерції відносно вісі  $z$  зв’язаної системи координат, кг · м<sup>2</sup>;  $M_{x0y}$  – моменти зовнішніх впливів, кгс · м;  $R_x, R_y$  – проекції сил зовнішніх впливів на відповідні вісі зв’язаної системи координат, кгс;  $\lambda_{11}, \lambda_{22}$  – приєднані маси води по вісях  $x$  і  $y$  відповідно, кг;  $\lambda_{66}$  – приєднаний момент інерції відносно вісі  $z$  зв’язаної системи координат, кг · м<sup>2</sup>.

**Висновок і перспективи подальших наукових досліджень.** Практичне гарантування безпеки процесу ДП відбувається шляхом зниження рівня ризику за рахунок підвищення адекватності математичної моделі керування, що в загальному вигляді виражається системою рівнянь (7) з урахуванням (1-6). Перспективою подальших наукових досліджень являється точне визначення приєднаних мас корпусів РОВТ. Можливість створення програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень операторів СДП, які мають бути інтегровані з бортовим багатофункціональним комплексом навігаційного обладнання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Pettersen K. Y. Under actuated dynamic positioning of a ship – experimental results / K. Y. Pettersen, T. I. Fossen // IEEE Trans. Contr. Syst. Technol. – 2000. – 8, №5. – P. 856 – 863.
2. Salvesen N. Second-Order Steady-State Forces and Moments on Surface Ships in Oblique Regular Waves / International Symposium on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves.- London, 1974. - P. 212-226.
3. Габрук Р. А. Оценка безопасности мореплавания судов, осуществляющих динамическое позиционирование / Р.А. Габрук // Системы управления, навигации и связи.- К.: ЦНИИ НиУ, 2011. – Вып. 2(18). – С. 19-21.
4. Габрук Р.А. Принципи створення програмного забезпечення програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень щодо безпеки динамічного позиціонування / Р.А. Габрук // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.- К.: КДАВТ, 2013. – №3(18). – С. 35-37.
5. Баранов Г.Л. Інтеграція технологій навігації, спостереження, телекомунікації для захисту від критичних загроз оточуючого середовища // Г.Л. Баранов, В.Л. Міронова, Р.А. Габрук, В.В. Плотнікова / LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2016 -С. 369.

## ВИКОНАННЯ НОРМ ПРОЕКТУ ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО ВНУТРІШНІЙ ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ» У КОНТЕКСТІ ВІДРОДЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА

*Гаценко Л.В.*

*Київська державна академія водного транспорту  
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного  
(Україна)*

**Вступ.** Відродження судноплавства внутрішніми водними шляхами України (ВВШ), залучення інвестицій та підвищення конкурентоспроможності внутрішнього водного транспорту (ВВТ), забезпечення безпеки судноплавства є невід’ємною частиною пакету реформ, що реалізуються у транспортному секторі економіки України. Пріоритетні напрямки та завдання щодо реформування й розвитку ВВТ знайшли відображення в проекті Закону України «Про внутрішній водний транспорт», що визначить правові, економічні та організаційні принципи діяльності внутрішнього транспорту в Україні. У цьому контексті вважаємо за необхідне проаналізувати одну із ключових норм майбутнього Закону України «Про внутрішній водний транспорт», яка є досить дискусійною серед зацікавлених сторін – представників бізнесу, структур влади, державних підприємств та інших, але, у той же час, є пріоритетною для розвитку судноплавства в Україні. Об’єктом дослідження обрано норму законопроекту, згідно з якою плата із суден за проходження шлюзів не стягується, а утримання, ремонт та реконструкція судноплавних гідротехнічних споруд та водних підходів до них покладається на Адміністрацію внутрішніх водних шляхів України за рахунок власника (власників) гідроелектростанцій Дніпровського каскаду [1].

Актуальність досліджень. Загалом теоретичні основи відродження судноплавства внутрішніми водними шляхами України, підвищення безпеки судноплавства розглянуті в роботах таких вітчизняних вчених: Т. Блудової, С. Боняр, К. Горошко, В. Коби, О. Котлубая, Н. Кудрицької та інших. Зокрема проаналізовано проект Закону України «Про внутрішній водний транспорт» у працях К. Михайличенко, П. Підлісного, активними учасниками дискусії щодо закону є представники великих агротрейдингів: директор ОВ «Гермес-Трейдінг» Юрій Скічко, власник компанії «Нібулон» Олексій Вадатурський.

**Постановка задачі.** Незважаючи на значну кількість праць про проблематику функціонування та перспективи розвитку транспортної системи в цілому та окремих видів транспорту, актуальні проблеми саме ВВТ не достатньо висвітлені в науковій літературі.

Метою розвідки є дослідження окремого положення проекту Закону України «Про внутрішній водний транспорт» щодо інфраструктури внутрішнього водного транспорту, а саме про те, що плата із суден за проходження шлюзів не стягується, а утримання, ремонт та реконструкція судноплавних гідротехнічних споруд та водних підходів до них покладається на Адміністрацію внутрішніх водних шляхів України за рахунок власника (власників) гідроелектростанцій Дніпровського каскаду; доцільність таких змін та їх вплив на відродження, розвиток внутрішнього водного транспорту України, гарантування безпеки судноплавства із врахуванням світового досвіду функціонування водного транспорту.

**Результати досліджень.** На думку більшості експертів, особливої уваги нині заслуговують дві проблеми у сфері водного транспорту – тарифна політика та регулювання.

Питання розроблення та обговорення нового Закону України «Про внутрішній водний транспорт» викликало значний суспільний резонанс. У результаті активного обговорення в пресі, науковому та бізнес-середовищі, серед політиків і представників



влади в Міністерстві інфраструктури України (МІУ) із трьох запропонованих законопроектів доопрацювали один – № 2475а, який пройшов усі узгодження та знаходиться на розгляді у Верховній Раді України з грудня 2015 року.

Ключові положення закону: створення керуючого органу – Адміністрації внутрішніх водних шляхів України; скасування численних зборів та запровадження натомість уніфікованого річкового збору; створення умов для конкуренції лоції; допуск суден під іноземним прапором, зокрема скасування тимчасових дозволів на перевезення та єдиний тариф з каботажними перевезеннями [2].

Нині як науковців, так і представників бізнесу хвилює проблема утримання шлюзів та портової інфраструктури. Значна кількість шлюзів в Україні працюють на межі граничного терміну їх експлуатації. До законопроекту ремонт шлюзів мав проводитися за рахунок шлюзового збору. Згідно з проектом нового закону України «Про внутрішній водний транспорт» буде скасовано плату із суден за проходження шлюзів та покладено на Адміністрацію внутрішніх водних шляхів України утримання, ремонт та реконструкцію судноплавних гідротехнічних споруд та водних підходів до них за рахунок власника (власників) гідроелектростанцій Дніпровського каскаду. Власником всіх ГЕС Дніпровського каскаду є державна компанія ПАТ «Укргідроенерго». А власниками малих ГЕС на інших річках виступають ряд приватних компаній. Тому дієвість цієї схеми викликає ряд запитань і щодо платоспроможності власників ГЕСів, і щодо можливості новоствореного ДП здійснювати на належному рівні ремонтні роботи [3]. При цьому якщо покласти відповідальність за утримання шлюзів на ГЕС, електростанції підвищать плату за електроенергію й ціна кіловата для споживача зросте до 1,6 грн. Слід зазначити, що Міністерство інфраструктури вже отримувало одноразову допомогу на утримання шлюзів від європейських інституцій.

Отже, у тих частинах майбутнього законопроекту, які намагаються реформувати, не передбачені чіткі повноваження та функції новоствореного керівного органу – ДП «Адміністрації внутрішніх водних шляхів України».

Внаслідок незадовільного технічного стану шлюзів, що добігають граничного терміну експлуатації – 70 років, а також через тривале недофінансування утримання судноплавних шлюзів р. Дніпро, яке за останні роки не перевищувало 50 % від необхідної потреби, утворилася ситуація, що несе реальну загрозу виникнення техногенної катастрофи.

Згідно з даними джерела [4] протягом 2009–2013 рр. рівень фінансування експлуатаційної діяльності судноплавних шлюзів склав у середньому 33% від суми необхідних витрат, з яких 75 % забезпечувалося коштами держбюджету та 25% – платою за шлюзування (що становить лише  $\frac{1}{4}$ ); у 2014 році спостерігається дефіцит бюджетного фінансування (при потребі 140 млн. грн. було виділено лише 10,6 млн. грн.). Наступним кроком з метою покриття бюджетного недофінансування на утримання судноплавних шлюзів було те, що у січні 2015 року Кабінетом Міністрів України збільшено плату за шлюзування суден на Дніпрі на 17,1% й скасовано пільгову тарифну групу, якою користувалися вітчизняні судновласники. У результаті таких змін ціна фрахту збільшилася, але при цьому додаткові надходження все одно не вирішують нині проблему фінансування не тільки реконструкції, але й поточного ремонту шлюзів.

На думку більшості експертів передбачена законопроектом відміна плати за шлюзування може бути оцінена як позитивний крок з позицій підвищення привабливості перевезень внутрішнім водним транспортом, бо, по суті, шлюзи є штучною перешкодою на шляху прямування суден, а саме плата за шлюзування є додатковим фінансовим тягарем для судновласника.

Проаналізуємо європейський досвід щодо питання функціонування шлюзів. Так, в Європі шлюзування на річках Майн, Рейн і Дунай у більшості випадків є безкоштовним для судновласників. Не справляється плата за шлюзування в США та Росії, де судноплавні гідротехнічні споруди утримуються виключно за рахунок держави. Згідно з практикою

КНР, де на річках активно будуються масштабні гідротехнічні об'єкти, шлюзи та гідроелектростанції складають єдиний майновий комплекс і фінансуються за рахунок адресних відрахувань від продажу електроенергії компаніями, які здійснюють її збут і виробництво. У Австрії всі шлюзи ГЕС на р. Дунай і в Німеччині шлюзи на р. Рейн фінансуються за рахунок виробленої електроенергії, плата за проходження ними не справляється. 8 шлюзів на кордоні Німеччини та Франції фінансуються приватною енергетичною компанією Electricity de France за рахунок виробленої електроенергії [5].

В Україні гідроелектростанції на р. Дніпро збудовані шляхом їх повного перегородження гідротехнічною греблею, забезпечуючи таким чином необхідний для турбін натиск води. Отже, основною функцією системи водосховищ та гребель на Дніпрі є функціонування системи гідроелектростанцій, які нині є комерційними об'єктами у складі ПАТ «Укргідроенерго». Таким чином, для судновласників створено штучні перешкоди на внутрішніх водних шляхах. Ще у радянські часи судноплавні шлюзи повністю на належному рівні фінансувалися за рахунок державного бюджету, але сьогодні можливості бюджету вкрай обмежені, а шлюзи вичерпали свій технологічний ресурс. Саме тому і виникла гостра необхідність участі виробника електроенергії, а одночасно і отримувача прибутків від цього виду діяльності в процесі утримання та реконструкції шлюзів на р. Дніпро. Цю думку підтверджує і власник компанії «Нібулон», який зокрема сказав: «На території України ГЕС не беруть участі в підтримці внутрішніх водних шляхів. Вони є техногенними перешкодами на річках, що ускладнюють вільне судноплавство, а тому повинні підтримувати систему шлюзів у належному стані за свій рахунок, не обтяжуючи цим судноплавні компанії, як це робиться у країнах ЄС та Білорусі» [6].

За попередніми даними керівництва МІУ, вартість 1 кВт електроенергії зросте не більше ніж на 8 коп. за рахунок включення у витрати гідроенергогенеруючої компанії «шлюзової» складової [7]. А відповідно – вартість електроенергії, що виробляється ГЕС приблизно зрівняється з вартістю електроенергії, що виробляється АЕС, при цьому залишиться меншою більше ніж у два рази порівняно з вартістю електроенергії, що виробляється ТЕС. Враховуючи, що ГЕС виробляють лише 7 % електроенергії (АЕС – 44 %, ТЕС – 42%, ТЕС – 7 %, альтернативні джерела – менше 1 %), ці зміни не можуть суттєво позначитися на вартості загального тарифу на електроенергію для споживачів.

Можлива і така ситуація, що приватні енергетичні компанії, скориставшись становищем, будуть наполягати на значному підвищенні тарифу на електроенергію, але запобігти цьому повинна Національна комісія, що здійснює держане регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.

Висновки. Отже, внаслідок недостатнього недофінансування протягом значного часу шлюзи в Україні перетворилися в небезпечні для судноплавства об'єкти, які добігають граничного терміну експлуатації. В сучасних умовах ринкової економіки та гострого дефіциту бюджету є необхідність врахувати світовий досвід щодо питання утримання, ремонту та реконструкції судноплавних гідротехнічних споруд та водних підходів до них і залучити виробника електроенергії, що одночасно є й отримувачем прибутків, до утримання шлюзів на р. Дніпро. Норма законопроекту України «Про внутрішній водний транспорт» щодо відміни плати за шлюзування, на думку більшості експертів, є позитивним кроком у напрямку підвищення привабливості перевезень внутрішнім водним транспортом України.

Міжнародні експерти підраховали, що потенціал інвестицій у річкову інфраструктуру, суднобудування, флот становить близько 2 млрд. дол., з яких тільки в перші 2-3 роки роботи нового закону Україна може отримати близько 500 млн. дол. [8]. Найшвидше доопрацювання та прийняття вищезазначеного Закону дозволить створити необхідну законодавчу базу для відродження судноплавства в Україні та сприятиме підвищенню безпеки судноплавства.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Проект закону України «Про внутрішній водний транспорт» [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: <http://mtu.gov.ua/news/315.html>
2. Пояснювальна записка до проекту Закону України «Про внутрішній водний транспорт» [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/GH1WR68A.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GH1WR68A.html)
3. Внутрішній водний транспорт України: проблеми і перспективи розвитку // Про все. Перша незалежна тернопільська газета, 17.06.2016. [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: <http://provse.te.ua/2016/06/vnutrishnij-vodnyj-transport-ukrajiny-problemy-i-perspektyvy-rozvytku/>
4. Михайличенко К.М. Щодо ключових положень законопроекту «Про внутрішній водний транспорт» в контексті реформування економіки України. [http://soskin.info/userfiles/file/2015/9-10\\_2015/Mykhailychenko.pdf](http://soskin.info/userfiles/file/2015/9-10_2015/Mykhailychenko.pdf)
5. Белая книга по эффективному и устойчивому внутреннему водному транспорту в Европе [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: <https://www.unecce.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/sc3wp3/ECE-TRANS-SC3-189r.pdf>
6. 6.Офіційний сайт товариства з обмеженою відповідальністю сільськогосподарського підприємства «Нібулон» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nibulon.com/>.
7. Міністерство інфраструктури України [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: <http://www.mtu.gov.ua>
8. У Верховній Раді триває обговорення законопроекту «Про внутрішній водний транспорт» [Електронний ресурс]. – [Режим доступу]: [http://24tv.ua/u\\_verhovniy\\_radi\\_trivaye\\_obgovorennya\\_zakonoproektu\\_pro\\_vnutrishnij\\_vodniy\\_transport\\_n755810](http://24tv.ua/u_verhovniy_radi_trivaye_obgovorennya_zakonoproektu_pro_vnutrishnij_vodniy_transport_n755810)

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТНОШЕНИЯ МОРЯКА К ОПАСНОСТИ

*Евдокимова В. А.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*(Украина)*

*Хаеи Л.Г.,*

*Служба помощи*

*(г. Берлин, Германия)*

**Введение.** Судходство является одной из наиболее интернационализированных отраслей мировой экономики и регулируется международными соглашениями, особенно в области безопасности. Обеспечение безопасности судходства является сегодня приоритетным направлением его развития как в нашей стране [8], так и за рубежом [10].

**Актуальность проблемы.** Планирование и реализация мероприятий по обеспечению и поддержанию необходимого уровня безопасности судходства опираются на данные, информацию двух видов: «объективные» сведения о безопасности (статистика аварий и происшествий на море, характеристики надёжности техники и т.д.); сведения о субъективном восприятии опасностей в психике отдельного моряка, группы моряков и экипажа судна в целом. «Объективные» сведения о безопасности, строго говоря, необходимо именовать «квазиобъективными», так как их значительная часть претерпевает искажения в результате воздействия как объективных, так и субъективных факторов.

Официальные данные о структуре угроз, частоте инцидентов и тяжести их последствий зачастую искажаются. Механизм «корректировки прошлого» «министерством правды» в гиперболизированной художественной форме раскрыт Дж. Оруэллом ещё в 1948 году [6]. Эксперты единодушны в оценке того, что «всплывает лишь то, что уже невозможно скрыть». Данные научных исследований испытывают сильное влияние используемой методики и принятой гипотезы, отражающей субъективный взгляд исследователя. Однако, даже теоретически «полная объективность практически недостижима» [1, с.21].

Сведения первой группы (собранная статистика) обращены в прошлое, а второй группы – в будущее, так как представляют собой прогноз будущих событий на основе прошлого опыта и созданных на его основе конструктов опасности (аналогичная ситуация – в [1, с.19]). При этом, в связи с повышением удельного веса «человеческого фактора» в возникновении опасностей [7; 10], важность сведений второй группы постоянно возрастает, а их объём и качество очевидно недостаточны для практики.

**Постановка задачи.** Важная информация для решения задач безопасности на море может быть получена методом репертуарных решёток Дж. Келли. Он состоит в составлении списка опасностей; построении системы конструктов опасностей; оценке опасностей по выделенным конструктам – составлении репертуарной решётки; обработке полученной матрицы методами многомерной статистики [9]. Методика получения результатов применительно к задаче повышения безопасности моряка, экипажа и судна, несмотря на ряд проведенных исследований [4; 5], отработана пока недостаточно.

**Результаты исследований.** В психологическом и педагогическом тестировании используются два типа заданий, когда на заданный вопрос или иной предъявленный стимул (рисунок, фотография, жест и т.д.) нужно дать единственный ответ (реакцию) или ряд ответов. В последнем случае часто просят дать «как можно больше ответов» на поставленный вопрос. Порядок внесения в протокол ответов на заданный вопрос определяется как ситуативными, так и личностными факторами [1]. В предшествующих работах [2; 3], были высказаны предположения относительно связи номера опасности и её важности, весомости с иными факторами, отражёнными в индивидуальной системе конструктов опасности индивида.

К проведению исследований были привлечены курсанты морской академии, матросы и офицерский состав. Цель работы - установить отношение моряков к опасности

и индивидуальные особенности «образа опасности» методом репертуарных решёток.

Номер опасной ситуации по порядку внесения в список обнаружил ряд значимых корреляций на уровне значимости более 0,99 с конструктами: субъективная важность, значимость, «опасность» опасности (коэффициент парной корреляции – 0,44; рис. 1а); величина социального ущерба из-за опасной ситуации (0,45; рис. 1б); естественный, природный характер источника опасности (0,44; рис.1в); вероятность возникновения опасного инцидента в частной, личной обстановке (0,43; рис. 1г).

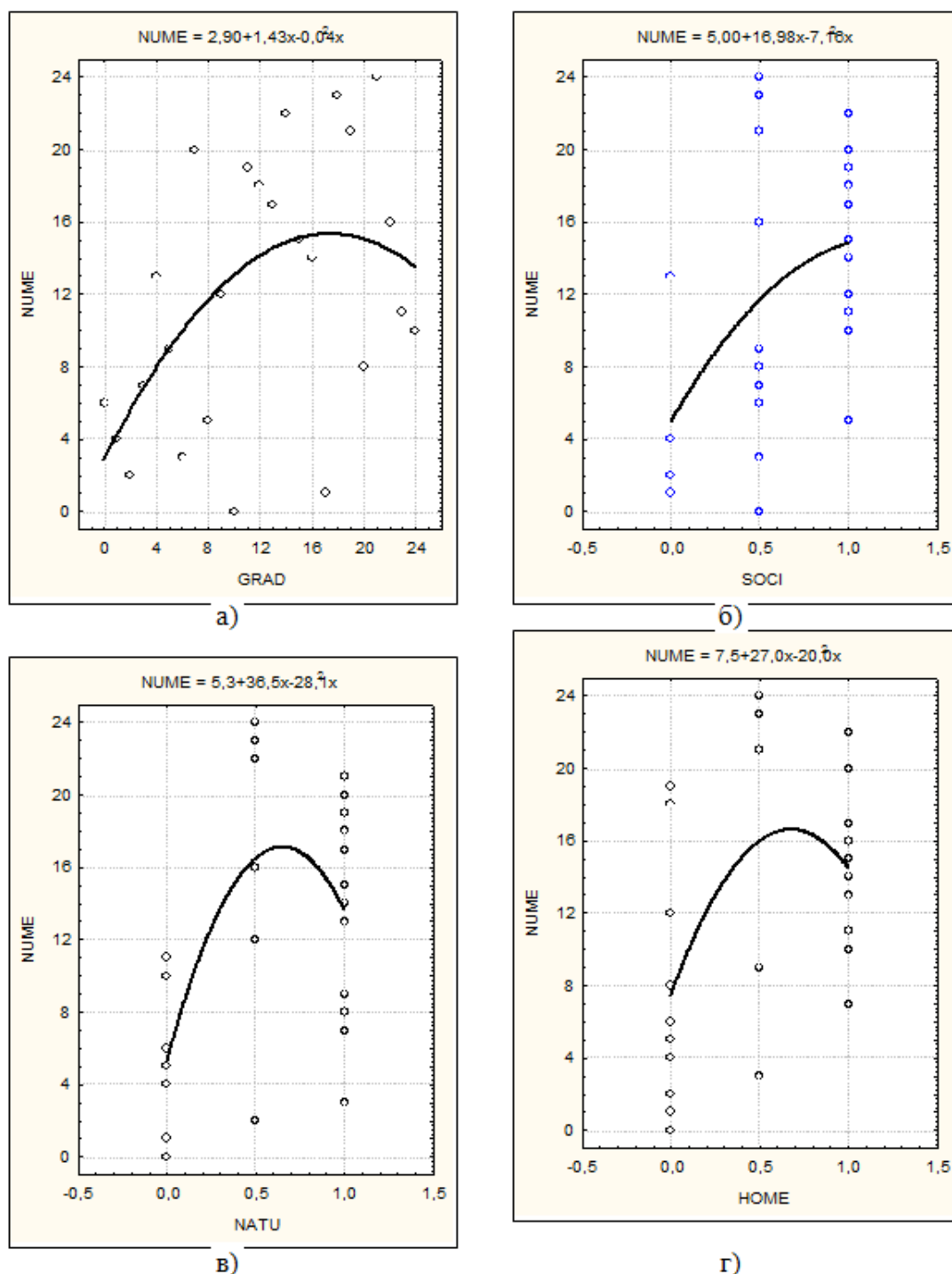


Рисунок 1 – Зависимость номера опасной ситуации по порядку внесения в список от её субъективной важности, значимости, «опасности» (а); величины социального ущерба из-за опасной ситуации (б); естественного, природного характера источника опасности (в); вероятности возникновения опасного инцидента в частной, личной обстановке (г).

Аппроксимация квадратичной зависимостью

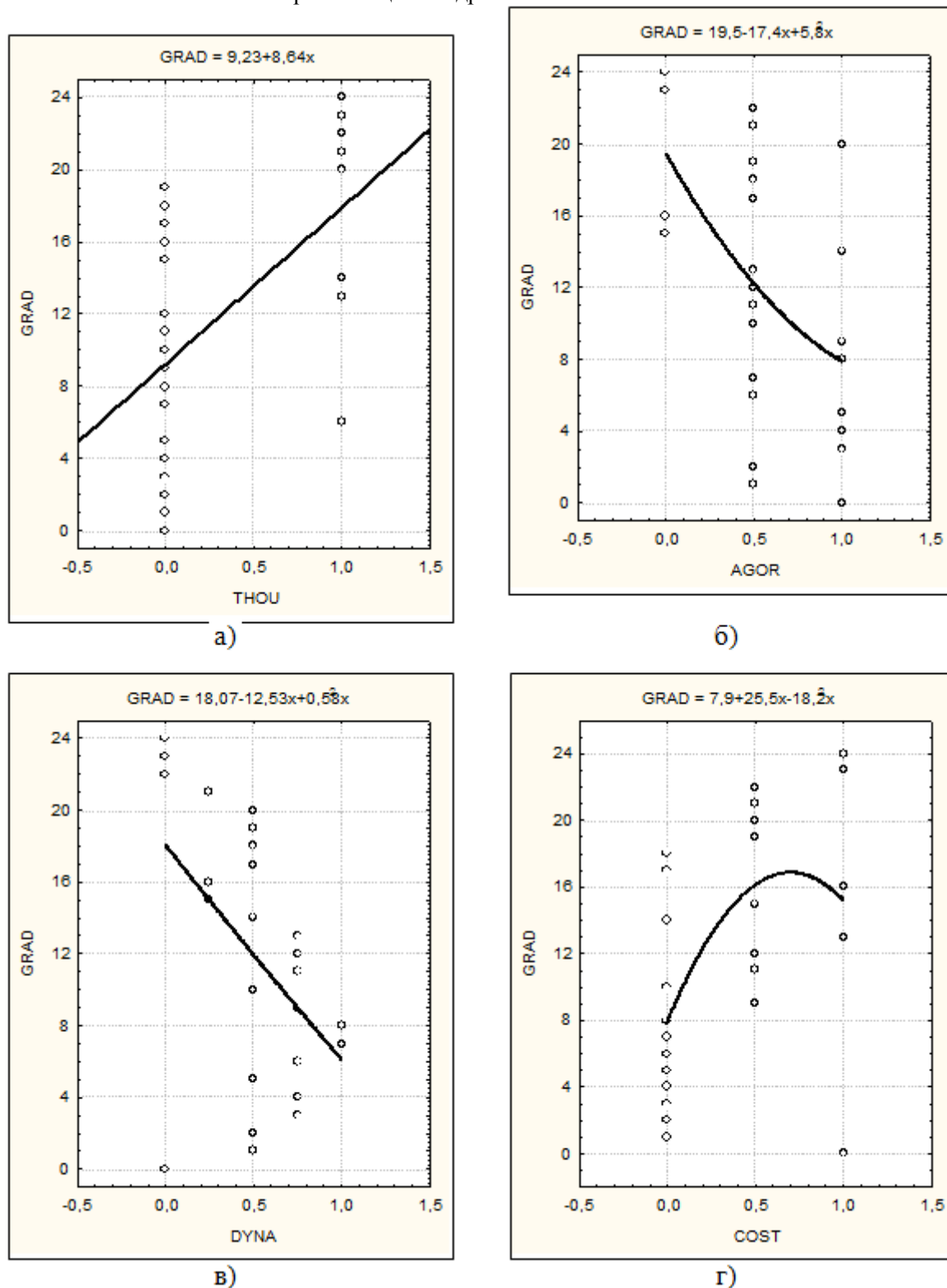


Рисунок 2 – Зависимость субъективной важности, значимости опасной ситуации от вероятности, частоты мыслей о ней (а); вероятности возникновения инцидента в открытом месте (б); скоротечности опасной ситуации (в); величины имущественно-финансового ущерба из-за опасной ситуации (г). Аппроксимация квадратичной зависимостью

Обнаруженные зависимости интерпретированы следующим образом: первыми вносятся в список наиболее значимые для респондента опасности; важность опасности в значительной мере определяется величиной ущерба для социального статуса моряка; на

море всё ещё главным источником опасности остаётся море, сила стихий; наиболее неприятным, вызывающим сильные негативные эмоции является ущерб для личной, частной зоны, в наибольшей степени связанной с личностью.

Все полученные зависимости являются выпуклыми, особенно, рис. 1в и 1г. Это говорит о том, что в области наиболее важных опасностей влияние обнаруженных факторов на порядок их внесения в список практически линейно, их образы достаточно ярки и определены, а в области второстепенных, малозначимых угроз сила взаимосвязей падает, образы опасностей «книжны» и недостаточно связаны с личным опытом моряка.

Субъективная важность, значимость опасной ситуации зависит от частоты мыслей о ней (0,56; рис.2а); вероятности возникновения инцидента в открытом месте (-0,52; рис.2б); скоротечности опасной ситуации (-0,49; рис.2в); величины имущественно-финансового ущерба (0,46; рис.2г). Значимость опасности и частота мыслей о ней представляют собой разные показатели для измерения одного фактора; инциденты на открытых местах и скоротечные ситуации менее опасны; величина финансового ущерба является важной характеристикой значимости опасности, как глазами фирмы, так и глазами моряка. Криволинейность полученных зависимостей обсуждена выше.

**Выводы.** Получены важные экспериментальные данные о составе и взаимосвязях конструкторов опасности на море, их значимости и порядке внесения в список.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. – СПб.: Питер, 2005. – 688 с.
2. Евдокимова В.А. Новый шёлковый путь: новые возможности и новые опасности – миграция/ В.А. Евдокимова, Л.Г. Хае// Міжнародна науково-практична конференція «Соціальні трансформації: сім'я, шлюб, молодь, середній клас та інноваційний менеджмент у країнах нового шовкового шляху»: 15-18 вересня 2016 р.: тези допов. – Одеса, ОНМУ, 2016. - С. 175-178.
3. Евдокимова В.А. Психологические аспекты восприятия индивидом личной системы опасностей/ В.А. Евдокимова, Л.Г. Хае// III Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика (SLA-2016)»: 13-15 вересня 2016 р.: тези допов. – Херсон, ХДМА, 2016. - С. 93-98.
4. О методике исследования отношения индивида к опасности / В.А. Евдокимова, Т. В.Кадинская, Л.Г. Хае// Проблемы емпіричних досліджень у психології: м. Київ, -2016.
5. Евдокимова В.А. Исследование отношения индивида к опасности / В.А. Евдокимова, Т.В. Кадинская // Третья Всероссийская заочная научная конференция с международным участием: Педагогика безопасности: наука и образование: 16 декабря 2016 г.: г. Екатеринбург.
6. Оруэлл Дж. 1984. - Пермь: Капик, 1992. – 304 с.
7. Пілотні оцінки рівнів домагань студентів-пілотів на показниках висоти при відмові авіадвигуна / О. М. Рева, В. А. Шульгін, О. М. Медведенко, Н. Р. Садуакасова // Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика. – Херсон, ХДМА, 2014. - С.131-135.
8. Топалов В.П., Торский В. Г. Человеческий фактор в судоходстве. - Одесса: Астропринт, 2015. – 244 с.
9. Kelly G. A. The Psychology of Personal Constructs, Vol. 1, 2. - New York, 1955.
10. Smith D. W. The human factor // Shipping world & shipbuilder, June 2014. - Pp.32-33.

## ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕКЛАДКИ РУЛЯ НА ТОЧНОСТИ ПОВОРОТА СУДНА

**Казак Ю.В.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Проблема обеспечения безопасности судовождения в стесненных районах плавания является одной из наиболее актуальных. Ее решение ведет к снижению навигационной аварийности, возникающей из-за посадок судов на мель. Количество навигационных аварий можно сократить минимизацией векториальных погрешностей, возникающих после завершения поворота.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна рассмотрены в работе [1]. К ним относятся погрешности, которые появляются из-за неточностей при переключке пера руля и момента начала поворота, для них получены аналитические выражения.

К проблематике данной статьи также имеют отношение вопросы по оценке надежности судовождения в случае следования судна мимо точечных навигационных опасностей [2], а в работе [3] рассмотрен критерий навигационной безопасности.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью доклада является определение влияния погрешности в переключке пера руля на точность поворота судна.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** При повороте судна векториальная погрешность  $S^{(\beta)}$  относительно прогнозируемой точки выхода судна на новый курс может возникать по причине появления погрешности переключки пера руля  $\Delta\beta_k$  [1]:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ и } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M,$$

где  $x_M$  и  $y_M$  – координаты точки М при наличии погрешности  $\Delta\beta_k$ ;  $x_N$  и  $y_N$  – координаты точки N при отсутствии погрешностей.

Как указывается в работе [4], динамическая модель вращательного движения судна описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$T_1 \ddot{K} + \dot{K} = k_\omega \beta_k,$$

решение которого имеет следующий вид:

$$K = K_0 + \omega_r t - T_1 (\omega_r - \omega_0) [1 - \exp(-t/T_1)],$$

где  $T_1$  – постоянная времени, характеризующая инерционные свойства судна;  $\beta_k$  – угол кладки руля;  $k_\omega$  – коэффициент эффективности руля;  $\omega_0$  и  $\omega_r$  – соответственно начальное значение угловой скорости поворота и частное решение исходного дифференциального уравнения.

Поворот судна содержит две фазы кладки пера руля. На первой фазе, в начальный момент времени производится переключка руля на угол  $\beta_k$  и руль удерживается в таком положении в течение интервала времени  $\Delta t_k$ . После этого выполняется переключка руля на противоположный борт и гасится инерция поворота судна в течение интервала времени  $\Delta t$ .

Как показано в работе [5], интервалы времени  $\Delta t_k$  и  $\Delta t$  находятся методом простых итераций из уравнений:

$$\Delta t_k = T_1 [1 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] + \Delta t - T_1 [2 - \exp(-\Delta t_k/T_1)] [1 - \exp(-\Delta t/T_1)] + \Delta K/a_\omega,$$



$$\Delta t = T_1 \ln [2 - \exp(-\Delta t_k / T_1)] ,$$

где  $a_{\omega} = k_{\omega} \beta_k$ .

Координаты точки М определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^{\Delta t_k} V_0 \sin[K_0 + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_0 \sin[K_0 + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (1)$$

$$y_M = \int_0^{\Delta t_k} V_0 \cos[K_0 + K] dt + \int_0^{\Delta t} V_0 \cos[K_0 + K(\Delta t_k) + \tilde{K}] dt , \quad (2)$$

Аналогично находятся выражения для координат  $x_N$  и  $y_N$  точки N, только при их расчете по формулам (1) и (2) значение  $a_{\omega} = k_{\omega}(\beta_k + \Delta\beta_k)$ .

**Выводы.** Таким образом, рассмотрена оценка векториальной погрешности, которая возникает в результате поворота судна. Показано, что величина векториальной погрешности зависит от модели поворотливости судна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ворохобин И.И. Векториальные погрешности, возникающие при повороте судна/ Ворохобин И.И., Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С.
2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т. Кондрашихин – М. : Транспорт, 1989. - 230с.
3. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Е.Ф. Мельник // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
4. Вагущенко Л.Л. Судно как объект автоматического управления / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОГМА, 2000. – 140 с.
5. Y. Kalinichenko. Analysis of mathematical models of changing the vessel's course when turning./ Y. Kalinichenko, I. Burmaka//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.-2016.-6/9 (84).- P. 20-31.

## УЧЕТ ТОЧЕЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБЛАСТИ НЕДОПУСТИМЫХ КУРСОВ СУДОВ

*Калиниченко Г.Е.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Одной из важнейших проблем безопасного судовождения является обеспечение безопасного расхождения судов при их опасном сближении. Обязательным условием возникновения ситуационного возмущения является сближение судов. Поэтому необходимо рассмотреть процедуру, позволяющую определить факт сближения, чему посвящен настоящий доклад.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** Теория гибких стратегий расхождения, позволяющая выбрать маневр расхождения судна с несколькими опасными целями изложена в работе [1], а содержание работы [2] составляет исследование эффективности парных маневров расхождения. Принцип реализации внешнего управления опасно сближающихся судов с помощью областей опасных курсов рассмотрен в работе [3].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Учет точечной навигации опасности при выборе маневра расхождения с помощью области опасных курсов является целью данного доклада.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Предположим, что в районе маневрирования судов находится точечная навигационная опасность. Ее параметрами являются пеленг  $\alpha_{n(1,2)}$  с судна на цель, дистанция  $D_{n(1,2)}$  до цели и предельно – допустимая дистанция  $\hat{D}_n$  ее прохождения. Для того, чтобы избежать посадки на мель при расхождении, каждое из судов должно избегать курсов уклонения, заключенных между граничными значениями курсов уклонения  $K_{yn}^{(p)}$  и  $K_{yn}^{(s)}$ , которые необходимо рассчитать с помощью выражений:

$$K_{yn1}^{(s)} = \alpha_{n1} + \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_{n1}}, \quad K_{yn1}^{(p)} = \alpha_{n1} - \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_{n1}},$$
$$K_{yn2}^{(s)} = \alpha_{n2} + \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_{n2}}, \quad K_{yn2}^{(p)} = \alpha_{n2} - \arcsin \frac{\hat{D}_n}{D_{n2}}.$$

Необходимые для расчета граничных курсов значения  $\alpha_{n1}$ ,  $D_{n1}$ ,  $\alpha_{n2}$  и  $D_{n2}$  можно найти, зная координаты сближающихся судов  $\varphi_1$ ,  $\lambda_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\lambda_2$  и точечной цели  $\varphi_n$ ,  $\lambda_n$  с помощью следующих формул:

$$D_{n1} = \sqrt{(\varphi_n - \varphi_1)^2 + (\lambda_n - \lambda_1)^2}, \quad \alpha_{n1} = \arcsin \frac{\lambda_n - \lambda_1}{\cos \varphi_n D_{n1}},$$
$$D_{n2} = \sqrt{(\varphi_n - \varphi_2)^2 + (\lambda_n - \lambda_2)^2}, \quad \alpha_{n2} = \arcsin \frac{\lambda_n - \lambda_2}{\cos \varphi_n D_{n2}}.$$

Рассмотрим ситуацию опасного сближения судов при наличии точечной навигационной опасности. Параметры ситуации сближения имеют следующие значения  $V_1 = 10$  уз.,  $V_2 = 20$  уз.,  $D = 3$  мили,  $\alpha = 0^\circ$ ,  $D_d = 1$  мили,  $\hat{D}_n = 0,5$  мили,  $\alpha_{n1} = 27^\circ$ ,  $D_{n1} = 2,24$  мили,  $\alpha_{n2} = 135^\circ$ ,  $D_{n2} = 1,41$  мили. Ситуация отображена на рис. 1.

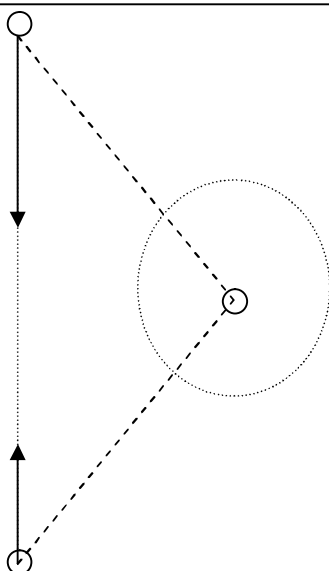


Рисунок 1 – Исходная ситуация опасного сближения

Для данной ситуации получены следующие граничные недопустимые курсы:  $K_{yn1}^{(s)} = 39,9^\circ$ ,  $K_{yn1}^{(p)} = 14,1^\circ$ ,  $K_{yn2}^{(s)} = 155,8^\circ$ ,  $K_{yn2}^{(p)} = 114,2^\circ$ . Область опасных курсов с учетом точечной навигационной опасности показана на рис. 2.

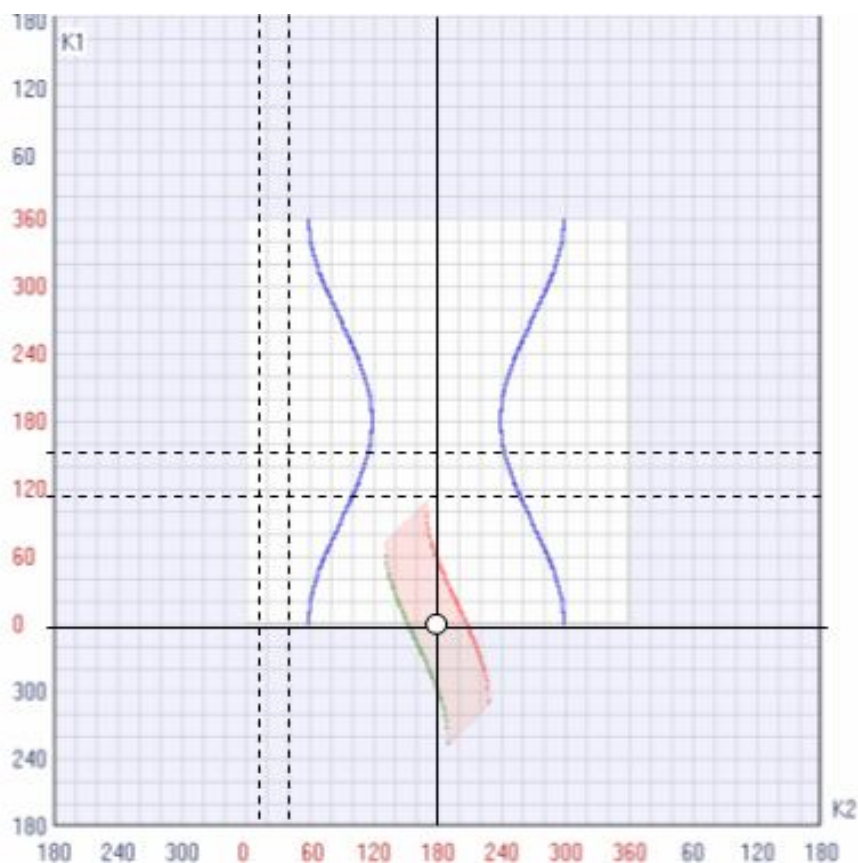


Рисунок 2 – Область недопустимых курсов с учетом точечной навигационной опасности

При следовании судов начальными курсами  $K_1 = 0$  и  $K_2 = 180$  соответствующая точка, как следует из рис. 2, принадлежит области опасных курсов. При выборе маневра расхождения следует избегать выбора точек, находящихся между параллельными пунктирными линиями.

**Выводы.** Таким образом, получена процедура учета точечной навигационной опасности при выборе маневра расхождения с помощью области опасных курсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н. Н., Бурмака И. А., Тюпиков Е. Е. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Пятаков Э. Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Пятаков Э. Н., Заичко С. И // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. – Одесса: «ИздатИнформ», 2008. – С. 166–171.
3. Бурмака И. А., Булгаков А. Ю. Маневр расхождения трех судов изменением курсов // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса : ОНМА. – С. 18–23.

## РОЗРАХУНОК КРИТЕРІЇВ МОРЕХІДНОСТІ В ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАТРУЛЬНИХ СУДЕН

*Кондратьєва Л.Ю.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова  
(м. Миколаїв, Україна)*

**Вступ.** Патрульний корабель як і будь-який інший зазвичай оцінюється по критерію вартість-ефективність, який складається з вартості та математичного очікування вірогідності виконання основних операцій. Патрульний корабель типу СМПВ за звичай розглядається як занадто дорогий варіант. Однак якщо врахувати вимоги до хитавиці, то стає зрозуміло, що СМПВ має значно кращі показники ніж його однокорпусний конкурент.

**Актуальність досліджень.** У зв'язку з необхідністю підвищення якості охорони територіальних вод України автор вважає необхідним включити в схему розрахунку вірогідності виконання операції затримання порушника, критерії всепогодного функціонування [1]. Виходячи з результатів роботи [2] необхідність всепогодного патрульного судна для України має велике значення.

**Постановка задачі.** На сьогоднішній день розрахунок оптимізації головних розмірів з урахуванням критерію всепогодності має певні проблеми для суден типу СМПВ. Критерії морехідності виглядають наступним чином: максимальні значення амплітуди бортової хитавиці не мають перевищувати  $8^\circ$ , кильової –  $3^\circ$ , а вертикальні і горизонтальні прискорення не мають перевищувати  $0,4g$  удосконалення процесу розрахунку значень амплітудно-частотних характеристик протягом процесу оптимізації згідно вищеперерахованих критеріїв являє собою мету дослідження.

**Результати досліджень.** Метод плоских перетинів, доступний для розрахунків амплітудно-частотних характеристик судна на ходу використовує, розроблений в 1929 році Ф. Льюїсом метод апроксимації шпангоута. Ним запропонована наступна функція, що реалізує конформне відображення зовнішності одиничного кола в площині комплексної змінної  $\tau$ , на зовнішність контурів, по близьких формі до дубльованим щодо ватерлінії корабельним шпангоутам в площині  $\zeta$ :

$$\zeta = y + iz = ia_0(\tau + a_1\tau^{-1} + a_3\tau^{-3}) \quad (1)$$

тут  $a_0, a_1, a_3$ -дійсні постійні, при чому  $a_0$  виражається через  $a_1, a_3$  і дійсну осадку судна  $T$ :

$$a_0 = -\frac{T}{1 + a_1 + a_3} \quad (2)$$

Таким чином, контур Льюїса визначається коефіцієнтами  $a_1$  і  $a_3$ , які повинні бути виражені через параметри реального шпангоута. Виразимо напів-ширину шпангоута по ватерлінії  $b/2$  через постійні  $a_1$  і  $a_3$ .

$$\frac{b}{2} = T \frac{1 - a_1 + a_3}{1 + a_1 + a_3} \quad (3)$$

Відповідно, один з параметрів, що визначають контур форми Льюїса, матиме вигляд:

$$\frac{2T}{b} = \frac{1 + a_1 + a_3}{1 - a_1 + a_3} \quad (4)$$

Другий параметр коефіцієнт повноти  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\pi}{4} \frac{1 - a^2_1 + 3a^2_3}{(1 + a^2_1) - a^2_1} \quad (5)$$

Так як параметрами  $\beta$  і  $2T / \delta$  повністю визначають ординати контурів форми Льюїса, останні називаються двухпараметричними. Очевидно, що реальний шпангоут і апроксимуючий його двухпараметричний контур мають однакові коефіцієнти повноти і відносної осадки до напівширини, але дещо відрізняються один від одного за формою. Для шпангоутів, що мають традиційні обводи, ця обставина майже не позначається на величині приєднати мас. Однак для суден типу СМПВ вигляд шпангоутів має колосальні відмінності які можна побачити на рис. 1(а).

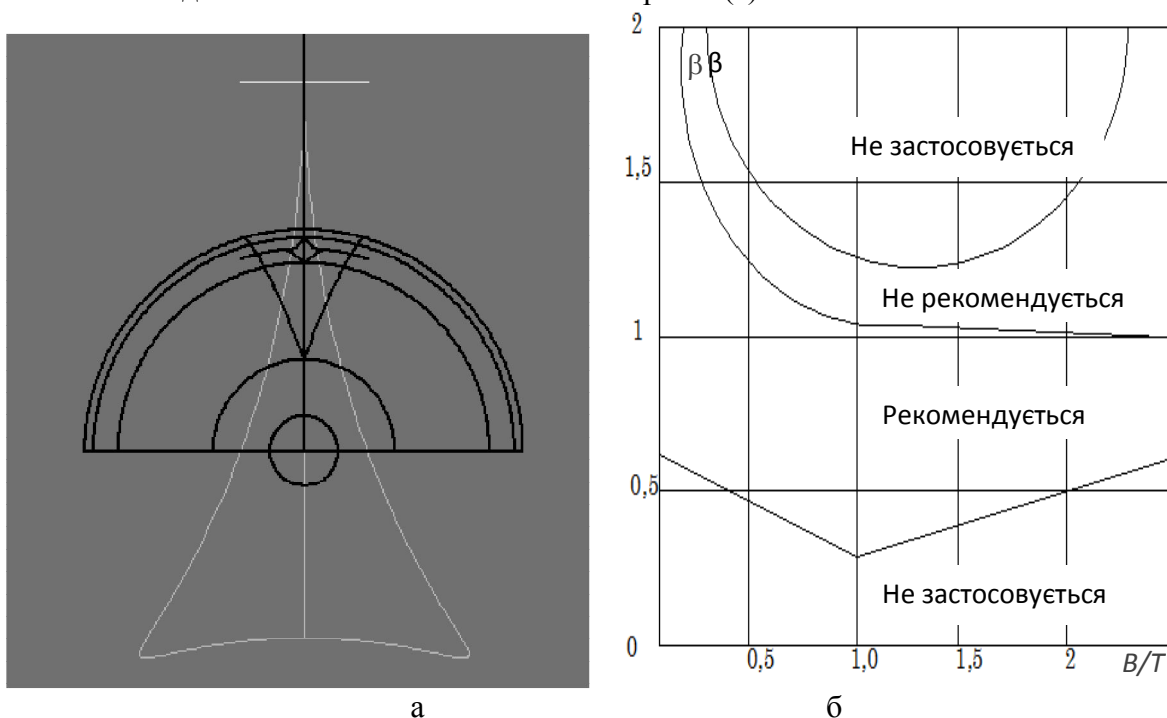


Рисунок 1: а – результат апроксимації реального шпангоута СМПВ методикою Льюїса; б – графік рекомендацій по застосуванню апроксимації для двохкорпусних суден типу SWATH.

За допомогою методу афінних перетворень було розроблено діаграму застосування шпангоутів Льюїса для двохкорпусних суден.

На сьогоднішній день цю апроксимацію використовує більшість популярних програмних забезпечень, які використовуються при проектуванні суден.

Програма «patrolSWATH» оптимізує розміри корабля берегової охорони на підставі розрахунків блоку MOTION, який в свою чергу визначає статистичні коливання судна, викликані рухом судна на постійній швидкості на нерегулярному хвилюванні при будь-якому розташуванні щодо бігу хвиль. Для розрахунку амплітудно-частотних характеристик використовується точки отримані за допомогою рівнянь окремо стійки, окремо підводного корпусу судна [3]:

$$y(x) = \frac{t_s}{2} \left[ 1 - \left( \frac{|L_{NS} - x|}{L_{NS}} \right)^n \right]; y(x) = \frac{t_s}{2}; y(x) = \frac{t_s}{2} \left[ 1 - \left( \frac{|x - L_{NS} - L_{CS}|}{L_{NS}} \right)^n \right]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

$$y(x, z) = \frac{Y_{\max}(z)}{2} \left[ 1 - \left( \frac{|x|}{L_{NH}(z)} \right)^{nf} \right]^{\frac{1}{nf}}; \quad y(x, z) = \frac{Y_{\max}(z)}{2}; \quad (7)$$

$$y(x, z) = \frac{Y_{\max}(z)}{2} \left[ 1 - \left( \frac{|x - L_{NS} - Lcs|}{L_{NS}} \right)^{nf} \right]^{\frac{1}{nf}} \quad (8)$$

Формула (6) використовується для генерації основних точок поверхні стійки, а (7) для підводного корпусу.  $x$  – розташування шпангоута за довжиною судна,  $Y_{\max}$  максимильна ширина корпусу,  $n_h$  ступінь, що змінює форму корпусу від круга до прямокутника. Слід відзначити, що (6) використовується для розрахунку носової частини, (7) для циліндричної вставки і (8)- для кормової частини корпусу.

Після формування файлу типу \*hull в якому також враховується вплив заспокоювачів хитавиці. На основі [4] використовуючи перетворення Фур'є розраховуються АЧХ для порівняння з вище вказаними критеріями та для кожного з варіантів під час пошуку максимуму цільової функції, що має наступний вигляд:  $F(X, C) \rightarrow \max \min(\min)$ ,  $X \in D \subset R^n$ ;

$$D = \{X \in R^n | g_j(X, C) \geq 0, \quad j \in [1, p], g_l(X, C) = 0, \quad l \in [p+1, k]\} \quad (9)$$

де  $F(X, C)$  – цільова функція;  $X(x_1, \dots, x_n)$  – вектор незалежних змінних, а  $n$  – їх кількість  $C(C_1, \dots, C_m)$  – вектор основних параметрів завдання,  $m$  – їх кількість;  $k$  – загальна кількість обмежень задачі;  $p$  – кількість обмежень задачі, що представлені у вигляді нерівностей; допустимий простір пошуку  $D$  сформовано на основі системи прямих і функціональних обмежень.  $R^n$  –  $n$ -мірний Евклідов простір [3].

У процесі руху судна в умовах нерегулярної хитавиці процеси силової та кінематичної реакції судна на хвилі будуть являти собою нерегулярні функції часу. В блоці MOTION використовується спектральний метод розрахунку ймовірнісних характеристик хитавиці, котрий являє собою продовження лінійної гідродинамічної теорії хитавиці при переході до нерегулярного хвилювання. Спектральний опис морського нерегулярного хвилювання передбачає, що це явище являє собою стаціонарний гаусовський процес, а його головною характеристикою є спектр. Для частотного спектру  $S(\sigma)$  розроблено достатньо велика кількість апроксимуючих формул. У програмі є можливість зміни спектральної апроксимації за зразком програмного комплексу «Maxsurf Motion». Автор наводить результати розрахунків АЧХ СМПВ «Navatek I» без ходу, та на швидкості  $v=15$  вузл.

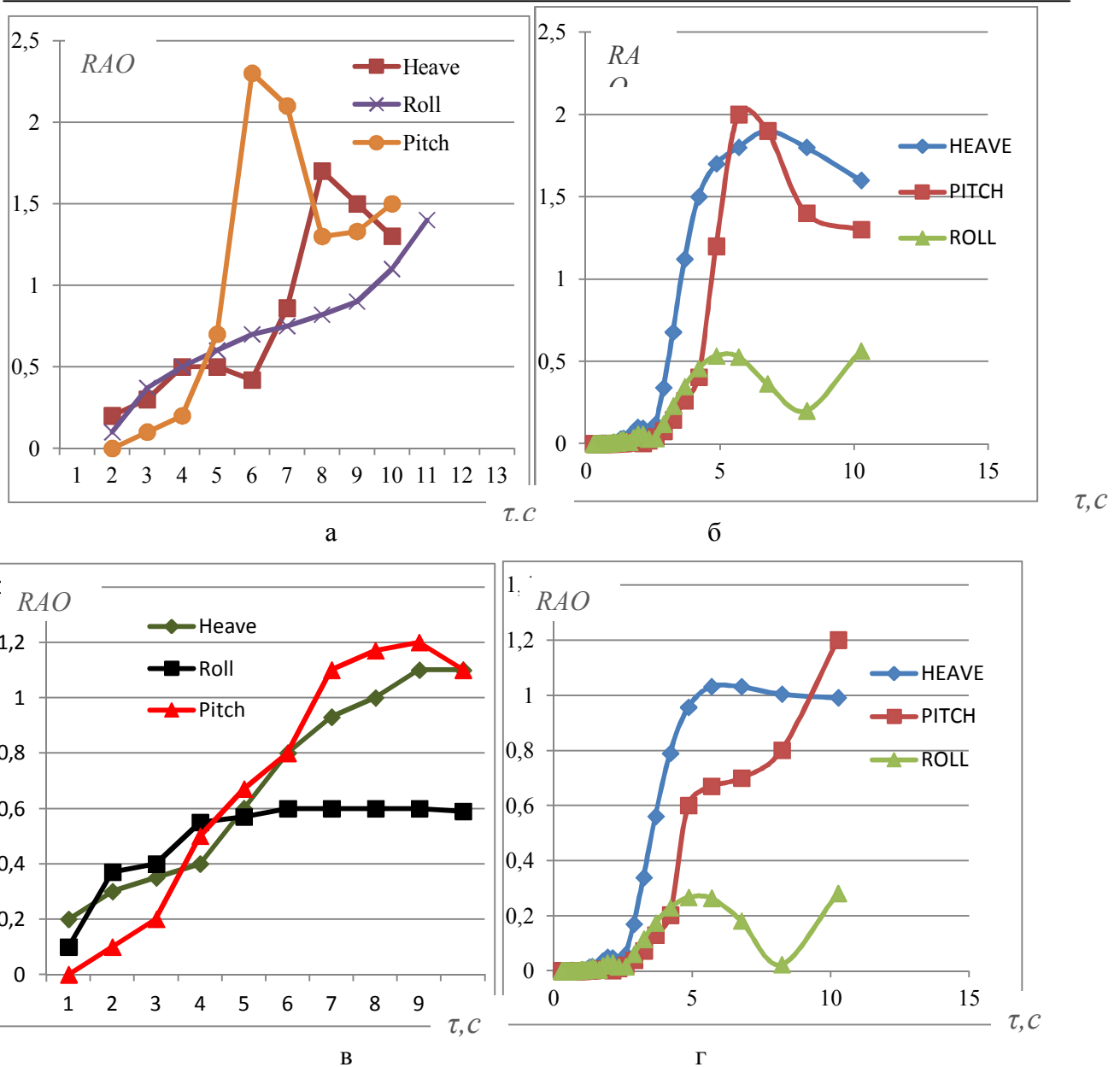


Рисунок 2 – АЧХ судна «Navatek I»: а – експеримент без ходу [5]; б – розрахунок в ПО «Patrol Swath», блок «Motion» без ходу, в - експеримент  $v=15$  вузл [5]; г- розрахунок в ПО «Patrol Swath», блок «Motion»  $v=15$  вузл. Navatek I  $\Delta=365$  (т); L=34(м); B=16(м); d=3,7(м); тип спектра JONSWAP,  $h_{1/3}=6$  (м). Порівняння аналітичних розрахунків блоку «MOTION» з результатами експерименту показали задовільну похибку

**Висновки.** В даній роботі описані можливості програмного комплексу patrolSWATH, основною метою якого є вдосконалення розрахунку оптимізації головних розмірів корабля берегової охорони. Максимальна увага приділена розрахунку амплітудно-частотних характеристик судна типу СМІВ, а також забезпечення умов морехідності, що стоять перед патрульним судном.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский В. А. Эффективный и недорогой патрульный корабль с вертолетом и беспилотными аппаратами/ Мореходство и морские науки – 2011: избранные доклады Третьей Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (15-16



февраля 2011 г.) / Под ред. В. Н. Храмушина. – Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. – 115 с.15-16 февраля 2011 г Режим доступа – [https://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1\\_114-121.pdf](https://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1_114-121.pdf)

2. Наумова В.А. Ветро-волновые условия азово-черноморского побережья Украины [Текст]/ В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев, В.П. Евстигнеев,

3. Бойко А.П. Разработка методики оптимального проектирования судов с малой площадью ватерлинии: дис. к-та техн. наук: 629.05.02/ Бойко А. П., Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова – Д., 2010 – Библиогр.: с.239

4. D. T. Higdon, Multi-Hull Motions Simulation /Text/4 July Philadelphia, 2000 .  
Режим доступа – <http://home.earthlink.net/~dynamicstech/downloads/multi-overview.html>

5. Seldl L. H., Clifford W. F., Cummings G. P., Design and operational Experience of the Swath ship NAVATEK-1/ Marine technology .- Vol. 30, № 3.-1993 pp/ 153-171.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПАСНЫХ СКОРОСТЕЙ СУДОВ ДЛЯ ВЫБОРА МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ

*Кулаков М.А.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах является важнейшей проблемой обеспечения безопасности судовождения. Стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением в настоящее время оборудуются станциями управления движением судов, которые контролируют процесс судовождения и управляют движением опасно сближающихся судов. Следовательно, разработка способов расхождения опасно сближающихся судов, чему посвящен данный доклад, является актуальным и перспективным научным направлением.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** Формализация характеристик управляемой динамической системы судов предлагается в статье [1], а принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [2].

Работы [3, 4] посвящены вопросам применения опасной области курсов судов для выбора маневра расхождения, причем использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения рассмотрено в работе [3], а в работе [4] предложен маневр расхождения трех судов изменением их курсов.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Разработка способа выбора маневра расхождения судов с помощью области опасных скоростей судов является целью данного доклада.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В реальных условиях эксплуатации при опасном сближении могут возникать мешающие факторы, которые не позволяют выбирать для расхождения оптимальное значение момента времени начала маневра  $t_n^*$ , например, другие суда или плавательные средства. В таких ситуациях необходимо выбирать  $\tilde{t}_n$  наиболее близкое к оптимальному значению  $t_n^*$ , но обеспечивающее безопасное расхождение судов при заданных режимах торможения.

С этой целью была разработана компьютерная программа, позволяющей определять значение дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min}$  при пошаговом изменении величины момента времени начала торможения  $t_n$ . Поэтому по изменению дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min}$  можно определить значение  $\tilde{t}_n$ .

На рис. 1 приведена ситуация опасного сближения с параметрами, имеющими следующие значения:  $D_0 = 4,3$  мили,  $\alpha_0 = 176^\circ$ ,  $K_1 = 138^\circ$ ,  $K_2 = 31^\circ$ ,  $V_1 = 16$  уз.,  $V_2 = 22$  уз.,  $D_d = 1$  мили. Для безопасного расхождения судов изменением скорости выбрана точка скоростей расхождения, с координатами  $V_{1y} = 7,0$  уз. и  $V_{2y} = 20,1$  уз., как показано на рис. 1. Из этого же рисунка следует, что для маневра расхождения первым судном выбрано активное торможение, а вторым судном - пассивное торможение.

Если торможение начать в момент времени  $t_n = 0$ , как показано на рис.1, то в этом случае суда разойдутся на дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min} = 1,28$ . На рис. 2 представлены характеристики маневра расхождения при  $t_n = 100$  с. При этом дистанция кратчайшего сближения будет равна  $D_{\min} = 1,09$  мили, а кривые активного и пассивного торможения начинаются с отметки 100 с.

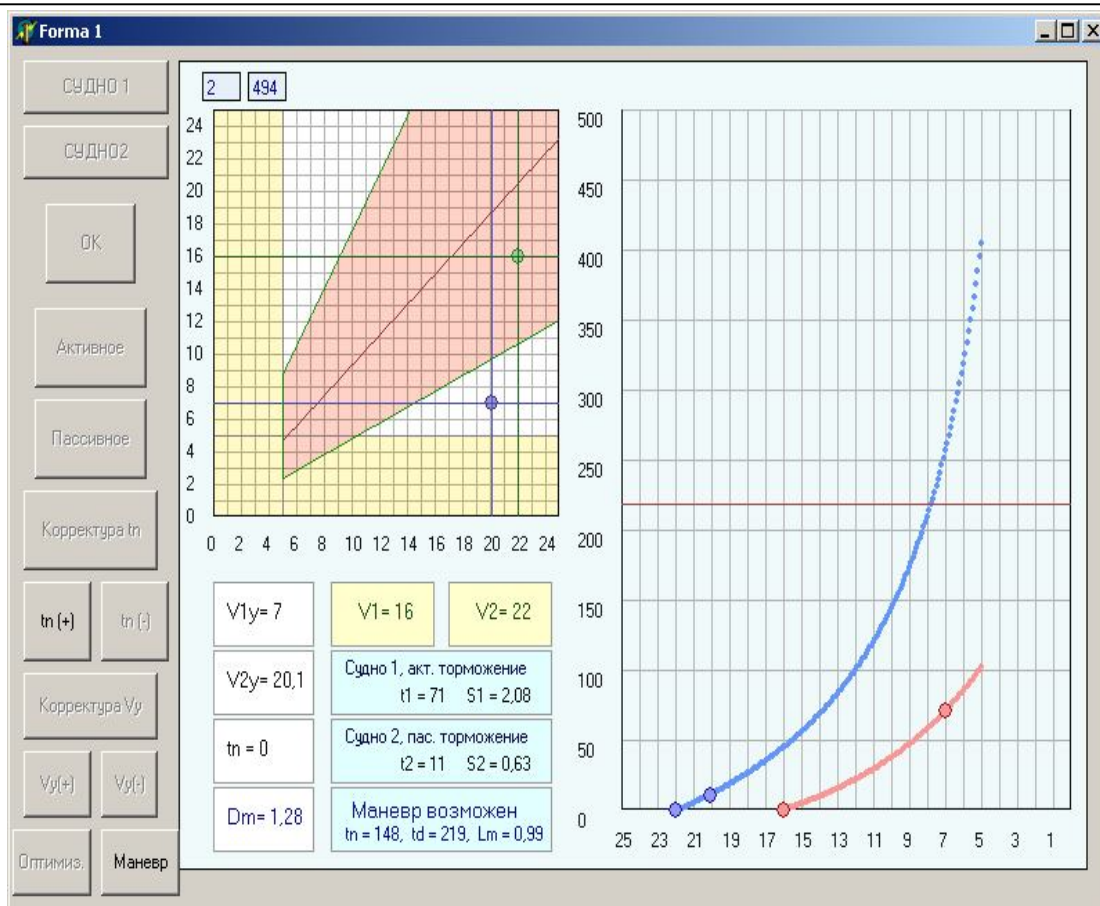


Рисунок 1 – Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 0$  с

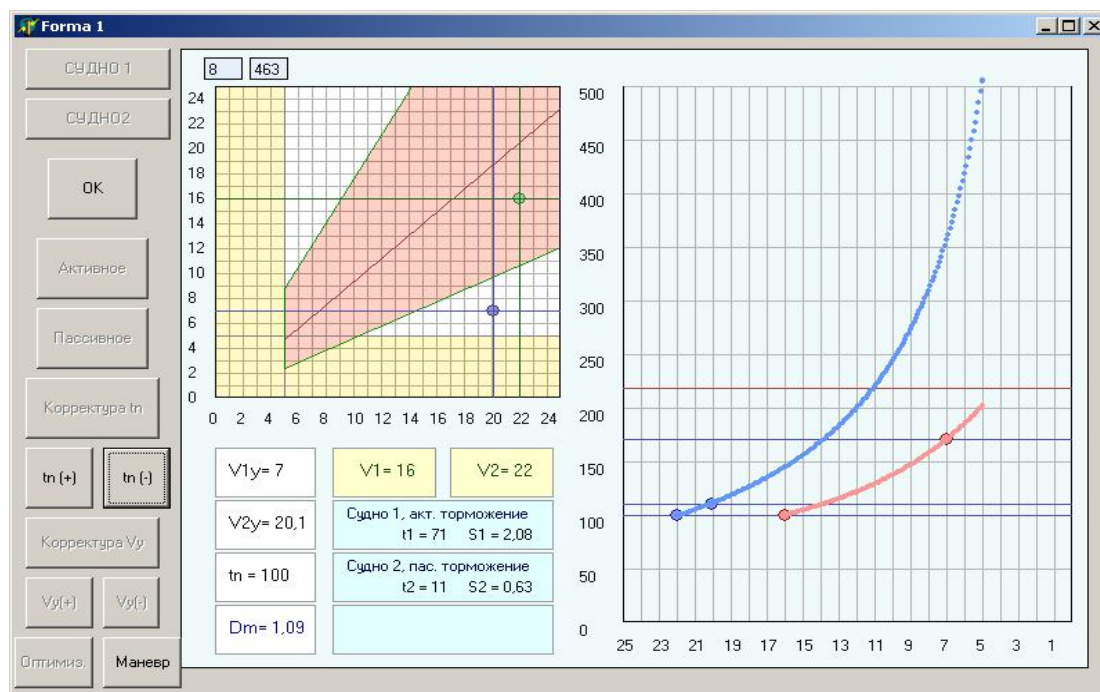


Рисунок 2 – Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 100$  с

Предлагаемая процедура компьютерного графического пошагового выбора маневра расхождения изменением скорости позволяет найти оптимальное значение момента времени начала маневра изменения скоростей обоих судов, при котором минимизируются потери времени расхождения.

**Выводы.** Таким образом, получен способ выбора маневра расхождения изменением скоростей судов с помощью области опасных скоростей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов/ Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
2. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9-13.
3. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. – №2 (20).– С. 12–17.
4. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75–81.

## ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО РАЗРУШЕНИЯ ВИРУСОВ ИММУНОДЕФИЦИТА ЧЕЛОВЕКА (ВИЧ)

*Настасенко В.А.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

**Введение** Работа относится к инновационным технологиям в сфере удовлетворения жизненных потребностей и безопасности жизнедеятельности человека, в частности – бактерицидного воздействия на кровь человека.

Явление резонанса, ведущее к резкому возрастанию амплитуды  $A$  установившихся вынужденных колебаний системы, когда частота  $\omega$  внешнего воздействия на колебательную систему объекта приближается к какой-либо из частот  $\omega_0$  ее собственных колебаний, широко применяют в технике для механического разрушения материалов и конструкций [1]. При этом есть основания предполагать о возможности вибрационного резонансного воздействия на бактерии и вирусы.

**Анализ состояния проблемы.** Идея возможности вибрационного резонансного воздействия на бактерии и вирусы была выдвинута еще в XIX веке ученым Александром Гурвичем (Россия) и Ройялом Райфом (США), которая нашла подтверждение в экспериментальных исследованиях. В настоящее время на базе патента [2] холдингом «DeVita» (Россия-Германия) созданы и выпускаются высокочастотные вибрационные приборы антипаразитарного действия (АР).

Особенностью данных приборов является создание магнитоотрицательным стержнем вибраций со сверхвысокой частотой (СВЧ)  $\approx 50$  МГц, что позволяет оказывать резонансное воздействие на большинство бактерий, вирусов, паразитов и грибков, обитающих в человеке и вызывающих его болезни. При этом внешнее расположение прибора в зоне солнечного сплетения человека требует создания объемного вибрационного поля радиусом около 0,5 м для охвата всех жизненных органов человека. Однако бактерицидное воздействие данными приборами на вирусы иммунодефицита человека (ВИЧ) не обеспечивается. Устранение этого недостатка является главной целью выполняемой работы. Учитывая смертельную опасность ВИЧ и растущее его распространение, решение данной проблемы является актуальной и важной задачей для всего человечества.

**Предлагаемый путь решения поставленной проблемы.** Вирусы иммунодефицита человека имеют форму шара с плотной защитной оболочкой и сложным внутренним строением в нескольких разновидностях, что определяет различную величину их размеров: от 80 до 200 нм. Основным заражающим элементом ВИЧ является ее рибонуклеиновая кислота (РНК), имеющая односпиральное строение, у которой размеры спирали витков на 1...2 порядка меньше диаметра оболочки [3]. Основным переносчиком ВИЧ является кровь – водная смесь, содержащая эритроциты, тромбоциты, лейкоциты, лимфоциты и другие составляющие ее тела и клетки. ВИЧ в крови находятся в свободном состоянии до проникновения в клетки крови и иммунной системы, в которых ее РНК трансформируются в ДНК, далее они размножаются и возвращаются в кровь после разрушения этих клеток.

Известные способы ликвидации ВИЧ протекают в условиях, ведущих к разрушению клеток, составляющих кровь и иммунную систему человека, что является их существенным недостатком, поскольку в конечном итоге снижаются жизненные способности человека. Кроме того в них не учтено, что ВИЧ относится к объектам микромира макромолекулярного уровня, для которого характерны не только вещественные, но и волновые характеристики, что позволяет выбрать путь вибрационного воздействия на них резонансными частотами. При этом важно обеспечить избирательность процесса бактерицидного воздействия.

В заявках на патенты Российской Федерации на изобретения [4, 5] данные недостатки устранены за счет подбора резонансных частот, диапазон которых распространяется только на ВИЧ и их РНК и не затрагивает остальных клеток и органов человека. Их особенностью и главным отличием от известных систем фирмы DeVita является не объемное действие на весь организм человека, а только на его кровь, для чего в систему его кровообращения вводится обводящий катетер и резонансное вибрационное поле создается только вокруг него. Это позволяет применять в качестве источников сверхвысоких частот малых размеров полупроводниковые лазеры, в т.ч. – используемые в устройствах памяти компьютеров.

Важным достоинством предлагаемых систем является подбор резонансных частот на отобранной пробе его крови, вне непосредственного воздействия на человека, что снижает вероятность ошибок и вредного воздействия на другие клетки и органы человека. При этом уменьшение объема и сечения катетера для протекающей крови интенсифицирует процесс при меньших затратах подводимой мощности, что благоприятно для сохранения свойств крови и входящих в нее клеток и веществ. Целесообразна установка нескольких генераторов СВЧ с разных сторон вокруг катетера. Реализация способа возможна в катетерах самотеком, а также в аппаратах искусственной циркуляции крови, искусственного сердца, гемодиализа.

Аналогичным образом может производиться бактерицидная обработка донорской крови, что расширит возможности ее забора и применения, особенно в экстренных условиях.

Путь создания требуемых генераторов СВЧ на полупроводниковых лазерах основан на создании у них толщин пленок  $p-n$  переходов равных или близких к размерам ВИЧ и их РНК. Технические возможности их промышленного производства имеются.

Наиболее эффективный этап применения – до проникновения ВИЧ внутрь клеток иммунной системы и крови, пока в них вырабатываются антитела (ранние этапы заражения ВИЧ), поскольку разрушение или повреждение плотной оболочки ВИЧ не только снижает их защиту к антителам, но и ведет к разрушению системы присоединения ВИЧ к этим клеткам. После попадания ВИЧ в клетки выбор резонансных частот должен быть особо тщательным, поскольку возможно повреждение данных клеток, поэтому, чем меньше их количество будет инфицировано, тем слабее будут вредные последствия применения способа.

Технико-экономические затраты на разработку и создание систем генерации частот соизмеримы с затратами на разработку и создание современных ПК и могут вестись параллельно их разработчиками, на условиях минимального дотирования и спонсорской помощи, а затраты на промышленное производство новых систем – не превысят затрат на производство современных ПК. Затраты на процесс воздействия систем на кровь – не дороже затрат иных видов ее бактерицидной обработки, например лампами ультрафиолетового облучения и др., что подтверждает целесообразность применения предлагаемого способа. Возможно его расширение на другие вирусы, в т.ч. гепатита, эбола, онкологические вирусы.

#### **Выводы.**

1. Учитывая положительный опыт резонансного бактерицидного воздействия СВЧ на вирусы, возможно также применение данного способа для разрушения вирусов ВИЧ.
2. Техническая простота, надежность и безопасность применения предлагаемого метода на пробах крови и на обводящих катетерах системы кровообращения человека способствует быстрому проведению клинических испытаний и широкому его внедрению.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Политехнический словарь / редкол.: А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – М. : Сов. Энциклопедия, 1989. – С. 451.
2. Патент Российской Федерации на изобретение № 2132204 Устройство активной защиты. Заявка № 96116580 от 12.08.96. Авторы и патентовладельцы Макаревич А.В. и Ковалев С.П. Оpubл. БИ № 24 от 27.06.99.
3. Электронный ресурс [http://www.aidsomsk.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43:2011-05-04-04-32-25&catid=34:2011-05-04-04-30-22&Itemid=66http://nashakozha.ru/e\\_HIV\\_stroenie.shtml](http://www.aidsomsk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=43:2011-05-04-04-32-25&catid=34:2011-05-04-04-30-22&Itemid=66http://nashakozha.ru/e_HIV_stroenie.shtml)
4. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2017101790/14 от 19.01.17. Способ бактерицидного воздействия на кровь инфицированного вирусами иммунодефицита человека (ВИЧ) и устройство для его реализации. Автор Настасенко В.А.
5. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2017101791/14 от 19.01.17. Способ бактерицидного воздействия на кровь, инфицированную вирусами иммунодефицита человека (ВИЧ) и устройство для его реализации. Автор Настасенко В.А.

## ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

*Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Важнейшей проблемой обеспечения безопасности судоходства является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. Аварийность по причине столкновений судов до сих пор находится на высоком уровне, что требует разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений. Следовательно, разработка мер по совершенствованию расхождения судов в ситуации опасного сближения, в частности корректной оценкой допустимой минимальной дистанции сближения, чему посвящен настоящий доклад, является актуальным и перспективным научным направлением.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** В работах [1] и [2] исследованы факторы, которые определяют значение предельно-допустимой дистанции сближения судов, а формированию безопасных доменов судов посвящена работа [3].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью данного доклада является формирование процедуры оценки предельно-допустимой дистанции сближения судов.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В работе [4] указывается, что при оценке значения предельно-допустимой дистанции сближения судов учитываются детерминированные и стохастические составляющие. К детерминированным факторам относятся явление присасывания, габариты судов и составляющая минимаксного запаса дистанции, который должен учитывать возможность возникновения непрогнозируемых событий, величину которого целесообразно выбирать в пределах диаметра циркуляции судна. Стохастическая составляющая определяется погрешностями радиолокационных измерений и погрешностями определения параметров движения судов.

При учете погрешностей радиолокационных измерений допускаем, что измерены дистанция  $L$ , пеленг  $\alpha$ , а также получена величина относительного курса  $K_{ot}$ , содержащие независимые погрешности измерений  $\delta L$ ,  $\delta \alpha$  и  $\delta K_{ot}$ . Учитываем, что дистанция кратчайшего сближения  $L_m$  определяется очевидной зависимостью от величин  $L$ ,  $\alpha$  и  $K_{ot}$ , которая имеет следующее аналитическое выражение:

$$L_m = L \sin(\alpha - K_{ot}),$$

из которого, пренебрегая слагаемыми высшего порядка малости, получим выражение для погрешности в дистанции кратчайшего сближения  $L_m$ , которую обозначим  $\delta L_m$ . Для этого необходимо найти полный дифференциал  $L_m$  по переменным  $L$ ,  $\alpha$ ,  $K_{ot}$ , т.е.:

$$dL_m = L \cos(\alpha - K_{ot})(d\alpha - dK_{ot}) + dL \sin(\alpha - K_{ot}).$$

В свою очередь, полный дифференциал относительного курса  $dK_{ot}$  определяется параметрами движения обоих судов и дифференциалами параметров. С учетом выражения для относительного курса [5] в общем виде можно записать:

$$dK_{ot} = \frac{1}{V_{ot}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) dV + dK,$$

где  $\Delta K = K_1 - K_2$ ;  $V_{ot}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos \Delta K$ .

Переходя к конечным приращением, окончательно получим выражение для оценки погрешности  $\delta L_m$  в определении дистанции кратчайшего сближения  $L_m$ :



$$\delta L_m = L \cos(\alpha - K_{от}) \left[ \delta \alpha - \frac{1}{V_{от}^2} \sin \Delta K (V_1 + V_2) \delta V - \delta K \right] + \delta L \sin(\alpha - K_{от}).$$

Очевидно, стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции, которая обозначена  $L_d$ , не должна превосходить погрешности дистанции кратчайшего сближения  $\delta L_m$  с вероятностью  $P_d$ , близкой по величине к единице. Поэтому стохастическая составляющая предельно-допустимой дистанции  $L_d$  определяется из соотношения  $P(L_d \geq \delta L_m) = P_d$ .

**Выводы.** В результате выполненной работы получены аналитические выражения для описания границы судовой безопасной области заданной формы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Бинай Кумар Синх. Выбор предельно-допустимой дистанции кратчайшего сближения / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2001. - № 3. - С. 38 – 42.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
4. Бурмака, И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.
5. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

## УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СУДОВ ПРИ ВЫБОРЕ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ

*Пятаков Э.Н.*

*Институт последипломного образования «Одесский морской тренажерный центр»,  
Херсонский филиал  
(г. Херсон, Украина)*

**Вступление.** В настоящее время число столкновений судов остается на недопустимо высоком уровне. Поэтому снижение аварийности по указанной причине требует, как одну из возможных мер, разработки корректных практических рекомендаций судоводителям, позволяющих произвести выбор безопасного маневра расхождения. В интенсивных районах плавания нередко возникают ситуации одновременного опасного сближения более двух судов, когда выполнение маневра расхождения согласно требованиям МППСС-72 зачастую становится затруднительным. Поэтому актуальным является вопрос разработки рекомендаций для таких ситуаций.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** Работы [1-4] посвящены принципам формирования систем бинарной координации. Вопросу определения угрозы ситуационного возмущения при опасном сближении судов посвящена работа [1], а возможный вариант системы, содержащей два иерархических уровня, рассмотрен в работах [2, 3], причем описание первого уровня приведено в публикации [3], а формализация второго уровня рассмотрена в статье [4].

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью данного доклада является разработка рекомендаций при опасном сближении трех целей с учетом требований системы координации и применения методов формирования гибких стратегий расхождения.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Допустим, оперирующее судно ( $c_1$ ) опасного сближения с целью ( $c_2$ ), когда в районе предполагаемого расхождения находится еще одно судно ( $c_3$ ) и матрица ситуационного возмущения  $W = \{\omega_{ij}\}$  имеет вид [5]:

$$W = \begin{vmatrix} 0 & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & 0 & \omega_{23} \\ \omega_{32} & \omega_{31} & 0 \end{vmatrix},$$

в которой для рассматриваемого случая значения ситуационных возмущений  $\omega_{12}$  и  $\omega_{21}$  не равны нулю. Следовательно, между судами  $c_1$  и  $c_2$  возникает взаимодействие, характер которого определяется бинарным координатором  $Coor_{(2)}$ , реализованном в МППСС-72, и суда предпринимают согласованный маневр расхождения, компенсирующий ситуационное возмущение, т.е. обеспечение обращения значений ситуационных возмущений  $\omega_{12}$  и  $\omega_{21}$  в нуль. При этом стратегия расхождения, которая формируется оперирующим судном, зависит от начальных значений ситуационных возмущений  $\omega_{13} = \omega_{31}$  и  $\omega_{23} = \omega_{32}$ .

В случае  $\omega_{13} = 0$  и  $\omega_{23} = 0$  наличие судна  $c_3$  не вызывает появление его взаимодействия с оперирующим судном и с целью. В этой ситуации  $G^{(1)}$  возникает только взаимодействие  $Vz_{12}$  между оперирующим судном  $c_1$  и опасной целью  $c_2$  и координатор  $Coor_{(2)}$ , исходя из относительной позиции судов  $S_{12}$  и их статусов  $St_1$  и  $St_2$ ,

предписывает взаимодействующим судам координирующие сигналы  $\gamma_{12}$  и  $\gamma_{21}$  [5, 6]. Эти сигналы определяют их поведение в процессе расхождения, предписывая каждому из них взаимные обязанности, что позволяет судам произвести выбор стратегий расхождения. При этом одно из судов сохраняет свои параметры движения, в то время как второе судно выполняет маневр расхождения или оба судна предпринимают согласованные маневры расхождения.

Следовательно, оперирующее судно  $c_1$  выбирает стратегию расхождения  $D_1^{(1)}$ , исходя из координирующего сигнала  $\gamma_{12}$  и реализовавшейся области взаимных обязанностей. Причем, если координатор предписывает оперирующему судну  $c_1$  уступить дорогу цели  $c_2$  ( $\gamma_{12}^{(1)} = 1$ ), то стратегией расхождения  $D_1^{(1)}$  выбирается маневр уклонения  $D_1(1)$ . Если  $\gamma_{12}^{(1)} = 0$ , т.е. оперирующему судну координатором предписывается сохранять неизменные параметры движения  $D_1(0)$ , то судно следует предписанной стратегии  $D_1(0)$  до момента времени  $\tilde{t}$ , когда вынуждено собственным маневром  $\tilde{D}_1(\tilde{t})$  предупредить возможное столкновение из-за бездействия цели  $c_2$ , которая не уступает дорогу  $D_2(0)$ . В данной ситуации  $G^{(1)}$  стратегия  $D_1^{(1)}$  определяется следующим образом:

$$D_1^{(1)} = \begin{cases} D_1(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 1; \\ D_1(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(1); \\ D_1(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(1)} = 0, D_2(0), t > \tilde{t}. \end{cases}$$

Рассмотрим ситуацию  $G^{(2)}$ , когда  $\omega_{13} = 1$  и  $\omega_{23} = 0$ . В этом случае помимо взаимодействия  $Bz_{12}$  между судами  $c_1$  и  $c_2$  возникает взаимодействие  $Bz_{13}$  между судами  $c_1$  и  $c_3$ . Следовательно, координатор  $Coor_{(2)}$  формирует координирующие сигналы  $\gamma_{12}^{(2)}$ ,  $\gamma_{21}^{(2)}$ ,  $\gamma_{13}^{(2)}$  и  $\gamma_{31}^{(2)}$ . Оперирующему судну координатором адресуются сигналы  $\gamma_{12}^{(2)}$  и  $\gamma_{13}^{(2)}$ , которые могут предписывать ему один тип поведения ( $\gamma_{12}^{(2)} = 1$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 1$  или  $\gamma_{12}^{(2)} = 0$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 0$ ), т.е. маневрировать или сохранять неизменные параметры движения, или же противоречить друг другу ( $\gamma_{12}^{(2)} = 1$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 0$  или  $\gamma_{12}^{(2)} = 0$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 1$ ). В случае согласованных координирующих сигналов  $\gamma_{12}^{(2)} = 1$  и  $\gamma_{13}^{(2)} = 1$  оперирующее судно должно уступить дорогу судам  $c_2$  и  $c_3$  маневром расхождения  $D_1^{(2)}(1)$ , который может реализоваться одним из двух возможных вариантов: общим маневром для обоих судов  $c_2$  и  $c_3$  или двумя последовательными маневрами для каждого из судов.

Если координирующие сигналы  $\gamma_{12}^{(2)} = 0$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 0$  предписывают оперирующему судну сохранять неизменные параметры движения относительно обоих судов  $c_2$  и  $c_3$ , то оперирующее судно следует постоянным курсом и скоростью  $D_1^{(2)}(0)$  при условии, что цели  $c_2$  и  $c_3$  выполняют предписанные маневры уклонения  $D_2(1)$  и  $D_3(1)$ . Если же одна из целей или обе цели не уступают дорогу оперирующему судну, то последнее следует постоянным курсом и скоростью  $D_1^{(2)}(0)$  до момента времени  $\tilde{t}$ , после которого судно  $c_1$  вынуждено собственным маневром  $\tilde{D}_1^{(2)}(\tilde{t})$  предупредить возможное столкновение.

В случае, когда координирующие сигналы противоречат друг другу ( $\gamma_{12}^{(2)} = 1$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 0$  или  $\gamma_{12}^{(2)} = 0$ ,  $\gamma_{13}^{(2)} = 1$ ), оперирующее судно предпринимает маневр расхождения в нулевой момент времени  $\bar{D}_1^{(2)}(t_0)$ , который является безопасным для судов  $c_2$  и  $c_3$ . В рассматриваемой ситуации  $G^{(2)}$  стратегия  $D_1^{(2)}$  определяется следующим образом:

$$D_1^{(2)} = \begin{cases} D_1^{(2)}(1), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 1, \gamma_{13}^{(2)} = 1; \\ D_1^{(2)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 0, \gamma_{13}^{(2)} = 0, D_2(1), D_3(1); \\ D_1^{(2)}(0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 0, \gamma_{13}^{(2)} = 0, D_2(0), D_3(0), t \leq \tilde{t}; \\ \tilde{D}_1^{(2)}(\tilde{t}), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 0, \gamma_{13}^{(2)} = 0, D_2(0), D_3(0), t > \tilde{t}; \\ \bar{D}_1^{(2)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 0, \gamma_{13}^{(2)} = 1; \\ \bar{D}_1^{(2)}(t_0), & \text{если } \gamma_{12}^{(2)} = 1, \gamma_{13}^{(2)} = 0. \end{cases}$$

Аналогично рассматриваются ситуация  $G^{(3)}$  с ситуационными возмущениями  $\omega_{13} = 0$  и  $\omega_{23} = 1$ , а также ситуация  $G^{(4)}$ , которая реализуется при ситуационных возмущениях  $\omega_{13} = 1$  и  $\omega_{23} = 1$ . Для указанных ситуаций формируются стратегии  $D_1^{(3)}$  и  $D_1^{(4)}$ .

Перечисленные ситуации  $G^{(i)}$  ( $i = 1 \div 4$ ) предусматривают парные взаимодействия судов с противоположными координационными сигналами, когда одно из судов предпринимает маневр расхождения, а второе судно сохраняет неизменные параметры движения. В координаторе МППСС-72 только одна ситуация (Правило 14) при стандартном взаимодействии судов предусматривает одновременное маневрирование оперирующего судна и цели. В этой ситуации оперирующее судно выбирает маневр расхождения уклонением вправо независимо от поведения цели и третьего судна.

**Выводы.** Таким образом, используя методы формирования гибких стратегий расхождения и требования системы координации взаимодействия судов, можно синтезировать безопасные стратегии расхождения в ситуации сближения трех судов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С. 166 –171.
2. Пятаков Э.Н. Совершенствование методов координации судов при расхождении. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.13/ ОНМА. – Одесса, 2008. – 23 с.
3. Заичко С.И. Возможности синтеза системы формирования стратегий расхождения группы судов/ Заичко С.И., Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2006. – № 12. – С. 63 – 66.
4. Пятаков Э.Н. Требование к процедуре формирования второго уровня иерархической системы управления взаимодействием судов / Пятаков Э.Н. // Судовождение. – 2007. - № 13. – С. 145 – 148.
5. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015.-312 с.
6. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А Бурмака., Э. Н Пятаков., А. Ю. Булгаков – LAP LAMBERT Academic Publishing. – Саарбрюккен (Германия), 2016. – 585 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ПЛАВАННЯ СУДНА В СТЕСНЕННОМ РАЙОНЕ

**Северин В.В.**

*Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)*

**Введение.** Одной из наиболее актуальных проблем является обеспечение безопасного судовождения в стесненных районах плавания. Ее решение способствует снижению числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель и навалов на причал, для чего следует разработать математическую модель формирования вероятности безаварийного плавания судна в стесненных водах. Упомянутая модель позволяет выявить существенные факторы и предупредить их отрицательное влияние на процесс судовождения. При этом для разработки модели надлежит произвести формализацию допустимой области безопасного плавания судна, что требует задания ее существенных характеристик.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** В работе [1] предложена процедура оценки надежности судовождения в случае следования судна мимо выделяющихся (точечных) навигационных опасностей, а в работе [2] предложен критерий навигационной безопасности при плавании судна в стесненных водах.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Целью доклада является рассмотрение характеристик допустимой области безопасного плавания судна и их формализация для априорной оценки вероятности безаварийной проводки судна заданной безопасной областью.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В работе [3] показано, что априорная оценка вероятности безаварийного плавания зависит от основных существенных факторов: характеристики стесненности  $\phi(b)$  допустимой области плавания  $\mathcal{R}_s$ ; характеристик точности, обеспечиваемой системой навигационного оборудования, выражающихся в параметрах функции распределения  $F(b)$ ; выбора программной траектории  $Tr_{gr}(X, Y)$  в допустимой области плавания, что влияет на соотношение нормальных расстояний  $L_{st}$  и  $b - L_{st}$  и длины программной траектории  $s$ . Отметим, что  $b$  является текущей шириной безопасной области плавания судна.

Характеристика стесненности допустимой области плавания  $\mathcal{R}_s$ , которая показывает, как часто встречается каждое из возможных значений ширины  $b$  области, характеризуется ее минимальным  $b_{min}$ , максимальным  $b_{max}$  значениями и распределением частот  $\phi(b)$ , которое может быть задано в аналитическом или, как показано на рис. 1, в графическом виде. Следует отметить справедливость соотношения:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(b) db = \int_{b_{min}}^{b_{max}} \phi(b) db = 1.$$

Расположение программной траектории  $Tr_{gr}(X, Y)$  в допустимой области плавания  $\mathcal{R}_s$  целесообразно характеризовать смещенностью, причем характеристика смещенности учитывает положение программной траектории движения судна относительно геометрической середины области. Другими словами, если для всех точек программной траектории правое  $L_{sti}$  и левое  $L_{pti}$  нормальные расстояния до границ допустимой области равны между собой, то характеристика смещенности, которую обозначим через  $Sm$ , очевидно будет равна нулю.

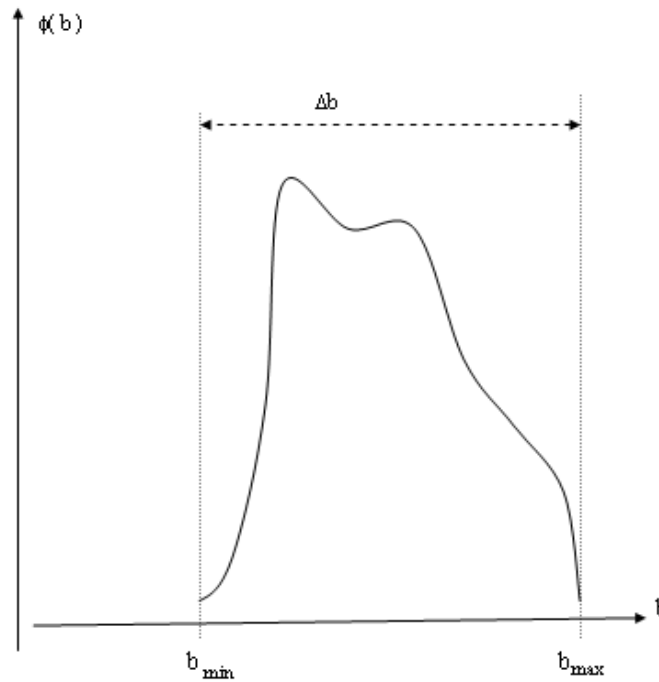


Рисунок 1 – Распределение частот  $\phi(b)$

Оценку смещенности программной траектории  $Tr_{pr}(X, Y)$  предлагается производить следующим образом. Для каждой точки программной траектории необходимо найти правое  $L_{sti}$  и левое  $L_{pti}$  нормальные расстояния и посчитать половину разности между ними, просуммировать эти половины разностей по всем точкам программной траектории и нормировать ее длиной  $s$ , т. е. аналитически это можно представить следующим образом:

$$S_m = \frac{1}{2s} \sum_I^s |L_{sti} - L_{pti}|.$$

Если учесть, что  $L_{sti} + L_{pti} = b_i$  и  $L_{sti} = b_i - L_{pti}$ , то справедливо элементарное соотношение  $(L_{sti} - L_{pti})/2 = b_i/2 - L_{pti}$ , с помощью которого последнее выражение можно записать в следующем виде:

$$S_m = \frac{1}{s} \sum_I^s |b_i/2 - L_{pti}|.$$

Очевидно, для несмещенной программной траектории для всех ее точек справедливо равенство  $L_{pti} = b_i/2$ , благодаря чему  $S_m$  обращается в ноль.

Приведенная характеристика смещенности  $S_m$  программной траектории носит обобщенный характер, давая общее представление о степени отклонения программной траектории относительно центральной линии допустимой области, однако ее нельзя корректно использовать для оценки вероятности  $P$  безопасной проводки судна по заданному маршруту.

Рассмотрим следующую характеристику смещенности программной траектории, обозначая через  $\delta_b$  величину смещения в произвольной точке программной траектории,

причем  $\delta_b = \frac{1}{2} |S_{st} - S_{pt}|$ , т.е. является половиной модуля разности нормальных расстояний. Следовательно, для каждой точки программной траектории можно указать смещение  $\delta_{bi}$ , однако целесообразно группировать смещения  $\delta_{bi}$  по значениям ширины  $b$  допустимой области безопасного плавания. Это значит, что на всем протяжении

программной траектории для заданного значения  $b_i$  ширины  $b$  отбираются смещения  $\delta_{bij}$  и группируются по частоте появлений. При этом получаем условное распределение частот смещения для ширины, которая принимает значение равное  $b_i$ . Условное распределение частот смещения  $\delta_{bij}$  обозначим  $\gamma(\delta_b/b_i)$ , его графическое представление приведено на рис. 2. Смещение  $\delta_b$  может принимать максимальное  $\delta_{bmaxi}$  и минимальное  $\delta_{bmini}$  значения, причем в силу определения  $\delta_{bmaxi}$  не может превосходить по величине половину значения ширины  $b_i$ , т. е.:

$$\delta_{bmaxi} \leq b_i/2.$$

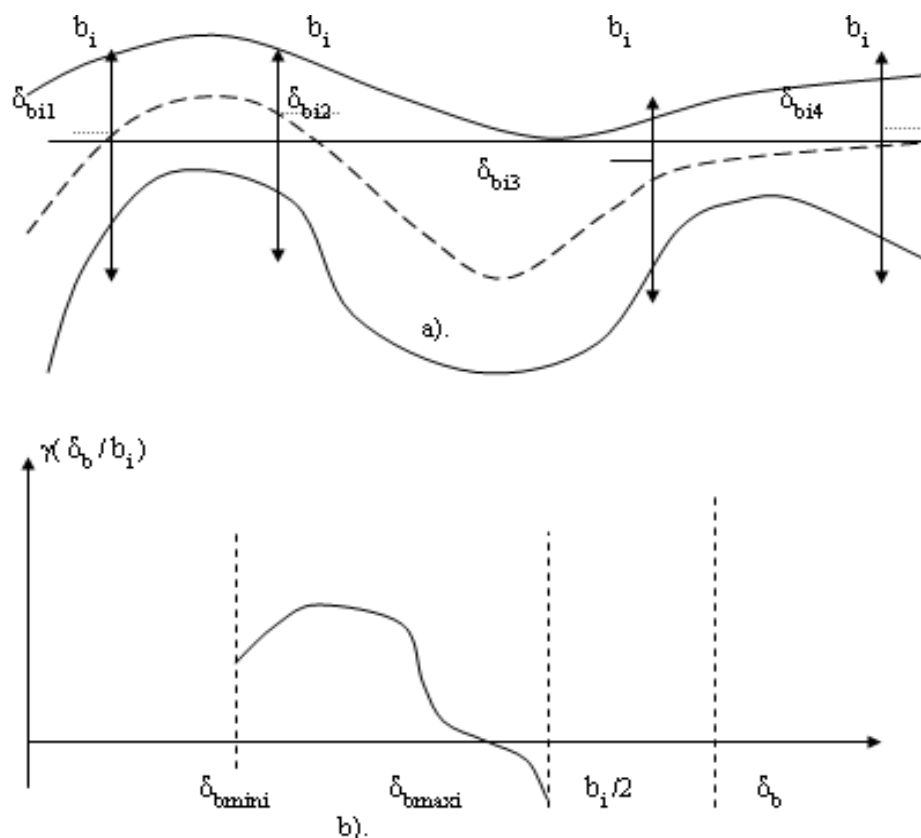


Рисунок 2 – Условное распределение частот смещения  $\delta_{bij}$

**Выводы.** Таким образом, получена характеристика допустимой области безопасного плавания судна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
2. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.
3. Вороховин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе / Вороховин И.И., Северин В.В, Казак Ю.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 25. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 47-55.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБСЕРВОВАННЫХ КООРДИНАТ СУДНА ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБОБЩЕННОМУ ЗАКОНУ ПУАССОНА

Сикирин В.Е.

Национальный университет «Одесская морская академия»

(Украина)

**Введение.** Для получения эффективных оценок обсервованных координат судна требуется знание закона распределения погрешностей навигационных измерений, который может отличаться от нормального закона.

Для расчета обсервованных координат судна при избыточных измерениях навигационных параметров применяется метод наименьших квадратов, который при распределении погрешностей линий положения по закону отличному от нормального обеспечивает эффективность обсервованных координат меньшую 1. Оценка эффективности обсервованных координат является актуальной тематикой, и в данной статье рассмотрим случай распределения погрешностей линий положения по обобщенному закону Пуассона.

**Актуальность исследования и анализ последних публикаций.** В работах [1-4] рассмотрены законы распределений погрешностей навигационных измерений, отличающихся от закона Гаусса «утяжеленными хвостами». Возможность использования распределения Вейбулла в моделях смешанных распределений анализируется в работе [1], а в работе [2] рассматривается математическая модель смешанного распределения. Публикации [3, 4] посвящены плотностям смешанного распределения погрешностей навигационных измерений, которые выражаются в явном виде.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).** Цель доклада заключается в оценке эффективности обсервованных координат, рассчитанных методом наименьших квадратов, когда погрешности линий положения распределены по обобщенному закону Пуассона.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Рассмотрим эффективность обсервованных координат судна при распределении погрешностей линий положения по обобщенному закону Пуассона. Так как обобщенное распределение Пуассона определяется существенным параметром  $c$  и масштабным параметром  $\sigma$ , то найдем зависимость эффективности  $e$  от существенного параметра  $c$ , для чего воспользуемся нормированными плотностями нормального  $\phi(x)$  и обобщенного пуассоновского  $f(x)$  распределений:

$$f(x) = \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{cx^2}{2k}\right), \quad \phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right).$$

Производные, необходимые для определения несобственных интегралов  $p$  и  $q$  [5], имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \phi(x) = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right\} = -x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right),$$

поэтому

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \phi(x) = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ -x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right\} = (-1 + x^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right).$$

Следовательно:

$$\left[ \frac{\frac{\partial}{\partial x} \phi(x)}{\phi(x)} \right]^2 = \left[ -x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right]^2 / \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \right]^2 = x^2,$$



$$\frac{[\frac{\partial^2}{\partial x^2} \phi(x)]}{\phi(x)} = [(-1+x^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2})] / [\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\frac{x^2}{2})] = x^2 - 1.$$

Поэтому интеграл  $q = \int_{R1} f(x) \left\{ \frac{[\frac{\partial^2}{\partial x^2} \phi(x)]\phi(x) - [\frac{\partial}{\partial x} \phi(x)]^2}{\phi^2(x)} \right\} dx$  с учетом полученных выражений принимает вид:

$$q = \int_{R1} f(x)(x^2 - 1)dx - \int_{R1} f(x)x^2 dx = -1.$$

Следовательно,

$$q = -1.$$

Несобственный интеграл  $p$  с учетом выражения  $p = \int_{R1} f(x) \left\{ \left[ \frac{\partial}{\partial x} \phi(x) \right]^2 \right\} dx$  имеет следующий вид:

$$p = \int_{R1} f(x)x^2 dx = \mu_2.$$

Однако, для нормированного обобщенного распределения Пуассона  $\mu_2 = c$ , поэтому

$$p = c.$$

Для поиска интеграла  $s$  находим  $\frac{\partial}{\partial x} f(x)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}) \right\} &= \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \left(-\frac{cx}{k}\right) \exp(-\frac{cx^2}{2k}) = \\ &= cx \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{3}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}). \\ \frac{[\frac{\partial}{\partial x} f(x)]^2}{f(x)} &= \frac{c^2 x^2 \left\{ \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{3}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}) \right\}^2}{\frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k})} = \\ &= \frac{c^2 x^2 \frac{\sqrt{c} \exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{3}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}) \right\}^2}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k})}. \end{aligned}$$

Поэтому

$$s = c^{\frac{5}{2}} \frac{\exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \int_{R1} x^2 \frac{\left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{3}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}) \right\}^2}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k})} dx,$$

если обозначить интеграл в последнем выражении:

$$\mathfrak{I}(c) = \int_{R1} x^2 \frac{\left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{3}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k}) \right\}^2}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{-\frac{1}{2}} \exp(-\frac{cx^2}{2k})} dx,$$

то  $s = c^{\frac{5}{2}} \frac{\exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \mathfrak{I}(c)$ . Следовательно,

$$e = \frac{1}{cc^{\frac{5}{2}} \frac{\exp(-c)}{\sqrt{2\pi}} \mathfrak{I}(c)} = \frac{\sqrt{2\pi} \exp(c)}{c^{\frac{7}{2}} \mathfrak{I}(c)}.$$

Для значений существенного параметра  $c$  от 3 до 20 были рассчитаны значения эффективности  $e$ , а результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость эффективности  $e$  от существенного параметра  $c$

$c$	2,3	3	5	10	15	20
$e$	1,0	0,7	0,4	0,2	0,133	0,1

Из табл. 1 следует, что с ростом существенного параметра  $c$  эффективность  $e$  убывает.

**Выводы.** Таким образом, получено выражение для эффективности обобщенного пуассоновского распределения, которая при  $c > 3$  значительно отличается от 1.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation // The Journal of Navigation. – Vol. 32.- № 3. – P. 426-429.
2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. – М.: Транспорт, 1989. – 250 с.
3. Ткаченко А.С. К вопросу формирования модели смешанного распределения погрешностей навигационных измерений // Судовождение. – 2005. - № 10 - С. 118-122.
4. Алексишин В.Г. Ткаченко А.С. Требования к плотности распределения среднего квадратического отклонения в модели смешанного распределения // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 9 – 13.
5. Мудров В.М. Методы обработки измерений / Мудров В.М., Кушко В.Л. - М.: Советское радио, 1976. 192 с.

**СЕКЦІЯ:**  
**КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТИКА І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**  
**ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

## ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЗОВНІШНІХ ОБВОДІВ ЛІТАКА У ПОЛЬОТІ

*Бабенко А.Є., Казак В.М.*

*Національний авіаційний університет*

*(м. Київ, Україна)*

**Вступ.** Сучасні літаки стають дедалі складнішими системами, що поєднують сучасні досягнення механіки і електроніки. Вартість сучасного цивільного літака на 50 % складається з електроніки. Саме електронні системи забезпечили підняття безпеки польотів на якісно новий рівень. У той же час, спостерігається розвиток наукового напряму моніторингу структурного стану динамічних систем (structural health monitoring) [1, 2] який може бути застосований до моніторингу стану зовнішніх обводів літака у польоті.

**Актуальність досліджень.** Підвищення рівня безпеки польотів міжнародної цивільної авіації є основоположною і найважливішою стратегічною метою Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) [3].

Моніторинг рівня авіаційної безпеки ІКАО базується на системному підході до авіаційної безпеки. При цьому, рівень авіаційної безпеки повинен завжди бути на «прийнятному» рівні. Пошкодження сторонніми предметами літака у польоті неможливо спрогнозувати заздалегідь, що напряму впливає на зниження рівня безпеки польотів як складової авіаційної безпеки. Воно може бути викликане зіткненням літака у польоті з механічними, біологічними та електричними об'єктами. Ефект від пошкодження може значно варіюватися: від погіршення керованості через вихід з ладу або втрату керуючих поверхонь літака до розвитку катастрофічної ситуації через зміну параметрів пошкодження та / або зміну підйомної сили та сили опору. Знаючи момент, місце та ступінь пошкодження можна прийняти необхідні дії для запобігання розвитку ситуації. Таким чином, моніторинг у реальному часі структурного стану зовнішніх обводів літака є актуальною задачею, що дозволяє забезпечити підтримання авіаційної безпеки на заданому рівні [4].

У той же час виявлено, що проблемі діагностування зовнішніх обводів літака у польоті приділяється недостатньо уваги. Серед компаній та науково-дослідних установ, що працюють над даною проблематикою, можна виділити корпорацію Боїнг, науково-дослідну групу з університету Токіо (Японія), науково-дослідну групу з Північно-Західного університету (США) та науково-дослідну групу професора Казака В. М. з Національного авіаційного університету (Україна).

**Постановка задачі.** Для вирішення задачі структурного моніторингу стану зовнішніх обводів літака у польоті необхідно:

- виділити зони зовнішніх обводів, на які припадає найбільше та найменше зіткнень літака зі сторонніми формуваннями в польоті;
- синтезувати алгоритм розміщення датчиків для різних систем діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті.

**Результати досліджень.** Під пошкодженням зовнішніх обводів літака у польоті будемо розуміти зміну геометричних форм зовнішніх обводів, що спричинена зіткненням літака у польоті. Представимо пошкодження як функцію довжини, висоти і глибини:

$$D = D(l, h, r) .$$

Окремі структурні частини зовнішніх обводів зазнають найчастішого впливу сторонніх предметів, ніж інші. В цьому і полягає принцип зонування літака. Поділимо літак на зони по принципу зниження ймовірності виникнення пошкодження  $P(D_i)$  (рис. 1). Зони літака запишемо як:

$$Z_n, n \in 1, \dots, 8 .$$

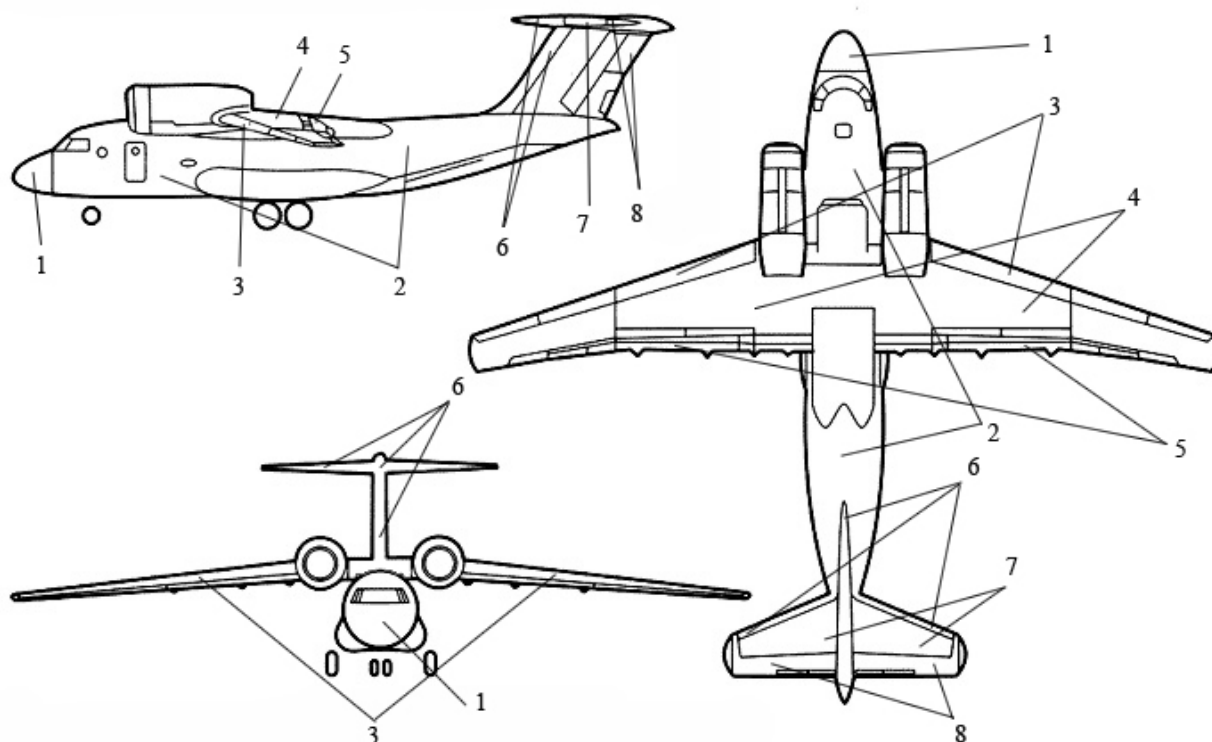


Рисунок 1 – Зонування літака: 1 – носовий обтікач, 2 – фюзеляж та центроплан, 3 – передня кромка крила (передкрилки), 4 – консоль крила, 5 – закрилки та інтерцептори, 6 – передні кромки хвостового оперення кіля та горизонтального стабілізатора), 7 – кесонна частина кіля та горизонтального стабілізатора

Вважатимемо ймовірність появи пошкодження  $P(D_i)$  рівномірною для кожної з  $n$  зон зовнішніх обводів.

Для виділених восьми зон можна записати:

$$P(D_i(Z_1)) = P(D_i(Z_3)) = P(D_i(Z_6)) >$$

$$P(D_i(Z_2)) = P(D_i(Z_4)) = P(D_i(Z_7)) >$$

$$P(D_i(Z_5)) = P(D_i(Z_8))$$

Для оцінки ймовірності виявлення пошкодження введемо коефіцієнт площі покриття: відношення контактної площі датчика до площі зовнішніх обводів, що моніториться відповідним датчиком:

$$K_s = \frac{S_s}{S_{ec}},$$

де  $S_s$  – контактна площа датчика;  $S_{ec}$  – площа зовнішніх обводів, що моніториться відповідним датчиком.

При  $K_s \ll 1$  ми можемо говорити про ймовірність виявлення пошкодження та похибку оцінювання розмірів пошкодження. При  $K_s \rightarrow 1$  ми можемо говорити про похибку оцінювання розмірів пошкодження.

У якості прикладу розглянемо систему діагностування зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям [5]. Для зазначеної системи в якості датчиків використовуються термопари. Тому  $K_s \ll 1$ .

Для системи діагностування зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям введемо коефіцієнт розтікання (рис.2):

$$k_p = \frac{n_{роз}}{n_{пошк\ max}}$$

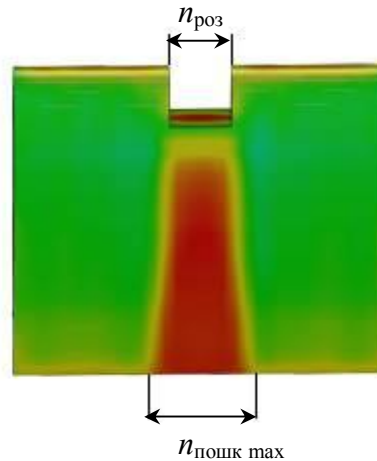


Рисунок 2 – Діагностування зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям

Загальні умови виявлення пошкодження для системи діагностування зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям, для яких ймовірність виявлення пошкодження  $P(D_i) = 1$ :

$$\begin{cases} \Delta T(V, \alpha, z_{\text{пошк}}) > \Delta T_n; \\ n_{\text{роз}}(V, \alpha) \geq h_d \vee \text{grad } T \in \{I\}; \\ i_d \geq 2; \end{cases}$$

Для усіх систем щільність масиву датчиків в восьми зонах буде неоднаковою.

Розглянемо загальну концепцію розміщення датчиків. Основна ідея оптимізації полягає у визначенні місцеположення датчика та їх щільності, враховуючи певну кількість датчиків, що може надати максимально повну кількість інформації про стан зовнішніх обводів літака як динамічної системи. Для реалізації цієї мети може бути сформульована задача оптимізації, рішення якої направлено на мінімізацію (або максимізацію) певної цільової функції, пов'язану з динамічними характеристиками системи, де розташування датчиків визначаються як дискретні змінні оптимізації (параметри) та константи (наприклад, номер датчика), а саме [6]:

$$\begin{aligned} & \min f(\mathcal{G}), \\ & \text{s.t. } g(\mathcal{G}) = n, \\ & \mathcal{G}^{lb} \leq \mathcal{G} \leq \mathcal{G}^{ub}, \\ & \mathcal{G} \in Z^+. \end{aligned}$$

де  $\mathcal{G} = \{Z_1, \dots, Z_n\}$  визначає розташування датчиків і визначається набором цілих чисел,  $f(\mathcal{G})$  є цільова функція,  $g(\mathcal{G})$  позначає загальну кількість місць розташування датчиків в процесі оптимізації,  $n$  – задане число датчиків,  $\mathcal{G}^{lb}$  та  $\mathcal{G}^{ub}$  представляють верхні і нижні межі  $\mathcal{G}$ , відповідно,  $Z^+$  позначає множину натуральних чисел.

У якості прикладу розглянемо розміщення датчиків системи діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті то їх тепловим полям, представлену на рис. 3.

Відсутність ущільнення датчиків на передній кромці, а також ущільнення їх на задній кромці крила зумовлене необхідністю якомога точнішої оцінки коефіцієнта розтікання як діагностичної ознаки.

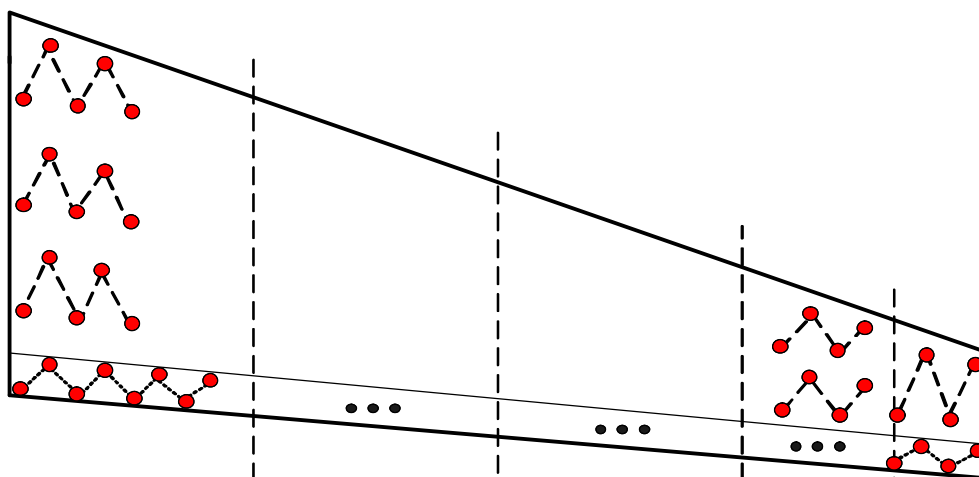


Рисунок 3 – Розміщення датчиків системи діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям

**Висновки.** Для вирішення поставленої задачі: виділено зони зовнішніх обводів, на які припадає найбільше та найменше зіткнень літака зі сторонніми формуваннями в польоті; синтезовано алгоритм розміщення датчиків для різних систем діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті.

Для оцінки ймовірності виявлення пошкодження запропоновано коефіцієнт площі покриття. При  $K_s \ll 1$  ми можемо говорити про ймовірність виявлення пошкодження та похибку оцінювання розмірів пошкодження. При  $K_s \rightarrow 1$  ми можемо говорити про похибку оцінювання розмірів пошкодження.

У якості прикладу розглянуто систему діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті то їх тепловим полям.

## ЛІТЕРАТУРА

1. K. Wojtek Przytula, David Allen, John Vian, Gary Mansouri Health monitoring for commercial aircraft systems. ICAS 2008 26 INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES, 2008, 8p.
2. Sridhar Krishnaswamy Structural Health Monitoring for Life Management of Aircraft [https://depts.washington.edu/amtas/events/jams\\_08/12.Krishnaswamy.pdf](https://depts.washington.edu/amtas/events/jams_08/12.Krishnaswamy.pdf) 31 p.
3. Состояние безопасности полетов в мире. ИКАО, 2013.
4. [http://www.icao.int/safety/State%20of%20Global%20Aviation%20Safety/ICAO\\_SG\\_AS\\_book\\_RU\\_SEPT2013\\_final\\_web.pdf](http://www.icao.int/safety/State%20of%20Global%20Aviation%20Safety/ICAO_SG_AS_book_RU_SEPT2013_final_web.pdf)
5. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів у польоті : монографія / В. М. Казак. – К. : НАУ-друк, 2010. – 284 с.
6. Бабенко Андрій Євгенійович. Діагностування стану зовнішніх обводів літака у польоті по їх тепловим полям.- Дис. канд. техн. наук: 05.22.20, Нац. авіац. ун-т. - Київ, 2014.- 152 с.
7. Hao Sun and Oral Büyüköztürk. Optimal sensor placement in structural health monitoring using discrete optimization. Smart Materials and Structures, Volume 24, Number 12. – IOP Publishing Ltd. – Published 12 November 2015.

## СИНХРОНИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Варбанец Р.А., Ерыганов А.В., Жолтиков Е.И., Хлевной К.И.*

*Одесский национальный морской университет*

(Украина)

**Введение.** Синхронизацией данных рабочего процесса называется их перевод из функций времени в функции от угла поворота коленчатого вала (ПКВ) [1].

$$f(t) \Rightarrow f(\varphi^{\circ}_{ПКВ}).$$

Такой перевод необходимо осуществлять потому, что все последующие расчеты параметров рабочего процесса ведутся относительно углов поворота коленчатого вала (ПКВ). Базирующаяся на этих расчетах настройка и диагностика основных узлов (цилиндропоршневой группы ЦПГ, топливной аппаратуры высокого давления ТА и механизма газораспределения МГР), также производится относительно фаз ПКВ. Известно, что расчетное значение среднего индикаторного давления и индикаторной мощности цилиндра может иметь до 9% искажений при ошибке синхронизации всего на 1° ПКВ [2]. Таким образом, решение этой задачи является первым базовым шагом, от точности которого зависит весь последующий расчет и корректность диагностических выводов.

**Актуальность исследований.** Диагностика технического состояния транспортных дизелей актуальна, в связи с необходимостью предупреждения тяжелых и дорогостоящих аварий, ущерб от которых возможен не только в финансовой сфере, но и зачастую может затронуть жизнь людей. С точки зрения эффективности эксплуатации, диагностика и последующая регулировка ТА и МГР снижают расходы на топливо и масло, уменьшают вибрацию и повышают резерв эксплуатационной мощности. Нормальное безаварийное функционирование транспортных дизелей в промежутках между плановыми ремонтами также целиком зависит от периодической диагностики ЦПГ, ТА и МГР [1, 3]. Согласно требований ИМО необходимо обеспечивать требуемый уровень эмиссии NOx и SOx при эксплуатации морских дизелей [1]. Выполнение этих требований также зависит от технического состояния дизелей и связано с необходимостью их периодического диагностического контроля.

**Постановка задачи.** В большинстве систем мониторинга рабочего процесса задача синхронизации решается аппаратным путем (установкой фазовых датчиков положения маховика коленчатого вала). Такой метод синхронизации имеет ряд серьезных недостатков.

В первую очередь это трудоемкая и долговременная процедура, которая плохо сочетается с оперативной работой в условиях морских судоремонтных заводов и железнодорожных депо. Именно из-за трудоемкости осуществления аппаратной синхронизации параметрическая диагностика рассматривается, как сложный и кропотливый процесс, который по возможности избегают, зачастую применяя в качестве диагностических данных только лишь пиковые значения давления сгорания в цилиндрах ( $P_z$ ).

Во-вторых, погрешность синхронизации непостоянна и зависит от нагрузочного режима двигателя, крутильных колебаний, длины канала индикаторного крана и ряда других факторов.



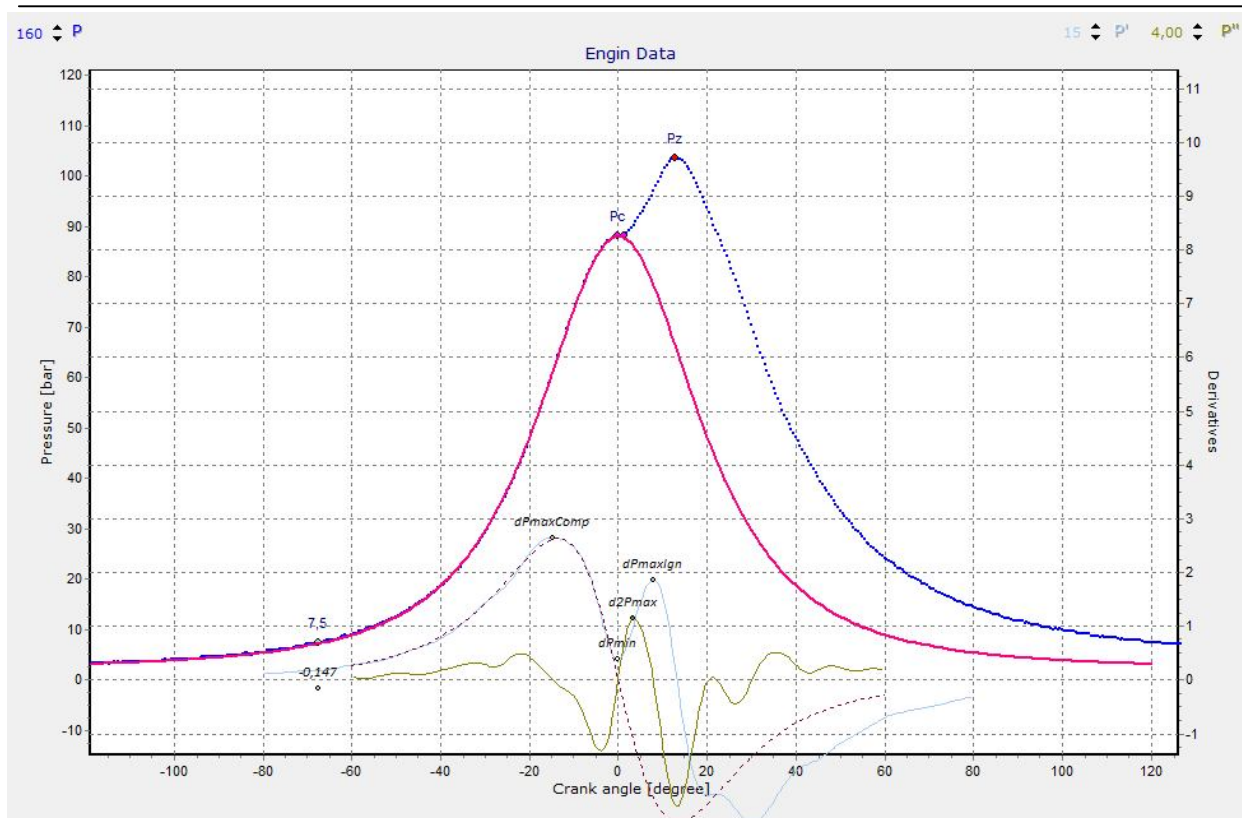


Рисунок 1 – Пример алгоритмической синхронизации индикаторной диаграммы DAIHATSU marine diesel generator 5DK-20e

Метод алгоритмической синхронизации рабочего процесса базируется на том факте, что при отсутствии сгорания в цилиндре скорость изменения давления в верхней мертвой точке ВМТ равна нулю, за вычетом термодинамического смещения, связанного с передачей тепла в стенки цилиндра:

$$p'_{\varphi - \delta\varphi_T} = p'_{\Theta} = 0 \quad (1)$$

С учетом термодинамического фазового смещения в ВМТ (при  $\varphi=0$ )

$$\Theta = -\delta\varphi_T.$$

Тогда выражение для скорости изменения давления на участке сжатия можно записать

$$\frac{dP_{comp}}{d\Theta} = -P_a V_a^{n_1} n_1 \frac{1}{V_{\Theta}^{n_1+1}} \cdot \frac{dV_{\Theta}}{d\Theta}. \quad (2)$$

где  $P_a$  – давление в начале сжатия;  $V_{\Theta} = V_{\varphi - \delta\varphi_T}$  – объем цилиндра:  $V_{\varphi} = V_c + 0,5V_s [1 + \frac{1}{\lambda_{ш}} - \cos\varphi - \frac{1}{\lambda_{ш}} \sqrt{1 - (\lambda_{ш} \sin\varphi)^2}]$ ;  $V_s = V_c(\varepsilon - 1)$  – объем, описываемый полным ходом поршня;  $V_c$  – объем камеры сжатия;  $\lambda_{ш} = R_{кр} / L_{ш} = S / 2L_{ш}$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Решая уравнения (1, 2), т.е.  $p'_{\Theta} = 0$ , получим координату ВМТ (рис. 1).

Одна из основных проблем решения (1, 2) состоит в том, что аналоговые и цифровые шумы в экспериментальных данных делают невозможным анализ первой  $p'$ , а тем более второй  $p''$  производных от кривой давления. В связи с этим необходимо применять корректно построенный цифровой фильтр, который будет убирать шумы не искажая при этом основной сигнал. После анализа ряда фильтров авторы выбрали

*Butterworth low-pass filter* [4]. Два его параметра (порядок и частота среза) настраиваются один раз исходя из частотных свойств диаграмм рабочего процесса дизеля. Затем, перед решением (1, 2) данные мониторинга фильтруются, после чего можно анализировать  $p'$  и  $p''$  – определять фазы максимумов повышения давления при сжатии и при сгорании топлива, определить максимум ускорения изменения давления при сгорании и т.д. (см. рис). Анализ кривых  $p'$  и  $p''$  дает возможность корректно разделить процессы сжатия и сгорания.

Участок кривой сжатия до начала сгорания используется для построения модели (2), которая пересекает ноль в координате ВМТ с учетом фазового смещения  $\delta\varphi_T$ , возникающего вследствие теплообмена со стенками цилиндра. Это фазовое смещение учитывается с помощью методики расчета теплообмена в цилиндре по формуле Вошни, описанной в [5]. На практике это означает, что диаграмма чистого сжатия-расширения в цилиндре немного несимметрична относительно ВМТ и максимум сжатия находится левее. Величина такого термодинамического смещения колеблется от десятых долей градуса до единиц градусов, в зависимости от типа дизеля и условий его охлаждения.

**Результаты исследований.** Использование алгоритмического метода синхронизации решает следующие задачи:

1) процесс диагностики становится оперативным и доступным для любого дизеля, находящегося под нагрузкой, без предварительной подготовки, что актуально для условий СРЗ;

2) автоматически учитываются погрешности синхронизации связанные с крутильными колебаниями и выборками люфтов в кривошипно-шатунном механизме;

3) автоматически учитываются погрешности синхронизации связанные со скручиванием коленчатого вала под нагрузкой, которое актуально для дальних от маховика цилиндров.

4) автоматически учитывается влияние конечной скорости прохождения волны давления в канале индикаторного крана (от камеры сгорания до мембраны датчика давления), которая приводит к фазовому смещению до  $10^\circ$  ПКВ на высокооборотных дизелях и до  $6^\circ$  ПКВ на СОД [18].

**Выводы.** Корректное решение задачи алгоритмической синхронизации повышает точность расчета параметров рабочего процесса и, как следствие, информативность диагностических данных. При этом решается главная задача – оперативность, что позволяет широко внедрять параметрическую диагностику в практику эксплуатации морских судоремонтных заводов и железнодорожных ремонтных предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Варбанец Р.А. Мониторинг частотных параметров судового дизеля с турбонаддувом / Р. А. Варбанец, А. И. Головань, Ю. Н. Кучеренко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология». Астрахань. – 2013. – № 1.–С. 103-110.

2. Combustion and Emissions Simulation // URL: <https://www.avl.com>

3. Руденко С.В., Варбанец Р.А., Ивановський В.Г., Ваганов О.І., Головань А.І., Кучеренко Ю.М., Кирнац В.І., Губін В.С. Розроблення та впровадження методів параметричної діагностики дизелів тепловозів для зниження витрат на паливо та ремонт//Звіт про науково-дослідну роботу.2013-2015. – 116 с.

4. Butterworth filter // URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter)

5. Вибе И. И. Новое о рабочем цикле двигателей / И. И. Вибе. – М. : МАШГИЗ, 1962. – 271 с.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Варбанец Р.А., Кырнац В.И., Александровская Н.И.*  
*Одесский национальный морской университет*  
(Україна)

Актуальным научным и прикладным направлением, которое имеет большое значение для морской и железнодорожной отраслей является задача дальнейшего развития и совершенствования методов комплексной диагностики рабочего процесса транспортных дизелей.

Эксплуатация транспортных среднеоборотных дизелей (СОД) связана с частыми изменениями нагрузки и длительной работой на долевых режимах. Это приводит к интенсивному износу цилиндропоршневой группы (ЦПГ), топливной аппаратуры высокого давления (ТА), механизма газораспределения (МГР) и системы газотурбонаддува (ГТН). При этом известно, что мощность и удельный расход топлива среднеоборотных дизелей в значительной степени зависит от технического состояния ТА высокого давления, МГР и ГТН, которые необходимо диагностировать в процессе эксплуатации для поддержания паспортных характеристик и предотвращения аварийных ситуаций.

Мониторинг рабочего процесса и определение индикаторных параметров СОД позволяет производить эффективную диагностику ТА, МГР и ЦПГ в случае анализа данных относительно углов поворота коленчатого вала. На СОД, в отличие от 2-тактных МОД, отсутствуют индикаторные приводы, осуществляющие такую синхронизацию данных. Установка аппаратных фазовых датчиков на маховиках СОД сопровождается временным выводом двигателя из эксплуатации, занимает определенное время, не отвечает принципам «неразрушающего контроля» и, самое главное, – не учитывает динамических погрешностей, возникающих при работе. Таким образом, очевидна актуальность аналитического решения задачи синхронизации, которое устранил перечисленные проблемы. Имеющиеся исследования в области аналитической синхронизации данных (Ю.Я.Фомин - полиномиальная синхронизация; В.Г. Ивановский - использование  $P'(\varphi)$ ; разработчики из «LemagGmbH» – геометрические методы синхронизации; «M.Tazerout» – использование температуро-энтропийных  $T(S)$  диаграмм) не достаточно эффективно решают задачу синхронизации данных мониторинга в условиях эксплуатации СОД на судне или во время реостатных испытаний. Предлагаемые расчетные методы критичны к шумам в исходном сигнале и изменениям нагрузочного режима. Актуальной является разработка аналитического метода синхронизации, применительно к условиям эксплуатации СОД.

Качество рабочего процесса зависит от технического состояния и настройки ТА высокого давления и МГР. По этому задача дальнейшего развития неразрушающих методов виброакустического контроля состояния этих узлов является актуальной задачей эксплуатации СОД.

Одним из дефектов, возникающих в условиях эксплуатации СОД на долевых режимах является повышенная вибрация ротора, возникающая вследствие неравномерного отложения сажи в проточной части и на лопатках рабочего колеса. Зарождающие дефекты подшипников также вызывают повышенную вибрацию ротора ГТН. Независимо от причины возникновения, повышенная вибрация ротора ГТН может привести к выходу из строя системы турбонаддува, резкому падению мощности двигателя и даже к аварийной ситуации. Диагностика вибросостояния корпуса ГТН осуществляемая на практике с помощью специального оборудования (например «VibroScanner DDSAdash(C)»), требует времени и подготовки персонала. По этому актуальной является задача развития и совершенствования доступных и удобных в эксплуатации СОД методов экспресс-диагностики ГТН с помощью спектрального анализа виброакустических сигналов.

## THE WAY FOR DESCRIPTION OF THE ALGORITHMS OF SHIP POWER PLANT PROTECTION SYSTEMS

*Dorogan O.I., Ushkarenko A.O.*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
(Ukraine)*

**Introduction.** According to the rules of classification and construction of marine vessels, [1] automation systems of ship power plants (SPP) must satisfy some requirements such as: remotely control of both starting and stopping of the generator drivers, as well as synchronization, connectivity and load sharing between parallel working generator units. For each motor drive, a speed controller, which has characteristics corresponding to the requirements of the factory, protection, and controlling the parameters are required.

To prevent hardware redundancy automation systems must have a means of analysis of the structural schemes [2, 3]. The work proposed for this purpose consideration microprocessor systems automation SPP in the form of control machines. Then, if for each system to allocate a set of operations, where each element will determine not only the algorithmic block action, but also the associated complex hardware to describe the functioning of the control automaton can use the language of logic algorithms, which, according to [4, 5], allow to optimize the structure of the individual and the totality of control machines. Last-level microprocessor systems will lead to their unification to eliminate hardware redundancy and rationalization of resource use microprocessors [6].

The aim of research is development of the algorithms of ship power plant protection systems and analyzing the contents of the received logic signals which allows to overcome structural redundancy of the systems.

The modern approach to design the automated control systems (ACS) is to use hierarchical management system architecture. Installing ACS in ship power plants can be divided into three vertical subordinate levels (listed in order from bottom to top) as:

- Local control motors and generators, which include automatic controls of engine speed and driving voltage generator. This required implementation algorithms to start and stop the engine in accordance with their factory instructions and tools to ensure the most high speed protection of the generator.

- Automation tools that are essential for interoperability power trains and optimize their use by correcting give and electricity consumed by them that are made by sending commands via the digital signals corresponding to local control systems.

- Computerized control system, so the data exchange can be transferred with automation midrange, which allows remote monitoring and control of electric power plant.

SPP generally consisting of several independent sections, in which the total load is several Diesel Generating Units (DGU). To ensure the above functions, ACS SPP on the second level of the hierarchy management system must have the following hardware automation: parameters monitoring system for ship network (one for each section), generator parameters monitoring system (for each diesel generator); protection device generators reverse power, loss of excitation, over current and power, the minimum voltage and frequency (for each DGU); control device start/stop diesel generator to prevent overload/under load working DGU (one per section); synchronization system of the generator set with tires MSB (for each generator that is not the main section); distribution system resistive load between parallel working DGU (one for each section); reactive load distribution system operating in parallel between DGU (one for each section); expansion modules or programmable logic controllers to control the circuit-breaker (the number depends on the number of digital I/O devices and the number of loads that need to be remotely switched).

Monitoring system parameters of ship network serves for remote control of the current and the instantaneous values of voltage and frequency shipboard network; averaging time for the

measurements of the current, voltage, and frequency is 120 sec. The system can be represented by the following logic:

$$y_0 \downarrow^1 [y_{1.1} \ y_{1.2} \ y_{1.3} \ y_2 \ \uparrow^1]^{T=120s} \quad (1)$$

$y_0$  – the initial state;  $y_{1.1}$  -  $y_{1.3}$  are measurements of the ship's mains: RMS voltage, frequency and instantaneous voltage, respectively;  $y_2$  is communication with upper level (here and after will be used the same notation).

Logical diagram determines the order of operation depending on the value of its constituent logical conditions. First the leftmost operator scheme is executed. After that is determined which operator scheme should be carried out as next. If it was illogical operator, then it must be done for the element which is located immediately to the right or the one indicated by an arrow. If the latter was the logical condition, then there are two possibilities. If the condition is satisfied, then the item should work, standing on the right. If it is violated, the operator which is pointed by the arrow that starts after this condition has to work.

For example, in the abstract of, in (1), a pair of up and down arrows marked with superscript 1 indicates that after completion of the measurement parameters ship network [ $y_{1.1}$ - $y_{1.3}$ ,  $y_2$ ] the transition goes (up arrow with index 1) to the initial state before measurement (down arrow with the index 1), i.e., this logic diagram describes the cyclic operation of measuring the parameters of the ship's network.

System requirements for monitoring parameters are DGU measurement and transmission for remote display of current and instant values of voltage and frequency, current, active and reactive power supplied by the generator set to the total load. Time averaging measurements is 120 sec.

$$y_0 \downarrow^1 [y_{1.5} - y_{1.10} \ y_2 \ \uparrow^1]^{T=120s} \quad (2)$$

$y_{1.5}$  -  $y_{1.10}$  – measurements of the electricity generated by diesel generator: instantaneous voltage, instantaneous current, RMS voltage, RMS current, values, power factor and frequency, respectively.

The device for protection of generator from reverse power should be included after connecting DGU for parallel operation with other power alternators and perform periodic continuous measurement of active power supplied by the generator to the total load. If a situation arises in which the DGU will consume active power from the network (the magnitude of 8-12% of the rated power of the generator), longer than a certain time (5-15 sec.) this device must disconnect the generator from the network by acting on the generator circuit breaker:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.7} \ y_{1.8} \ y_{1.9} \\ z_{2.1} \\ x_{2.1} \ \uparrow^1 \ y_{3.1} \ \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-15s} \quad (3)$$

$x_1$  – the condition «the breaker open»;  $x_{2.1}$  – condition «power consumption exceeds the limit  $P \leq -(0,08...0,12)P_{rat}$ »;  $z_{2.1}$  – calculation of active power;  $y_{3.1}$  – generating the signal to the relay, disconnecting the generator breaker.

The device for protection of generator from loss of excitation is also included after connecting DGU parallel operation with the network and serves to isolate the generator from the network in the event of their consumption of reactive power (value of 8-12% of the generator reactive power  $Q_{rat}$ ) for more than a certain period of time (5-15 sec.):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.7} \ y_{1.8} \ y_{1.11} \\ z_{2.2} \\ x_{2.2} \ \uparrow^1 \ y_{3.1} \ \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-15s} \quad (4)$$

$z_{2.2}$  – reactive power calculation;  $x_{2.2}$  – reactive power calculation;  $x_{2.2}$  – the condition «power consumption exceeds the limit  $Q \leq -(0,08...0,12)Q_{rat}$ »;  $y_{3.1}$  – generating the signal to the relay, disconnecting the generator breaker.

The device for protection of DGU against current overload is used to measure RMS current generator and the output relay closes when the current exceeds the threshold value (100-120% of the nominal value  $I_{nom}$ ) lasting longer than a certain period of time (5-10 sec.).

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.8} \\ x_{2.3} \uparrow^1 y_{3.2} \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-10.s} \quad (5)$$

$x_{2.3}$  – condition «current generator exceeds the limit  $I \leq (1...1,2)I_{nom}$ »;  $y_{3.2}$  – generating the signal to relay signals the operator overload fault.

The task of the generator protection device overload capacity is alarm (relay output circuit) in excess of given DGU in the total active power load limit (100-120% of rated power  $P_{rat}$ ) for more than a certain period of time (5-10 sec.):

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.7} \ y_{1.8} \ y_{1.9} \\ z_{2.1} \\ x_{2.4} \uparrow^1 \ y_{3.2} \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-10.s} \quad (6)$$

$z_{2.1}$  – calculation of active power;  $x_{2.4}$  – condition «Power supplied by the generator to the network exceeds the limit  $P \geq (1...1,2)P_{rat}$ »;  $y_{3.2}$  – generating the signal to relay signals the operator overload fault.

The device for under voltage and the minimum frequency is designed to prevent reducing the effective value of the voltage is more than 70% and frequency by more than 5% from the nominal values for a certain time (5-30 sec.). By disconnecting from the network DGU:

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.7} \\ x_{2.5} \uparrow^1 \ y_{3.1} \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-30.s} \quad (7)$$

$$y_0 \downarrow^1 x_1 \uparrow^2 \omega \uparrow^1 \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.10} \\ x_{2.6} \uparrow^1 \ y_{3.1} \uparrow^1 \end{array} \right]^{T=5-30.s} \quad (8)$$

$x_{2.5}$  – condition «generator voltage below the limit  $U \leq 0,3 U_{ref}$ »;  $x_{2.6}$  – the condition «current frequency generator below the limit  $f \leq 0,95 f_{nom}$ »;  $y_{3.1}$  – generating the signal to the relay, disconnecting the generator breaker.

Based on the analysis of the principles of ship power plants and expressions (1) – (8) with respect to modes of automation can be formulated in the following theses:

- with parallel operation of DGU voltage and frequency, measured for each of them coincide with the corresponding parameters of the shared bus (ship's network); in terms of logic, this corresponds to the equivalence of measurement and  $y_{1.1}$ ,  $y_{1.7}$ ,  $y_{1.2}$  and  $y_{1.10}$ ,  $y_{1.3}$ ,  $y_{1.5}$  and falsity conditions at  $x_1$ ;
- in each section there is one DGU, which is essential for this section (first come into work and runs continuously);
- generator protection devices included in the work after it is connected to a common bus, which corresponds to the falsity condition  $x_1$ ;
- synchronization system is needed to ensure connection to a common bus DGU and its running time is limited to the interval from starting the engine to the generator circuit breaker circuit – time the condition  $x_1$  is true;
- distribution system of active and reactive loads and device to control start/stop of DGU generator circuit breakers associated with all DGU this section, and for those generators, switches are closed, measuring power delivered them into the network.

We can notice the following results:

1. The ship to monitor network parameters may be used, as measured by the monitoring system of the main parameters of DGU (logic device obtained coincides with the expression (2)).
2. Most protection devices require measuring the same parameters with comparable frequency, so the implementation of all the protections of the generator can be combined in a single device – the protection system.

3. Many parameters required to run the system for monitoring parameters of DGU coincide with the parameters measured for the implementation of protection of generators, however, the time averaging for their monitoring system significantly (order of magnitude) more. If you realize the measurement units required for system protection, said to her cycles and averaging these values rogrammatically in the interval corresponding to the time characteristics of the monitoring system, the two systems can be combined into a single unit – automation controller:

$$y_0 \downarrow x_1 \uparrow^2 y_{1.5} y_{1.7} y_{1.10} \omega \uparrow \downarrow^2 \left[ \begin{array}{c} y_{1.5} - y_{1.11} \\ y_2 \\ z_{2.1} z_{2.2} \\ (x_{2.1} | \dots | x_{2.6}) \uparrow (y_{3.1} | y_{3.2}) \omega \uparrow \end{array} \right]^{T=5s}$$

$y_{1.5}-y_{1.10}$  – measurements of the electricity generated by diesel generator: instantaneous voltage, instantaneous current, RMS voltage, RMS current, values, power factor and frequency, respectively;  $z_{2.1}$  – calculation of active power;  $z_{2.2}$  – reactive power calculation;  $x_{2.1}$  – condition «power consumption exceeds the limit  $P \leq -(0,08 \dots 0,12) P_{rat}$ »;  $x_{2.2}$  – reactive power calculation;  $x_{2.2}$  – the condition «power consumption exceeds the limit  $Q \leq -(0,08 \dots 0,12) Q_{rat}$ »;  $x_{2.3}$  – condition «current generator exceeds the limit  $I \leq -(1 \dots 1,2) I_{nom}$ »;  $x_{2.4}$  – condition «Power supplied by the generator to the network exceeds the limit  $P \geq (1 \dots 1,2) P_{rat}$ »;  $x_{2.5}$  – condition «generator voltage below the limit  $U \leq 0,3 U_{ref}$ »;  $x_{2.6}$  – the condition «current frequency generator below the limit  $f \leq 0,95 f_{nom}$ »;  $y_{3.1}$  – generating the signal to the relay, disconnecting the generator breaker;  $y_{3.2}$  – generating the signal to relay signals the operator overload fault.

**Conclusion.** Logical algorithms allow formalizing the process of analysis and structural optimization of algorithmic systems. The analysis of microprocessor automation SPP revealed the presence of hardware redundancy and ways to resolve the association of the settings of network devices, monitoring and protection of the basic parameters of the generator controller automation. In this paper logical model of SPP protection systems is developed. In the future, as described in the approach will be expanded and used for the formal description of the interface workstation operator and operator interaction processes with software management interface, as well as the description of the interaction between the individual elements of a distributed control system. This formally describe the different nature of the system, identify the boundaries between individual systems and the types of signals that are transmitted between the two to justify the selection of the communication interface (cable or radio) and the coding type (analog or digital), to perform the analysis of system performance.

## REFERENCES

1. Evenko V. Rules for classification and construction of seagoing vessels / V. Evenko. – St. Petersburg : Russian Maritime Register of Shipping, 2013. – P. 721.
2. Dorf R. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop. – Moscow : Laboratory of Basic Knowledge, 2002. – P. 832.
3. Mukhin V. Research management systems / V. Mukhin. – Moscow : Ekzamen, 2003. – P. 384.
4. Lazarev V. Synthesis of control automata / V. Lazarev. – Moscow : Energoatomizdat, 1989. – P. 328.
5. Babakov R. Structural representation of the synthesis process control machines operating with automatic transitions / R. Babakov // Upravlyayuschie sistemy i mashiny, Volume 3, Issue 1, September-2009. – pp. 47-53.
6. Dzida M. On the possible increasing of efficiency of ship power plant with the system combined of marine diesel engine, gas turbine and steam turbine, at the main engine – steam turbine mode of cooperation / M. Dzida // Polish Maritime Research, Volume 16, Issue 1, April-2009. –pp. 47-52.

## СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ СУДНОВИМ ГОЛОВНИМ ДВИГУНОМ

*Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.*  
Херсонська державна морська академія  
(Україна)

Системи дистанційного автоматичного управління (ДАУ) головними двигунами відносяться до числа основних систем автоматизації [1].

Суднова система ДАУ AUTOSHIEF – призначена для дистанційного управління головними двигунами фірми MAN-B&W типу K/L/S – 46-98, шляхом впливу на пневматичну пускореверсивну систему та на електронний регулятор частоти обертання типу DGU-8800.

Всі системи управління та контролю фірми Norcontrol виконані на стандартних мікропроцесорних («інтелектуальних») підсистемах, які забезпечують роботу в умовах високої вологості, впливу соленої води, високих температур та вібрації, що задовольняє жорстким вимогам класифікаційних суспільств (Норвезький Верітас, Німецький Ллойд).

Система ДАУ AUTOSHIEF спільно з електронним регулятором типу DGU-8800 забезпечує реалізацію функцій по управлінню та регулюванню малооборотних довгоходових головних двигунів у всіх діапазонах їх роботи.

В основі цієї системи лежить комп'ютерна система управління уприскуванням палива в циліндри, відкриттям випускних клапанів, подачею продувочного повітря та циліндрового змащування, частотою обертання вала та захистом двигуна (рис.1).

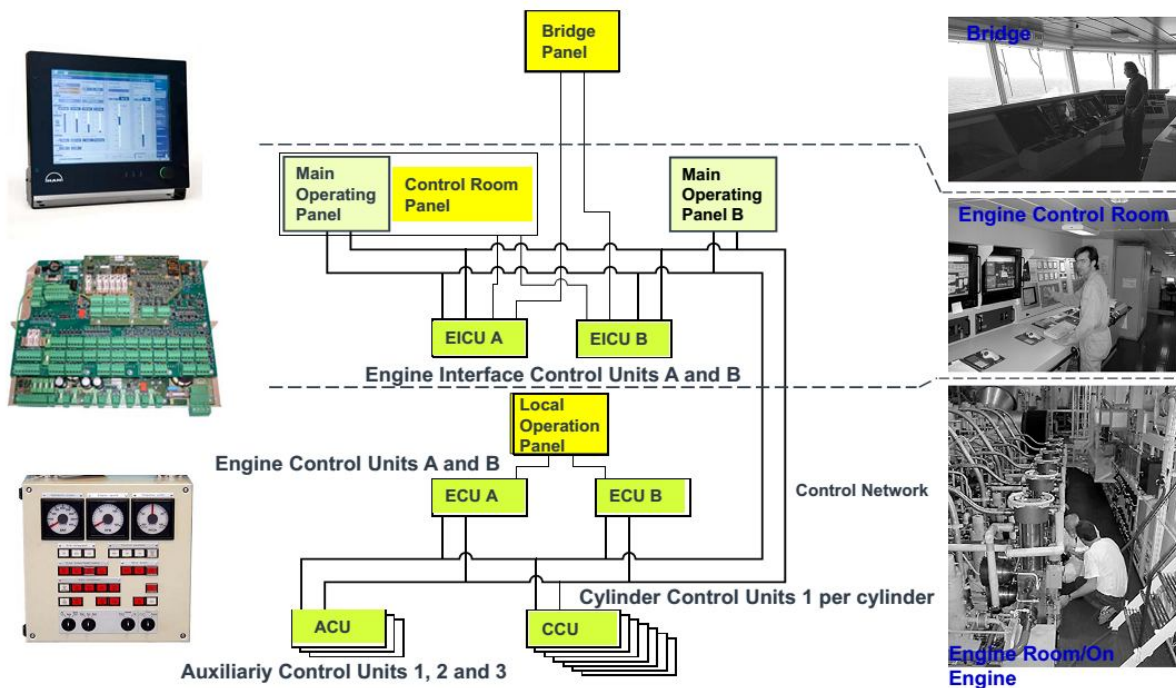


Рисунок 1 – Система управління двигуном

Електронна система управління головним «інтелектуальним двигуном» складається з двох блоків (рис. 1):

- 1) блоком управління двигуном (БУД)
- 2) блоком управління циліндрами (БУЦ).

На рис. 2 наведена блок-схема системи керування роботою головного двигуна.



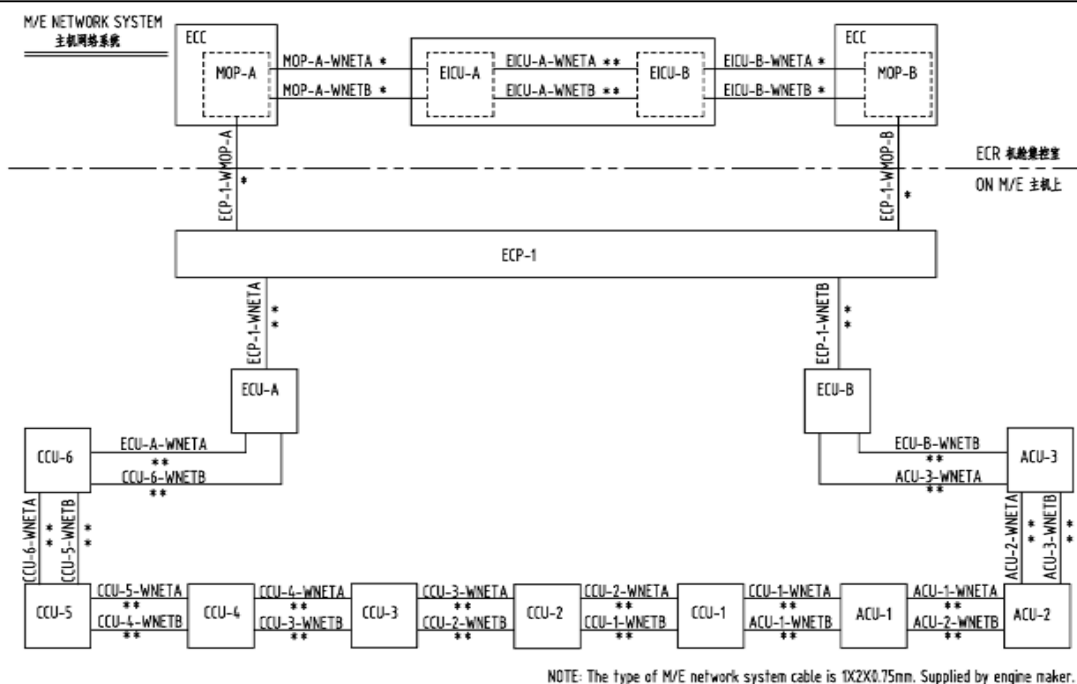


Рисунок 2 – Блок-схема системи керування роботою головного двигуна

Для того, щоб зрозуміти принцип роботи цієї системи, зупинимося на розташуванні мультиконтролера, який є основою системи, Multi Purpose Controller (MPC). Сам блок системи MPC включає в себе обчислювальний блок, який не має призначеного для користувача інтерфейсу, а тільки дисплей або клавіатуру до персонального комп'ютера, але має широкий спектр входів/виходів (I/O) для взаємодії з датчиками і виконавчими механізмами двигуна (рис. 3):

- входи для сигналів з тахометра, стандартні (0) 4-20 мА перетворювачі.  $\pm 10V$  сигнали, перемикачі та 24 довічних сигналів;
- виходи, такі як (0) 4-20 мА та  $\pm 10V$  сигналів, контактів і напівпровідникових перемикачів високошвидкісних для активації випускного клапана двигуна;
- Network Control скопійована для безпеки;
- послідовний комунікаційний контролер для будь-якого віддаленого вводу/виводу мережі або точка-точка послідовного зв'язку;
- сервісний канал для підключення до портативного комп'ютера для службових цілей.

Головний процесор в багатоцільовому контролері є Motorola 68332, який представляє собою 32-розрядний процесор, який запозичен з автомобільної промисловості. Він включає в себе вбудований в мікросхему синхронізації співпроцесор для синхронізації з обертанням колінчастого вала і вимірювання швидкості [2].

Для того, щоб полегшити виробництво багатоцільового контролера, всі програмовані компоненти знаходяться в ланцюзі програмування, що дозволяє також оновлення поля контролера за допомогою відносно простих інструментів.

MPC не містить жорсткого диска або інших чутливих механічних компонентів, а програмне забезпечення зберігається в незалежній флеш-пам'яті – ППЗУ, тобто прикладне програмне забезпечення може бути відправлено і запрограмоване в багатоцільовому контролері через мережу, і тим самим відновити функціональність багатоцільового контролера після проведеного обміну із запасним блоком.

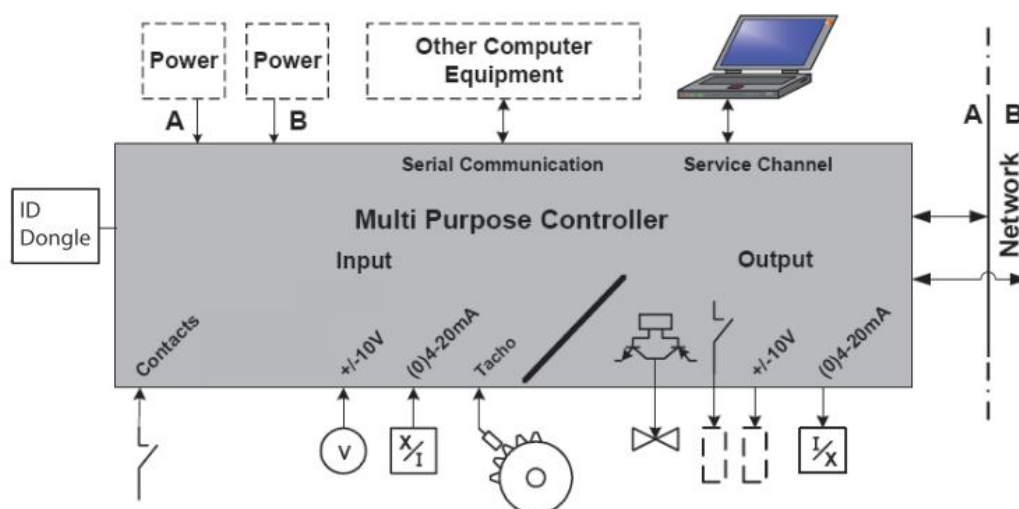


Рисунок 3 – Схема мультиконтролерного блоку (MPC)

MPC, як показано на рисунку 3, оснащений акумулятором. Дана акумуляторна батарея використовується для резервного живлення на годинник - годинник з MPC в тому випадку, якщо живлення 24 В вимкнено.

Годинники всіх MPC синхронізовані через мережу. Синхронізація здійснюється на регулярній основі і завжди після того, як живлення включено після виключення можливої потужності [3].

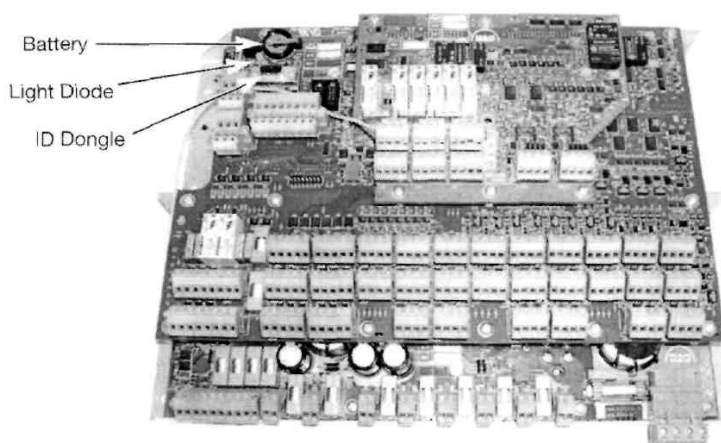


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд мультиконтроленого блоку Multi Purpose Controller (MPC)

Коли новий блок MPC монтується в шафі, то загрузка програмного забезпечення завантажується з жорсткого диска (наприклад, ССУ1, АСУ 3 або ЕІСUA).

MPC також оснащений світлодіодом, який здатний показувати робочий стан MPC: це може бути зелене, жовте або червоне світло. Нормальна робота MPC супроводжується світлом діода зеленого кольору. Коли діод жовтий, MPC завантажується програмним забезпеченням з жорсткого диска, як правило, це займає кілька хвилин.

Використання мікроконтролерів на пластинах 70332, 70333 і 70334 також стає актуальним. Коли MPC потребує заміни, детальну LED (світлодіодне) інформацію наведено в обслуговуванні самого мікроконтролера. Процедура M90629, червоне світло діода дає позначення, що не ясна ситуація/статус роботи блоку, який потребує його заміни.

Ідея створення MPC блоків технічного обслуговування, щоб допомогти обслуговуючому персоналу в роботі над контролюванням параметрів головного двигуна.

Позначки (пластина 70332 1 (4)), які вказані на контролерах, показують стан кожної частини контролера, наприклад, чи знаходиться він в режимах: активний; управління; тест; конфігурація; блокування чи не доступний.

При натисканні на один контролер (головний рівень) на цьому екрані (в даному випадку SCU1 натиснута), на екрані відображається інформація, ID та описів і обробляє значення кожного окремого каналу на MPC.

На екрані дисплею можна бачити кожен окремий канал як в нормальному режимі так і в режимі тестування, можливо також встановити вихідний канал вручну, при цьому тестовий режим повинен бути обраний окремо.

В цілому до системи ДАУ висувають такі основні вимоги: вона повинна бути електро-пневматичною або електронно-пневматичною, з логічною частиною – на мікроелектроніці; повинна підключатися паралельно системам місцевого управління, поєднуватися з машинним телеграфом; повинна бути універсальною, повторювати блокування систем місцевого управління, час перемикання від системи ДАУ на місцеве управління не повинно перевищувати 10 с; статична помилка системи ДАУ не повинна перевищувати  $\pm 1,5\%$  номінальної частоти обертання [2].

### ЛІТЕРАТУРА

1. Chernyi S. Analysis of complex structures of marine systems with attraction methods of neural systems [Text] / S. Chernyi, A. Zhilenkov // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Vol. 1. – P. 37–44.
2. Методические указания по выбору характеристик и уставок защиты электрооборудования с использованием микропроцессорных терминалов серии SEPAM производства SCHNEIDER ELECTRIC. // Техническая коллекция Schneider Electric. – 2006. – Выпуск №3. – 276 с.
3. Greene, D. L. How consumers value fuel economy: a literature review. Assessment and Standards Division. – Washington: Environmental Protection Agency, 2010. – Available at: <http://www.epa.gov/oms/climate/regulations/420r10008.pdf>

## ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

*Зенкин Е.Ю., Кривошапов С.И.*

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
(Украина)*

**Введение.** В Украине эксплуатируется значительное количество автомобилей, на которых установлены дизели с аккумуляторными системами топливоподачи (АСТП) и микропроцессорным управлением. Вследствие естественных процессов старения и изнашивание узлов во время эксплуатации автомобилей изменяется техническое состояние структурных подразделений в АСТП, накапливаются дефекты, которые не выявляются и не устраняются своевременно [1]. Часть автомобилей эксплуатируется с повреждениями в системах топливоподачи, что приводит к чрезмерному расходу топлива, а уровень токсичности ОГ превышает допустимые нормы и вредит окружающей среде [2].

**Актуальность исследований.** Поскольку ещё не в полной мере разработаны эффективные методы функционального диагностирования и весьма сложным и дорогим является диагностическое оборудование. Распространенные в Украине методы и оборудование, которые применяются в механических системах, для аккумуляторных систем не совсем пригодны из-за специфики АСТП и из-за того, что внутри АСТП протекают процессы, возбужденные одновременным действием нескольких узлов [3]. Повышение эффективности диагностирования автомобильных дизелей с АСТП и микропроцессорным управлением является актуальной научно-практической задачей.

**Постановка задачи.** Исследование решает задачу улучшения диагностического обеспечения автомобильных дизелей с аккумуляторными системами топливоподачи, направленное на своевременное выявление и устранение неисправностей, что в целом содействует повышению эффективности функционирования автомобилей.

**Результаты исследований.** Начальным этапом работы является составление математической модели [4] которая отображает колебательный процесс в гидроаккумуляторе. Для оценки технического состояния топливной аппаратуры применяется измерение сигнала датчика давления топлива в гидроаккумуляторе системы Common Rail [5]. Для того чтобы произвести оценку формы колебаний топлива необходимо сравнить измеренные величины с эталонными рассчитанными с помощью математической модели [5].

Математическая модель используя технические параметры ТНВД форсунок и гидроаккумулятора позволяет смоделировать форму колебания давления топлива при срабатывании того или иного элемента топливной аппаратуры. При впрыскивании топлива форсункой происходит снижение давления при нагнетании плунжером ТНВД топлива в гидроаккумулятор – повышение давления. Средний уровень давления определяется работой электромагнитного клапана-регулятора. Однако и перемещение его дозирующего клапана может вызвать высокочастотные колебания давления с малой амплитудой [5].

За основу при разработке математической модели принято известное уравнение объемного баланса топлива в системе с плунжерным насосом:

$$f_n \cdot c_n \cdot d\tau = \alpha_m \cdot V_c \cdot dp + \sum Q \cdot d\tau, \quad (1)$$

где  $f_n$  и  $c_n$  – поперечное сечение и мгновенная скорость плунжера насоса,  $\sum Q \cdot d\tau$  – сумма объемов топлива, которые одновременно вытекают из системы;  $Q$  – затрата топлива;  $p$  и  $\tau$  – давление и время;  $\alpha_m$  – коэффициент сжатия топлива;  $V_c$  – суммарный объем аккумулятора и присоединенных к нему элементов.

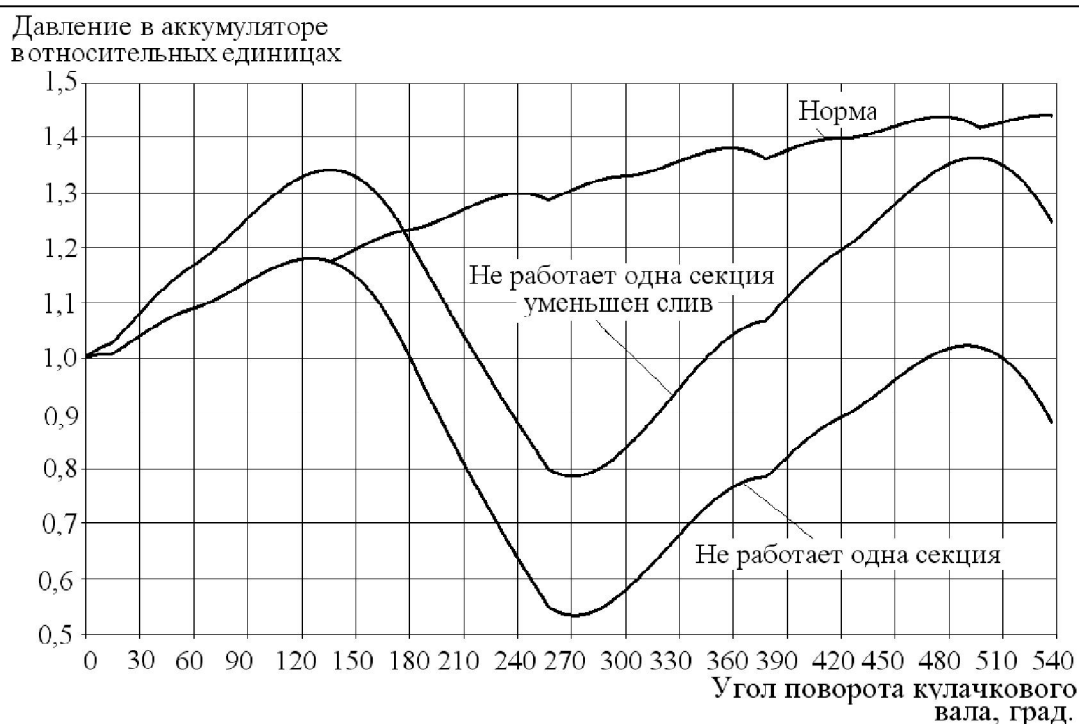


Рисунок 1 – Результаты моделирования по отказу секции ТНВД

На основании предыдущего математического моделирования и структурного анализа топливных систем дизелей обоснованы и выбраны информативные и доступные для измерений параметры, которые тесно связаны с техническим по состоянию элементов системы и изменением показателей автомобильного дизеля. Это давление топлива в аккумуляторе, скважность управляющего импульса на РДТ и управляющие сигналы на электромагнитах форсунок, без которых невозможно моделировать продолжительность впрыскивания. Частота вращения коленчатого и распределительного вала нужны для синхронизации процесса впрыскивания с рабочим процессом дизеля. На процесс возникновения неравномерности работы двигателя:

1. Неисправности в механической части.
2. Несбалансированность сил инерции при такой конструкции коленчатого вала и порядка работы цилиндров.
3. Технические неисправности форсунок.
4. Программная несогласованность форсунок и блока управления двигателем.
5. Колебания давления в рампе вызванные неисправностью одного из плунжеров ТНВД (в результате чего все форсунки впрыскивают с разными давлениями – на пике и спаде топливной волны в рампе).

Для проведения анализа исправности топливной аппаратуры, участвовавшей в эксперименте, была произведена запись сигнала датчика давления топлива.

Как видно из рис. 2 с помощью параллельного синхронного измерения сигналов можно достаточно точно определить, что конкретно вызывает появление ошибки в памяти ЭБУ двигателя по давлению топлива и когда это происходит.

Результаты математического моделирования были проверены на практике – путём измерения колебаний давления в гидроаккумуляторе на исправном и неисправном ТНВД.

Выход из строя клапанной группы ТНВД приводит к полной неработоспособности плунжерной пары и соответственно неспособности развить какое либо давление. Как видно из рис. 2 амплитуда колебаний давления топлива при данном виде неисправности почти в 4 раза превышает амплитуду колебаний давления при нормальном срабатывании плунжерных пар, что позволяет однозначно выявить данную неисправность.

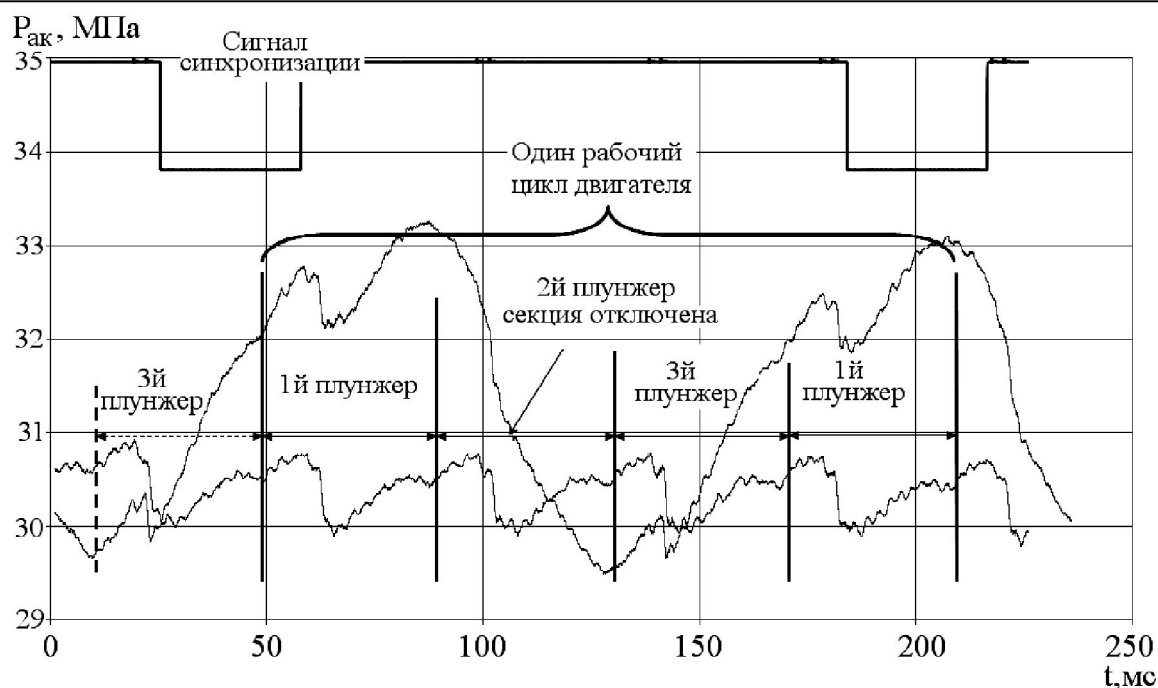


Рисунок 2 – Осциллограммы давления при отказе одной плунжерной пары ТНВД в трёхсекционном насосе

**Выводы.** Для реализации предложенного подхода разработана математическая модель как основной инструмент, который позволяет рассчитать нормативные значения давления топлива в АСТП и давление при имитации изменения технического состояния ее элементов. Последующее сравнение результата моделирования с результатом измерений давления топлива в АСТП на дизеле дает возможность определить техническое состояние системы. Обоснованы и выбраны информативные и доступные для измерений параметры, которые тесно связаны с техническим состоянием элементов системы и изменением показателей автомобильного дизеля: давление топлива в аккумуляторе, скважность управляющего импульса на регуляторе давления топлива и управляющие сигналы на электромагнитах форсунок, расходы топлива в контрольных точках, частота вращения коленчатого и распределительного вала

## ЛІТЕРАТУРА

1. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «автомеханик»./ Губертус Гюнтер. [пер.с нем.] – М.: ЗАО «КЖИ За рулём», 2004. – 176 с.
2. Системы управления дизельными двигателями Bosch. Узлы и агрегаты/ [Перевод с немецкого Ю.Г.Грудский, А.Г.Иванов]. – М. : ЗАО «КЖИ За рулём», 2004. – 478 с.
3. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. М.: Легион-Автодата, 2008. - 248 с.
4. Врублевский А. Н. Принцип организации использования топлива с помощью электрогидравлической форсунки / А. Н. Врублевский, Ф. И. Абрамчук, Е. Ю. Зенкин // Автомобильный транспорт: Сборник научных трудов – X., 2007. – Вып. 21. – С. 119–124.
5. Пойда А.Н. Анализ технического состояния топливной аппаратуры на основе колебаний давления топлива в гидроаккумуляторе / А.Н.Пойда,Е.Ю. Зенкин. Двигатели внутреннего сгорания: Всеукр. научно-технический журнал. –Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – Вып.1. – С. 114-118.

## ФОРМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ ДЛЯ РУШІЙНО-РУЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

*Корицький В.І.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)*

**Вступ.** Сучасні прив'язні підводні системи використовуються для виконання широкого спектру підводних робіт. Зазвичай такі системи виконуються на базі самохідних прив'язних підводних апаратів, які з'єднано з обладнанням судна-носія кабель-тросом. До руху такі апарати приводяться рушійними пристроями, які зазвичай виконуються на базі електродвигунів постійного або змінного струму та гребних гвинтів.

Окремим конструктивним типом підводних апаратів є самохідна прив'язна підводна технологічна платформа (СПТП). Корпус СПТП є носієм комплексу технологічного обладнання, який може здійснювати обертові рухи відносно корпусу СПТП. Наявність нелінійностей вплив невизначених зовнішніх збурень роблять автоматизацію керування рухом СПТП складною науковою задачею.

**Актуальність досліджень.** Сучасні автоматизовані системи керування рухом (АСКР) підводних апаратів використовують принципи оптимального або інтелектуального керування. Наприклад, в роботі [1] запропоновано керування рухом апарата реалізувати на базі інверсного регулятора. Регулятор визначає рівнодіючу сил та моментів  $T_p = [F_{px} F_{py} F_{pz} M_{px} M_{py} M_{pz}]^T$ , які необхідно прикласти до корпусу підводного апарата для здійснення заданого оператором руху. Однак, розподіл складових  $T_p$  між рушійними пристроями апарата залежить від схеми розміщення рушіїв та їх просторової орієнтації.

**Постановка задачі.** Широко вживаною є схема рушійно-рульового комплексу (РПК) з використанням трьох рушійних пристроїв. Маршовий та обертальний рухи апарата забезпечуються двома рушійними пристроями, які встановлюються в кормі підводного апарата на рівній відстані від діаметральної площини апарата. Третій пристрій встановлюється вздовж вертикальної осі зв'язаної системи координат (ЗСК) та забезпечує вертикальний рух апарата.

Таким чином забезпечується керування трьома ступенями свободи апарата, а розподіл складових  $T_{pd}$  між рушійними пристроями визначається виразом:

$$\left. \begin{aligned} F_1 = 0,5F_{px} + \Delta F_m; \quad F_2 = 0,5F_{px} - \Delta F_m; \\ F_3 = F_{py}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $F_1, F_2, F_3$  – упори, які мають забезпечити відповідно лівий маршовий, правий маршовий та вертикальний рушії. Упор  $\Delta F_m$  залежить від відстані між маршовими рушійними пристроями та визначається за виразом  $\Delta F_m = M_{dy} / D_m$ , де  $D_m$  – відстань між маршовими рушійними пристроями.

Якщо до розглянутого РПК включити рушійний пристрій, розміщений вздовж поперечної осі ЗСК, АСКР підводного апарата зможе реалізовувати лаговий рух апарата, якщо рушій забезпечуватиме упор  $F_{d4} = F_{pdz}$ .

Принцип керування рухом об'єктів з більш складними схемами рушійних комплексів описано в роботі [2]. Однак, запропонований підхід передбачає можливість зміни просторових орієнтацій рушійних пристроїв, що в підводних апаратах зазвичай не реалізовано.

Метою даної роботи є розробка алгоритму формування керуючих впливів для рушійно-рульового комплексу СПТП, яка є багатовимірним об'єктом керування з шістьма ступенями свободи

**Результати досліджень.** Задачу знаходження упорів, які мають забезпечувати рушійні пристрої СПТП можна вирішити з використанням методики, що викладена в [2] дещо змінивши її постановку. Нехай  $m$  – кількість керованих ступенів свободи СПТП,  $n$  – кількість встановлених рушійних пристроїв,  $\vec{r}_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T, i = \overline{1, n}$  – координати точки прикладення упору від  $i$ -го рушія до корпусу підводної технологічної платформи,  $\vec{r} = [\vec{r}_1 \ \dots \ \vec{r}_n]$ ;  $\vec{o}_i = [\cos(\alpha_i) \ \cos(\beta_i) \ \cos(\gamma_i)]^T, i = \overline{1, n}$  – вектор проєкцій вектору упору  $i$ -го рушія на осі ЗСК СПТП,  $\vec{o} = [\vec{o}_1 \ \dots \ \vec{o}_n]$ ;  $\vec{F} = [F_1 \ \dots \ F_n]^T$  – вектор упорів рушіїв СПТП;  $\vec{F}_p = [F_{px} \ F_{py} \ F_{pz}]^T$  – вектор проєкцій сили, яку необхідно прикласти до корпусу СПТП, на осі ЗСК;  $\vec{M}_p = [M_{px} \ M_{py} \ M_{pz}]^T$  – вектор моментів обертання корпусу СПТП навколо осей ЗСК. Тоді рівнодіючу сил та моментів СПТП визначимо з виразів (2)-(4):

$$\vec{T}_p = \begin{bmatrix} \vec{F}_p \\ \vec{M}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i \vec{F}_{pi} \\ \sum_i \vec{M}_{pi} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$\vec{F}_{pi} = \vec{o}_i \cdot F_i; \quad (3)$$

$$\vec{M}_{pi} = \vec{r}_i \times \vec{F}_{pi} = \vec{A}_i \cdot F_i, \quad (4)$$

де  $\vec{A}_i = [r_{iy}o_{iz} - r_{iz}o_{iy} \quad -(r_{ix}o_{iz} - r_{iz}o_{ix}) \quad r_{ix}o_{iy} - r_{iy}o_{ix}]^T$  – мінори детермінанта матриці  $\vec{r}_i \times \vec{o}_i$ .

Покладемо  $\vec{A} = [A_1 \ \dots \ A_n], i = \overline{1, n}$ , тоді можемо записати:

$$\vec{T}_p = \begin{bmatrix} \vec{o} \\ \vec{A} \end{bmatrix} \cdot \vec{F} = U \cdot \vec{F}. \quad (5)$$

Вираз (5) є системою лінійних алгебраїчних рівнянь, вирішення якої знаходять за наступним виразом:

$$\vec{F} = \begin{cases} U^{-1} \vec{T}_p, m = n, \\ U^+ \vec{T}_p, m > n. \end{cases} \quad (6)$$

Матрицю  $U^{-1}$ , яка є оберненою до  $U$  можливо знайти лише за умови рівності кількості керованих ступенів свободи СПТП кількості встановлених рушійних пристроїв. В іншому випадку знаходять псевдообернену матрицю  $U^+$ , яка є апроксимацією  $U$  з найменшим середньоквадратичним відхиленням.

**Висновок.** Запропоновано алгоритм формування вектору упорів рушіїв самохідної прив'язної підводної технологічної платформи на основі рівнодіючої сил та моментів, яку необхідно прикласти до корпусу. Алгоритм дозволяє знайти точне рішення задачі, або найкраще з точки зору мінімуму середньоквадратичного відхилення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Blintsov, O. Devising a method for maintaining manageability at multidimensional automated control of tethered underwater vehicle [Text] / O. Blintsov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 9 (85). – P. 4–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.93291
2. Пшихопов, В. Х. Алгоритмы многосвязного позиционно-траекторного управления подвижными объектами [Текст] / В. Х. Пшихопов, М. Ю. Медведев, Р. В. Федоренко, Б. В. Гуренко, В. М. Чуфистов, В. А. Шевченко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 31, №3. – С. 1–17.



## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ МАЛООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Кузнецов В.А., Сторожев В.П.*

*Одесский национальный морской университет*

*(Украина)*

**Вступление.** Морской флот постоянно пополняется современными морскими судами, которые предназначены для перевозки различных грузов и пассажиров, обеспечивая при этом безопасность мореплавания. Морское судно это сложное инженерное сооружение, состоящее из корпуса, главной энергетической установки, вспомогательных механизмов и различных устройств.

На современных морских судах в качестве главных энергетических установок применяются малооборотные двигатели типа Зульцер, МАН и Бурмейстер и Вайн. Это двигатели двухтактные, крейцкопфные, реверсивные с наддувом имеющие ряд модификаций [1].

**Постановка задачи.** Надежность работы двигателей, прежде всего, зависит от безотказной работы деталей цилиндропоршневой группы (поршни, втулки, крышки). Эти детали работают в тяжелых эксплуатационных условиях, при высоких температуре, давлении, коррозионной среде.

Имея сложную конфигурацию заготовки этих деталей получают методом литья. Материалами головок поршней служат углеродистые и низколегированные стали. В качестве легирующих элементов применяют хром, никель, титан и др. Это дает возможность деталям принять нужные качества такие как износостойкость, коррозионная стойкость, жаропрочность и др. Материалом крышек и втулок служат чугуны различных марок[2].

Работая в тяжелых эксплуатационных условиях детали цилиндропоршневой группы подвергаются различным дефектам и повреждениям. Они в значительной степени влияют на долговечность этих деталей. Определить характер дефектов, их удельный вес, а также оценить техническое состояние деталей является задачей важной и актуальной.

Несмотря на исследования проводимы различными специалистами по повышению эффективности эксплуатации малооборотных двигателей, имеется ряд не решимых задач.

Нет ясного учета зависимости надежности цилиндропоршневой группы двигателей от многочисленных дефектов и повреждений. Сложно учесть многообразие информации при диагностировании и прогнозировании их технического состояния.

**Результаты исследования.** Есть необходимость в более полном учете данных об отказах деталей и влияния их на техническое состояние. Нами предоставлены отказы и повреждения деталей цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей различных типов выявленные при измерении этих деталей на месте ремонта, данных судовых и заводских документов, данных Регистра, а также литературных источников [3].

Собран большой статистический материал. Удельный вес дефектов деталей цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей представлен в табл. 1. Из данной таблицы видно, что для поршней преобладающим дефектом является износ, затем трещины и др., а для втулок и крышек преобладающим дефектом являются трещины, а затем износ и др. необходимо также учесть, что эти дефекты появляются в различное время. Процесс изнашивания и коррозионные разрушения проявляются в самом начале эксплуатации, трещины через (8-10) тысяч часов работы, нагар через (1-2) тысячи часов работы. В течение эксплуатации эти дефекты накладываются друг на друга, что способствует еще более быстрому выходу деталей из эксплуатации.

Таблица 1 – Удельный вес дефектов деталей ЦПГ МОД

Тип двигателя	Детали ЦПГ	Виды дефектов		
		Износ %	Трещины %	Прочие (коррозия, нагар и др) %
V&W	Втулка	28	66	6
	Поршень	Кепы 72 Цил. часть 15	10	3
	Крышка	34	52	14
MAN	Втулка	21	72	7
	Поршень	Кепы 73 Цил. часть 8	11	8
	Крышка	30	55	15
Зульцер	Втулка	25	68	7
	Поршень	Кепы 68 Цил. часть 14	12	6
	Крышка	28	58	14

**Выводы:**

1. Проведено ранжирование основных причин и дефектов деталей цилиндропоршневой группы малооборотных двигателей, влияющих на безотказность их работы.
2. Представлена возможность применения необходимых технологических процессов ремонта и восстановления этих деталей с учетом дефектов влияющих на их надежность.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Васильев Б.В., Ханин С.М. Надежность судовых дизелей. – М. : Транспорт, 1989. – 184 с.
2. Сторожев В.П. Технология судоремонта. Учебник для высших морских учебных заведений. – Херсон: ОЛДИ – ПЛЮС, 2014. – 552с.
3. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. – Л. : Судостроение, 1980. – 176с.

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КРАНОМ ТИПУ DEERSEA

*Наговський Д.А., Дощенко Г.Г.*

*Херсонська державна морська академія  
(Україна)*

Ринок офшорних підйомних кранів, що використовуються в підводних операціях стрімко зростає. Операції виконуються на все більш глибоких ділянках, тому підйомні крани повинні мати певні конструкції та вагу.

Операції на відстані від берегу вимагають, щоб підйомні крани могли компенсувати рух у вертикальному напрямку. Це часто називають компенсацією вертикальних коливань. Систему, котра є найбільш поширеною у використанні, називають активною компенсацією вертикальних коливань (АНС). Підйомні крани вимогливі та складні в експлуатації, тому актуальність питання управління та обслуговування вищезазначених агрегатів не викликає сумнівів.

В сучасному світі перевага надається кранам формату TTS (Total Transportation System). TTS передбачає дві системи: система, що базується на одному циліндрі, це стара система, і система, що базується на управлінні вторинною лебідкою. Остання є відносно новою технологією[1].

Крани типу DeerpSea, зазвичай, мають «суглобну» конструкцію [1]. Ця конструкція нагадує палець людини. Кран складається з поворотної бази та 2х або більше «суглобів», що управляються гідравлічними циліндрами. Також можлива наявність телескопічної ланки на кінці для підвищення дистанції роботи.

Найбільшою перевагою крану суглобного типу є гнучкість застосування. Він може обертатись в усіх напрямках і при правильному розташуванні може покривати всю палубу. В період, вільний від використання, кран може бути зібраний для збереження площі палуби. Інша корисна якість – здатність підтримувати вантаж на лімітованій висоті вище палуби, обмежуючи рух вантажу. Але для важких підйомів на довгій дистанції цей кран може бути заслабким.

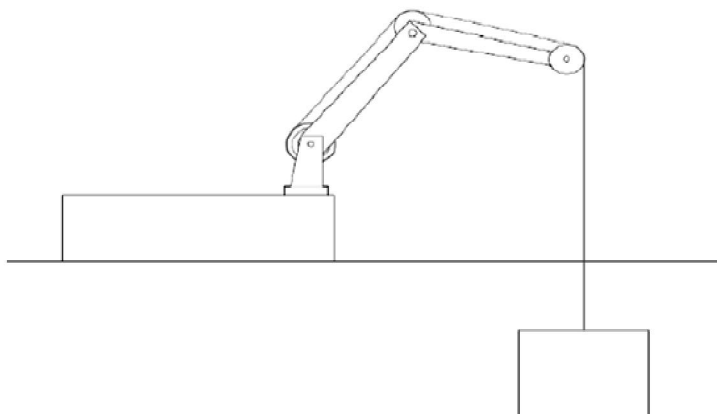


Рисунок 1 – Кран суглобного типу

Гідравлічні елементи кранів, як відомо [2], мають недоліки у вигляді певної затримки реагування, здатності до втрати робочих параметрів за рахунок втрати тиску в гідравлічних компонентах системи, температурні обмеження тощо. Задача крану типу DeerpSea – підтримка вантажу на певному рівні, незалежно від хвилювання моря. Це досягається шляхом управління барабаном лебідки та підйому/зниженню стріли. За рахунок підвищення реакції лебідки крану та зменшення її інерційності можливо досягнути необхідної швидкості і точності управління без залучення механізмів підйому/опускання стріли. Такі показники можливі при використанні електричного приводу лебідки крану та певних регуляторів і систем управління.

Для подібних задач має місце регулятор Ейлера[2]. Для оптимального управління електродвигуном лебідки крану необхідно забезпечити мінімальну кількість втрат в роторі, що можна виразити:

$$Q = \int_0^T i^2 dt = \int_0^T [\dot{s} + s'' \varphi(t)]^2 dt, \quad (1)$$

при виконанні умов:  $s(0) = 0$ ;  $s(T) = s_0$ , що відображують необхідність повороту вала двигуна на кут  $s_0$  за час  $T$ .

Якщо виразити

$$i = \dot{s} \varphi(t), \quad (2)$$

то вираз (1) більш не залежить від другої похідної і приймає вигляд:

$$Q = \int_0^T i^2 dt = \int_0^T [\dot{s}^2 \varphi(t)^2 dt]. \quad (3)$$

Рівняння Ейлера для функціоналу (3) має перший інтеграл та дає наступний вираз:

$$2n \dot{s}^{2n-1} \varphi(t)^2 = C_0 \quad (4)$$

Рівняння (4) необхідно використовувати для синтезу регулятора. Для реалізації синтезу виключимо функцію  $\varphi(t)$  з рівнянь (2) і (4). Після чого приходимо до рівняння Ейлерівського регулятора:

$$\frac{i^2}{\dot{s}} = C \quad (5)$$

Таким чином, оптимальний струм ротору визначається:

$$i^* = \sqrt{\frac{C_0}{2n}} \dot{s} \rightarrow \min Q. \quad (6)$$

При традиційному управлінні напругу на двигуні підтримують постійною. Це призводить до того, що швидкість лебідки, або її прискорення, залишається постійним, а струм ротору має коливання. Приймаємо  $\varphi = 1 + a \sin \tau$ ,  $n = 1.5$ . Тоді з рівняння (2) виходить:

$$i^2 = \varphi^2(t) \omega, \quad (7)$$

де  $\omega$  – постійна швидкість обертання лебідки крану. Інтенсивність виділення тепла на роторі:

$$\frac{Q}{T} = \omega^3 \frac{1}{T} \int_0^T \varphi^2 dt \quad (8)$$

Із рівнянь (4) і (5), підставивши прийняту заміну, отримуємо, що середня швидкість обертання лебідки крану:

$$\frac{s_0}{T} = C^{1/2} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{d\tau}{1 + a \sin \tau}, \quad (9)$$

а інтенсивність втрат в роторі:

$$\frac{Q}{T} = C^{3/2} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{d\tau}{1 + a \sin \tau}. \quad (10)$$

Рівняння (9) і (10) вказують, що коефіцієнт  $C$  закону управління (6) має фізичний сенс «коефіцієнту терміновості»: чим більше значення  $C$ , тим вища середня швидкість та вище інтенсивність витрат в роторі електродвигуна.

Фізичний сенс закону управління (6) полягає в тому, що при зменшенні моменту опору на валу двигуна, двигун підвищує свою швидкість обертання, прискорюючи обертання лебідки крану.

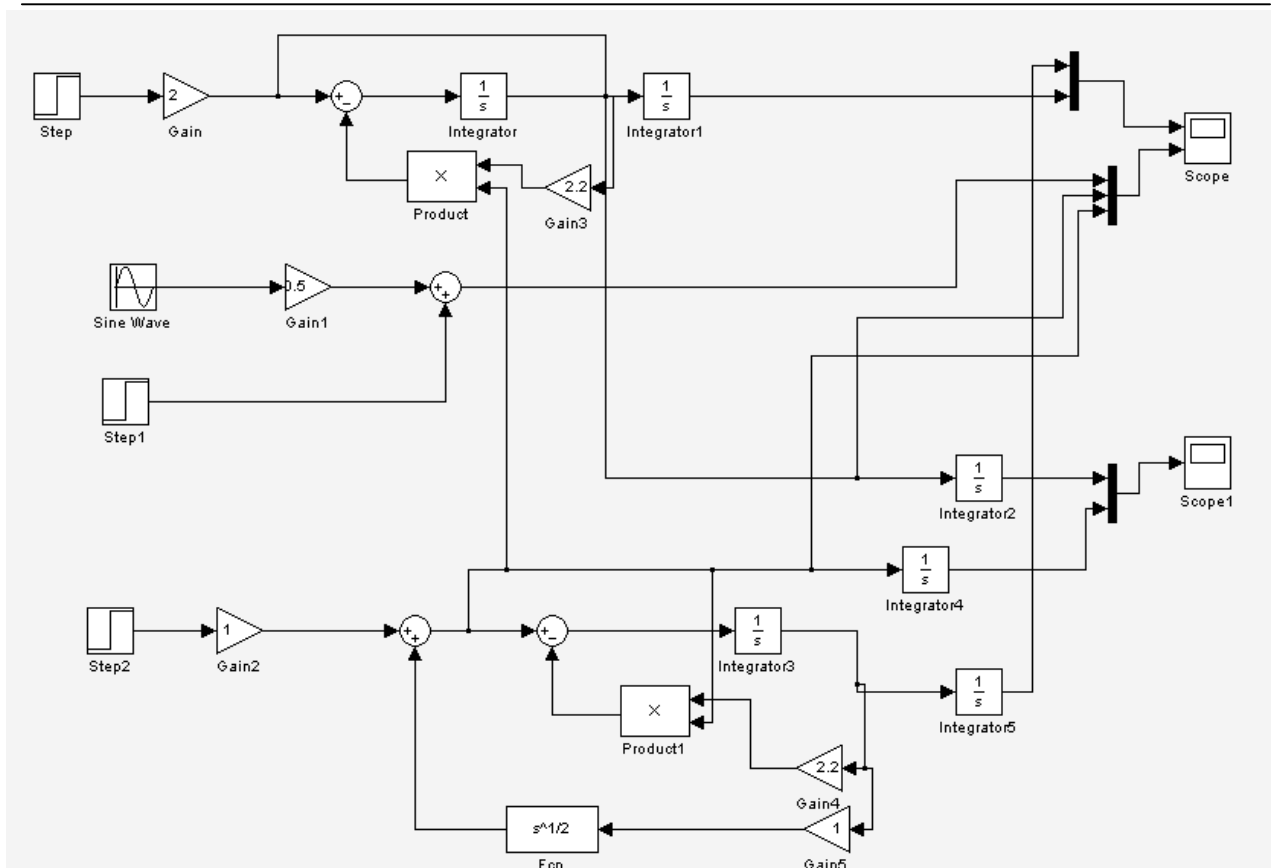


Рисунок 2 – Модель Simulink системи управління лебідкою крану з регулятором Ейлера

На рис. 2. приведена модель системи управління лебідкою крану з ейлеровським регулятором. В моделі враховано стаціонарне та ейлеровське управління.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Technical specifications «Тораз Мамлака», 2015. – 846 p.
2. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.

## ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СУДОВОЙ ТЕХНИКИ

*Никифоров Ю.А., Кошарская Л.В.,  
Одесский национальный морской университет  
(Украина);  
Лызина Т.А.  
УТК «Адмирал»  
(г. Одесса, Украина)*

**Целью статьи** является определение оптимальных подходов и методов определения технического состояния и диагностирования узлов, агрегатов и механизмов судовой техники в процессе их жизненного цикла.

Техническое состояние – это совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, обуславливающих его пригодность к безопасному и эффективному использованию по назначению в заданных условиях. В результате воздействия на судовые технические средства и конструкции различных внешних и внутренних эксплуатационных факторов (режимы работы, условия эксплуатации, воздействия обслуживающего персонала), происходит изменение их технического состояния.

Широкий диапазон условий и режимов эксплуатации, а также вариация начальных значений показателей качества объекта обуславливают значительную дисперсию в скоростях изменения технического состояния. Это приводит к тому, что при одной и той же наработке или продолжительности эксплуатации однотипные объекты имеют различное ТС.

Состояние объекта постоянно изменяется, в связи с этим любой объект можно характеризовать бесконечным множеством состояний. Однако для управления технической эксплуатацией важно различать определенные группы состояний, исходя из следующих основополагающих принципов:

- какие действия должен предпринять и запланировать судовой экипаж и судоходная компания при достижении данного технического состояния судна или конкретного ТС;
- в течение какого срока (точно или примерно) эти действия должны быть предприняты.

В перечне возможных действий можно перечислить:

- выполнить (запланировать) ТО или ремонт;
- назначить срок следующей оценки ТС;
- заказать СЗЧ;
- изменить объем и периодичность ТО, контроля технического состояния;
- изменить режим использования ТС;
- откорректировать сорта применяемых топлив, масел, присадок.

С этой целью все множество возможных состояний, присущих данному объекту, в зависимости от соответствия или несоответствия свойств объекта определенным техническим требованиям делят как минимум на следующие подмножества, которые образуют виды технических состояний:

- исправное и неисправное;
- работоспособное и неработоспособное;
- по типу функционирования.

Когда речь идет о техническом состоянии, то всегда следует различать систему структурных параметров, описывающих его (зазоры, износы, отложения и т. п.) и систему параметров, которые с той или иной достоверностью описывают это состояние.

И если система структурных параметров контролируется непосредственно

в процессе технического обслуживания (ТО) или ремонта в результате полной или частичной разборки, то в процессе технического использования информацию о техническом состоянии можно получить только в виде системы контролируемых параметров.

Контроль технического состояния – это процесс определения с определенной точностью технического состояния объекта.

Задача определения технического состояния может выполняться, когда объект эксплуатации находится в следующих условиях:

- в процессе подготовки к действию или хранения;
- в процессе функционирования;
- в процессе ТО или ремонта.

В процессе технической эксплуатации судов и их судовых технических средств (СТС) решаются три характерные задачи контроля технического состояния:

- проверка функционирования;
- проверка работоспособности;
- проверка исправности.

Примером тестового диагностирования может служить метод определения технического состояния цилиндро-поршневой группы двигателя с использованием пневмо-индикатора. С помощью этого прибора поочередно подают сжатый воздух в цилиндры через индикаторные краны, когда газораспределительные органы закрыты.

О степени износа втулок цилиндров, поршней и поршневых колец судят по утечкам воздуха, которые измеряют по показаниям прибора.

Группу методов, используемую для измерения структурных параметров СТС, главным образом применяют в процессе ТО и ремонта объектов.

Несмотря на существенные различия в конструкции и принципе действия объектов судовой техники, операции определения технического состояния, посредством контроля достаточно узкого круга структурных параметров имеют много общего.

Наиболее типичными являются: изменение геометрической формы деталей и нарушения структурной целостности конструкционного материала (трещины, усталостные повреждения), шероховатость и др.

К числу наиболее распространенных физических методов диагностирования судовой техники относятся:

- визуальный контроль с использованием различных оптических средств (линзы, эндоскопы, волоконно-оптические устройства);
- виброакустический контроль;
- тензометрический контроль;
- ультразвуковой контроль;
- анализ продуктов износа в смазочном масле;
- метод акустической эмиссии и т. п.

Следует помнить, что как бы много не было контролируемых параметров, техническое состояние они описывают лишь косвенно и с конечной достоверностью, а исчерпывающее описание технического состояния может быть получено лишь при выполнении ТО и ремонта.

Цель контроля технического состояния состоит в том, чтобы:

- определить возможность использования объекта по назначению в заданном режиме нагружения и условиях эксплуатации;
- определить необходимость выполнения ТО или ремонта в том или ином объеме, включая подготовительные операции.

При диагностировании могут решаться следующие задачи:

- контроль работоспособности (проверка соответствия диагностических признаков технической документации) при этом возможны: качественный (допусковой) и количественный (запас работоспособности);

- поиск повреждения, выполняется при утрате работоспособности или значительном снижении ее запаса;
- прогнозирование состояния объекта (по характеру изменения диагностических параметров предсказывается их значение на будущее).

Важное значение для функционирования системы ТО и ремонта имеет степень полноты связи решаемых задач при диагностировании с выполнением восстановления и поддержания технического состояния. Наибольший эффект будет обеспечен, когда одновременно решаются задачи диагностирования в сочетании с контролем работоспособности, прогнозированием состояния и поиском повреждения.

При идентификации технического состояния объекта рассматриваются следующие источники информации.

Каждому объекту присущи определенные признаки (параметры, характеристики), несущие информацию об его техническом состоянии, т. е. описывающие его с той или иной достоверностью. Эти признаки можно разделить на три основные группы.

1. Рабочие параметры объекта и характеристики, которые определяют его работоспособность. Наиболее часто используемые параметры и характеристики: мощность, производительность, расход топлива, напор, частота вращения, подача, скорость и т. п., зависимости параметров друг от друга или времени, нагрузки и т. п. Эти параметры и характеристики, как правило, могут быть измерены, их контроль дает ответ на вопрос о работоспособности объекта, но не определяет места и вида повреждения.

2. Повреждения (износ, деформация, зазор, глубина и раскрытие трещины, степень коррозии и т. п.) являются основными диагностическими признаками. Они связаны с выходными параметрами функциональной зависимостью. Чем сложнее объект, тем больше число этих признаков и их одновременное диагностирование практически невозможно. Поэтому контроль повреждений обычно выполняется после контроля рабочих параметров объекта, когда требуется установить причины нарушения его работоспособности.

3. Косвенные диагностические признаки объектов, функционально связанные с рабочими параметрами объектов. Такими признаками могут служить концентрация в масле продуктов износа, акустические сигналы, изменения давления в системе, температуры деталей и т. п. Применение косвенных признаков позволяет оценивать техническое состояние объектов без их разборки. Однако из-за стохастического характера связи между косвенными признаками и рабочими параметрами, а также влияния на диагностический сигнал посторонних факторов в ряде случаев достоверность диагноза не отвечает предъявляемым требованиям. В общем случае техническое состояние описывается рабочими процессами и совокупностью повреждений, однако они не всегда оказываются доступными в полном объеме и могут быть привлечены косвенные диагностические признаки, с помощью которых появляется возможность с той или иной достоверностью судить о рабочих процессах и повреждениях.

Следует отметить, что инструкция по технической обычно как минимум три категории технического состояния объекта (если объект не контролируется между ТО с целью выявления неудовлетворительного состояния, необходимость в категории удовлетворительного состояния отпадает).

Однако к техническому состоянию объектов судовой техники могут быть предъявлены дополнительные требования со стороны вышестоящих организаций или органов, осуществляющих надзор за судами, которые в отличие от приведенных выше устанавливают требования в виде недопустимости дальнейшего использования по назначению (прилагается описание недопустимого технического состояния).

**Вывод.** Исходя из целей технической эксплуатации, определение технического состояния и диагностирование параметров представляет собой процесс установления принадлежности обнаруженного технического состояния, посредством контроля рабочих параметров, косвенных диагностических признаков или непосредственно повреждений,



описанных в инструкции соответствующей категории технического состояния эксплуатации, разработанная заводом-изготовителем или судоходной компанией, включает обычно как минимум три категории технического состояния объекта (если объект не контролируется между ТО с целью выявления неудовлетворительного состояния, необходимость в категории удовлетворительного состояния отпадает).

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Перельман Р. С., Никифоров Ю. А. Комплексная автоматизация судовых энергетических установок: учебное пособие – Одесса, 2008.
2. Сторожев В. П. Технология судоремонта: учебник – Херсон : ОЛДИ-ПЛЮС, 2014.
3. Никитин А. М. Управление технической эксплуатацией судов: учебник – СПб : Издательство Политехнического института, 2016.

## АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМ ДВИГУНОМ

*Товкач С.С.*

*Національний авіаційний університет*

*(м. Київ, Україна)*

**Вступ.** Авіаційний двигун (АД) важлива ланка будь-якого літального апарату (ЛА), що визначає його льотно-технічні характеристики, безпеку, надійність, економічність та вартість експлуатації. Більш ніж за 60-ти літній період розвитку літаків з реактивними двигунами було створено п'ять поколінь авіаційних двигунів при кардинальному поліпшенні їх показників, а авіація перетворилася в найважливіший фактор розвитку світової транспортної системи та забезпечення обороноздатності країни. Поліпшення показників авіаційних двигунів було досягнуто завдяки переходу до нових схем, підвищення параметрів циклу і ступеня двоконтурності, впровадженню нових конструкційних матеріалів і технологій, вдосконаленню систем автоматичного управління силовою установкою (CAU CU) [1].

Сучасні електронні CAU CU типу FADEC (Full Authority Digital Engine Control) будуються за централізованим принципом, при якому всі задачі обробки сигналів, формування програм і алгоритмів управління, контролю і діагностики здійснюються в центральному обчислювачі CAU газотурбінних двигунів (ГТД). Датчики та виконавчі механізми таких систем мають аналогові входи і виходи і з'єднуються з обчислювачем за допомогою аналогових ліній зв'язку; для підвищення надійності CAU використовується двоканальна побудова системи, у деяких випадках використовується гідравлічний резервний регулятор [1].

У зв'язку із збільшенням обсягу виконуваних функцій системою управління, підвищенням вимог до її надійності, експлуатаційної технологічності, виникає необхідність в модернізації методів контролю і управління двигуна і побудовою електронної частини системи за розподіленим принципом. Функції управління, контролю, перетворення сигналів таких CAU розподіляються між контролерами датчиків, виконавчих механізмів, взаємодія між якими може здійснюватись центральним обчислювачем CAU ГТД або іншим функціональним пристроєм CAU.

Разом з тим, прогрес в розвитку мікроелектроніки, в результаті якого підвищується швидкодія, надійність, і термостійкість електронної елементної бази створює передумови до побудови розподілених інтелектуальних систем управління і контролю авіаційних двигунів з використанням бездротових технологій обміну інформацією.

**Розподілені CAU CU.** Слід зазначити, що активно ведуться роботи зі створення розподілених систем управління в закордонних наукових центрах (Glenn Research Center (NASA), PW, GE, RR, Snecma, BAE Systems, Hamilton Sandstrand, Honeywall) [2]. Основою для побудови таких систем управління CU можуть бути інтелектуальні датчики (ІД) та інтелектуальні виконавчі механізми (ІВМ) (рис. 1): ІД – інтелектуальні датчики частоти обертання (ІД  $n_b$  і ІД  $n_k$ ), температури і тиску на вході в двигун (ІД  $T_{bx}^*$  і ІД  $p_{bx}^*$ ), тиску повітря за компресором (ІД  $p_k^*$ ), температури газів за турбіною (ІД  $T_t^*$ ); ІВМ – інтелектуальні виконавчі механізми управління витратою палива (ІВМ  $G_T$ ), направляючими апаратами компресора (ІВМ НА), створками сопла (ІВМ створками РС).

На початковому етапі повинна бути розроблена та досліджена архітектура інформаційно-керуючих комплексів з інтелектуальними вузлами обробки інформаційних потоків (рис. 2.), які отримують інформацію аналоговими лініями зв'язку від датчиків і передають аналогові керуючі сигнали на звичайні виконавчі механізми. Інтелектуальні вузли мають процесори і зв'язані з FADEC радіальними або мультиплексними цифровими каналами.

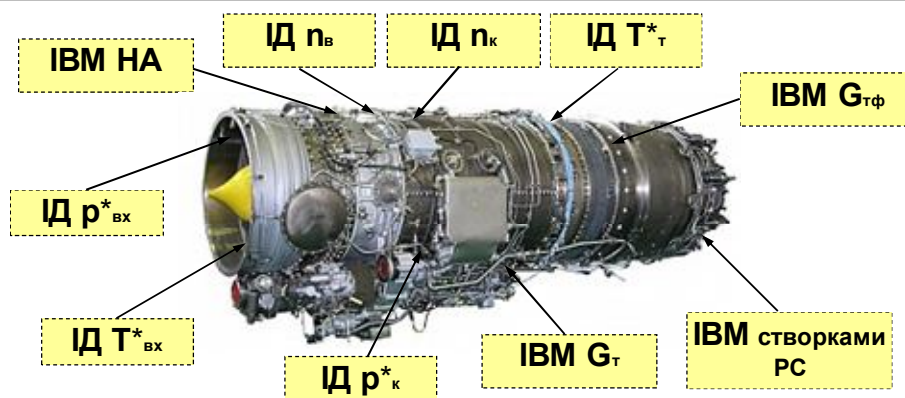


Рисунок 1 – Схема розміщення елементів розподіленої САУ авіаційного двигуна

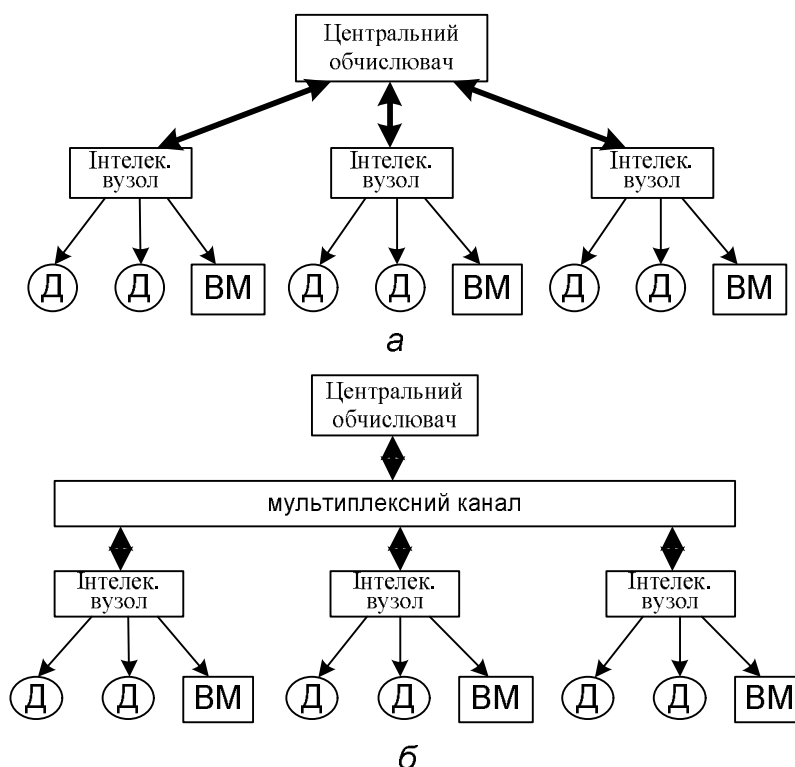


Рисунок 2 – Архітектура інформаційних потоків САУ СУ: а – радіальні цифрові канали; б – мультиплексні цифрові канали

При цьому датчики та виконавчі механізми розміщуються на двигуні, інтелектуальні вузли розташовуються поряд з ними і при необхідності примусово охолоджуються або встановлюються в комфортних зонах двигуна; центральний обчислювач розташовують в найбільш комфортних умовах.

Розвитком цієї схеми буде архітектура побудована на основі бездротової технології обміну даними, яка повинна містити інтелектуальні бездротові датчики (рис. 3): центральна точка прийому даних є інтелектуальним вузлом, який виконує збір даних мережі, датчики, в свою чергу, можуть з'єднуватися з іншими чутливими елементами і ретранслювати від них повідомлення.

Перевага такої архітектури відмічається в особливості бездротовим датчиком обходити центральний вузол та передавати інформацію тільки в необхідні вузли, самостійно визначати та усувати пошкодження, автоматично переналаштовувати проходження потоку інформації.

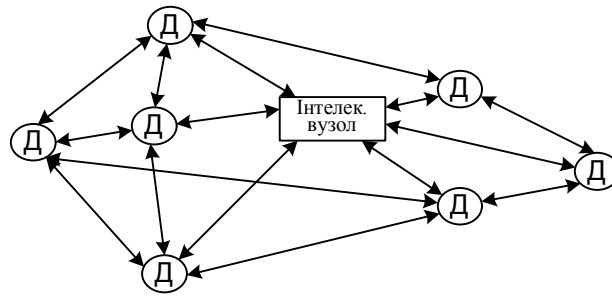


Рисунок 3 – Бездротова архітектура інформаційних потоків САУ СУ

Математична модель бездротового датчика містить модель первинного перетворювача, модель пристрою перетворення та вимірювання сигналу, блок похибок вимірювань, блок обробки інформації, приймача-передавача та описується наступними рівняннями [1, 2]:

– динамічна та статична характеристика:

$$\tau \frac{dX_{\delta}}{dt} + X_{\delta} = X; U = f(X_{\delta}) + \xi, \quad (1)$$

де  $X_{\delta}$  – вимірювана величина;  $U$  – вимірювана величина;  $\tau$  – постійна часу;  $f(X_{\delta})$  – статична характеристика, яка задається таблично;  $\xi$  – похибка вимірювань.

– аналого-цифровий перетворювач:

$$U_{adc} = E \frac{U(t)K_y K_n}{U_{АЦП}^{max} - U_{АЦП}^{min}}, \quad (2)$$

де  $U_{adc}$  – оцифроване значення вимірюваного сигналу;  $U_{АЦП}^{max}$  і  $U_{АЦП}^{min}$  – діапазон вхідних напруг аналого-цифрового перетворювача (АЦП);  $K_n = 2^n$ ,  $n$  – число значущих розрядів АЦП;  $K_y$  – коефіцієнт підсилення;  $E$  – функція цілочисельного перетворення.

Алгоритм цифрової фільтрації реалізується дискретною передавальною функцією виду  $\frac{(a_m z^{-m} + \dots + a_1 z^{-1} + a_0)}{(b_m z^{-m} + \dots + b_1 z^{-1} + b_0)}$ , де  $a_i$  та  $b_i$  – коефіцієнти, вибір яких визначає характеристики цифрового фільтра,  $m$  – порядок фільтра,  $z = e^{sT_0}$ ,  $s$  – оператор Лапласа,  $T_0$  – період дискретизації.

**Висновок.** Застосування розподіленої архітектури інформаційно-керуючих комплексів на основі бездротової технології являється новим напрямком в розвитку САУ СУ:

– побудова розподіленої САУ ГТД дозволить зменшити кількість радіальних ліній зв'язку за рахунок переходу до мультиплексних каналів обміну інформацією; спростить пошук несправностей, локалізацію відмов та переналаштування структури; підвищить живучість САУ через інтеграцію апаратно-програмних засобів повітряного судна і двигуна;

– бездротові технології в САУ ГТД дозволять створити вискоелективні системи нового покоління із гнучкою, легко змінюваною структурою; зменшать масу і розміри за рахунок зменшення кількості роз'ємів та кабелів; підвищать надійність САУ та зменшать затрати на технічне обслуговування та ремонт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гуревич О.С. Системы автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями / Под ред. О.С. Гуревича. – М.:ТОРУС ПРЕСС,2010. – 264 с.
2. Culley D. Distributed engine control // Workshop at Ohio Aerospace Institute, Cleveland, OH. 2007.

**СЕКЦІЯ:**

***ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ***

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

*Алоба Лео Тосин*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала С.И. Макарова  
(г. Николаев, Украина)*

Блок моделирования навигационной обстановки автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) включает в себя блок моделирования внешней навигационной среды и блок идентификации навигационных угроз. Задача синтеза такого блока моделирования навигационной обстановки как элемента системы управления подводного аппарата (ПА) является актуальной прикладной научной задачей.

АНПА используются в двух основных режимах применения: одиночное плавание и групповое плавание. Задача моделирования внешней навигационной обстановки является актуальной для обоих режимов, но наиболее сложно она решается для случая группового управления, потому что аппараты-соседи могут создавать очень быстро меняющиеся угрозы которые надо своевременно выявлять в автоматическом режиме, упреждать и отклоняться от них.

Допустим, что аппараты управляются только в горизонтальной плоскости и манёвра вертикального движения нет или редко применяется в аварийном случае, когда маневры в плоскости недостаточны для безопасного движения АНПА и как вынужденное движение в избегании столкновений с соседними АНПА.

Поскольку неопределенность в автоматизации обычно увеличивается с увеличением функционального иерархического уровня, возможности подходов нечеткой логики естественно растут с более высокими уровнями. Нечеткое управление на базовом уровне может быть привлекательным для процессов в которых доступны только качественные знания и существуют сильно нелинейные свойства или если имитируется управление людьми.

Предполагая, что идёт миссия группы АНПА в рамках наблюдения, слежения или поиска при развертывании аппаратов-роботов. Будет сделан синтез одного АНПА как агента группы. Вокруг этого АНПА находятся АНПА-соседи которые могут вызвать угрозу для него, поскольку они могут приближаться к нему, и во избежание столкновения, ему приходится маневрировать вправо или влево в зависимости от стороны, на которой появляются соседи или препятствия.

Системы управления такими подводными аппаратами строятся исходя из выбранных сенсоров, чувствительность которых обеспечивают самостоятельное плавание подводного аппарата. Количество сенсоров и их диаграммы направленности зависят от задач и ряда требований в групповом движении АНПА. Обычно количество сенсоров варьируется в пределах от 4 до 12 и обеспечивает измерение дистанций между АНПА по соответствующим курсовыми углами в пределах от 0,1 м до 20 м, что позволяет строить эффективные системы управления групповым движением.

В качестве дальномеров АНПА могут быть использованы подводные ультразвуковые, акустические, лазерные или электрические сенсоры, которые должны обеспечивать системе автоматического управления подводного аппарата чувствительность к соседним АНПА, движущихся в составе группы.

Самый близкий из АНПА-соседей показывает угрозу агенту и будет, имеет дела с АНПА-соседом первым и поэтому игнорировать другие. То же самое, применимое ко всем обнаруженным соседям слева, вершине и тылу (рис. 1).

Когда АНПА-соседи обнаруживаются в пределах амплитуды (зоны действия.) считывания, агент изменяет ее скорость и возглавляющий угол, используя информацию о расстоянии соседа, угле соседа и локализации, чтобы избежать столкновения и затем восстанавливать траекторию движения.

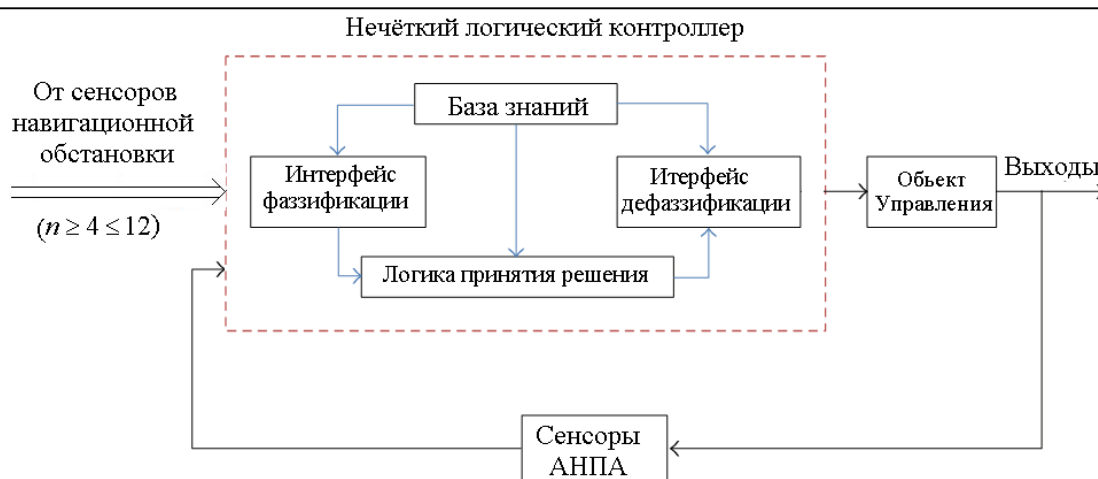


Рисунок 1 – Система управления с нечеткой логикой

Это поворачивает управление погрешности угла направления движения приблизительно к  $90^\circ$ . Как только это ясно из этого соседа, это может продолжить свой путь к задаче.

Для случаев, в которых нет соседей или препятствия в зоне действия, АНПА стремится к максимальной скорости работы. Можно ввести правила нечеткой логики, которые следуют из правил, используемых для управления автомобилем. Другой свод правил для того, когда соседи на крайнем расстоянии не представляют угрозы столкновения. В этих условиях АНПА может приблизиться к соседу, но в сниженной скорости (чтобы избежать резких поворотов в сторону соседа).

Это было сделано для того, чтобы планирование движения по заданной траектории было приоритетным, когда соседи не находятся в зоне действия, а избежание столкновения – когда они находятся в зоне действия.

АНПА (агент) оборудуется на корпусе навигационными сенсорами внешней среды (СВС) в количестве  $n$ , где  $4 \leq n \leq 12$ .

Для оценки степени угрозы столкновений между агентами группы АНПА предлагается в состав системы автоматического управления (САУ) каждого АНПА ввести специальные блоки: модель навигационной обстановки (МНО) вокруг соответствующего АНПА и идентификатор навигационных угроз (ИНУ) для этого АНПА. Строить указанные блоки целесообразно с привлечением теории нечеткой логики.

Если все аппараты действуют в плоскости,  $x_i$  - расстояние от АНПА до соседнего по курсу  $i$ ;  $x_{min}$  - минимально возможная безопасная дистанция до соседнего АНПА,  $x_{max}$  - максимально допустимая дистанция до соседнего АНПА:

$$\text{выравнивание когда } A_{GU} = \{\varphi_G; v_G; H_G\}, \quad (1)$$

$$\text{когезия когда } A_{GC} = \{x_i \leq x_{max} \mid i=1, \dots, S\}, \quad (3)$$

$$\text{и адгезия когда } A_{GA} = \{x_i \geq x_{min} \mid i=1, \dots, S\}, \quad (2)$$

Синтез блоков основан на нечеткой логической системе, которая состоит из точных входов, точных выходов и нечетких правил. Был предложен синтез для определения расстояний между аппаратами и производными расстояний, таким образом настраивать систему и маневрировать избегание столкновений между соседними аппаратами во время операций.

С СВС, АНПА может обнаружить соседей, которые могут вызвать столкновения, а также статические и динамические препятствия в диапазоне (зоне действия). Сенсоры очень эффективны в динамических условиях.

Чтобы вычислить систему нечеткого вывода, при данном входе, нужно пройти шаги которые изображены на рис. 2.

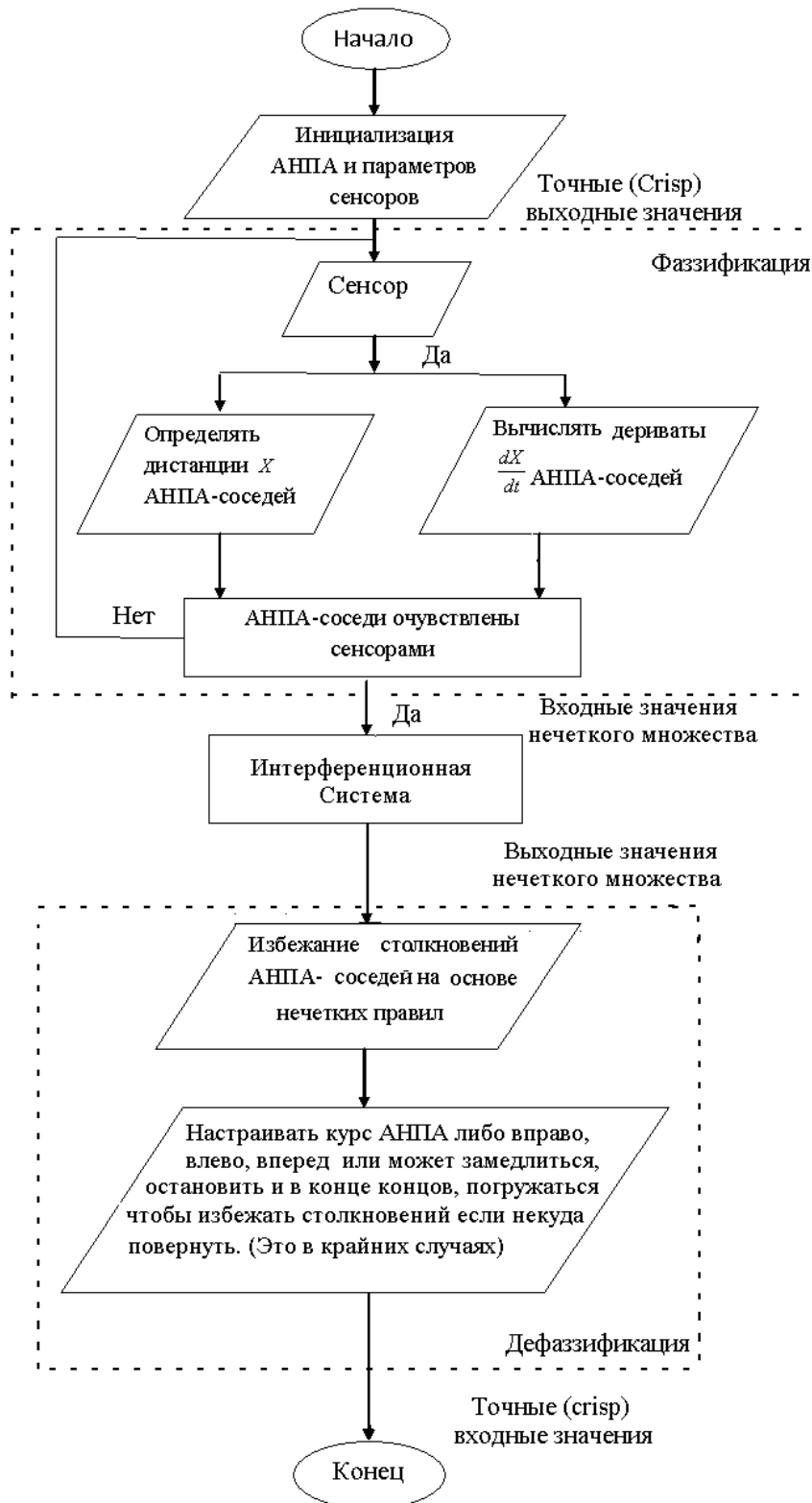


Рисунок 2 – Блок-схема нечеткой логики блока моделирования навигационной обстановки для АНПА как агента группы АНПА

На основе функций членства (рис. 3), описанных для входов и выходов, указывается ряд правил, основанных на эмпирических знаниях, которые описывают взаимодействие между входами и выходом.



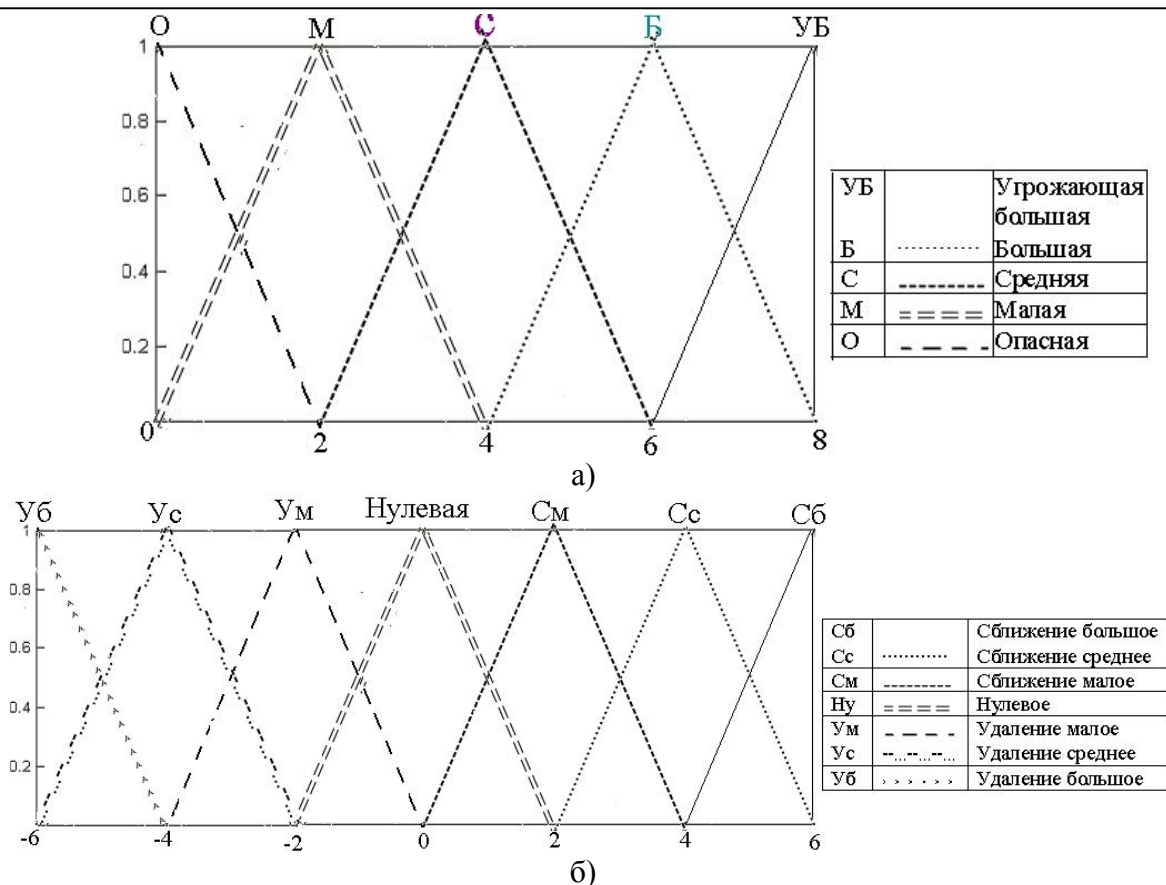


Рисунок 3 – Функции членства: а) для сенсоров дистанции; б) для уровня изменения в положениях (сближения/удаления) соседнего аппарата,  $dx/dt$

Этот набор правил, составляющий основу правил нечеткой системы, показан в табл. 1 и 2

Таблица 1 – Нечеткие правила скорости сближения/удаления правой и левой соседям

	Сб	Сс	См	Нулевая	Ум	Ус	Уб
Уб	П <sup>СП</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>СП</sup>	П <sup>БП</sup>
	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>СЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>
Б	П <sup>БЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>СЛ</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>СП</sup>	П <sup>БП</sup>	П <sup>БП</sup>
	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>
Средняя	П <sup>БЛ</sup>	П <sup>СЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>0</sup>	П <sup>МП</sup>	П <sup>СП</sup>	П <sup>БП</sup>
	Л <sup>БП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>МЛ</sup>	Л <sup>0</sup>	Л <sup>МЛ</sup>	Л <sup>СЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>
Малая	П <sup>БЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>СЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>СП</sup>	П <sup>МП</sup>	П <sup>СП</sup>
	Л <sup>БП</sup>	Л <sup>БП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>МП</sup>	Л <sup>СЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>
О	П <sup>БЛ</sup>	П <sup>БЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>МЛ</sup>	П <sup>СП</sup>	П <sup>МП</sup>	П <sup>СП</sup>
	Л <sup>БП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>СП</sup>	Л <sup>МП</sup>	Л <sup>СЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>	Л <sup>БЛ</sup>

В случае когда АНПА-соседи сверху и сзади находятся очень близко аппарат будет замедляться, если угроза все еще существует, то АНПА будет уходить влево или вправо, чтобы избежать столкновения. При невозможности маневрирования в стороны он погрузится. Эта операция здесь не рассматривается, поскольку мы имеем дело с управлением движением на плоскости. Полученные рекомендации приводятся в табл. 2.

Таблиця 2 – Нечеткие правила скорости сближения/удаления передним и задним соседями

	Сб	Сс	См	Нулевая	Ум	Ус	Уб
Уб	$V^{МВ \text{ и } З}$	$V^{МВ \text{ и } З}$	$V^{СВ}$	$V^{СВ \text{ и } МВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$
	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$
Б	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$
	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$
Сред- няя	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^0$	$V^{МВ}$	$V^{СВ}$	$V^{БВ}$
	$З^{БВ}$	$З^{СВ}$	$З^{МВ}$	$З^0$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$
Малая	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{МВ}$	$V^{СВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$
	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{СВ}$	$З^{МВ}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$
О	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{З,Л \text{ или } П}$	$V^{ЗВ \text{ и } СВ}$	$V^{СВ}$	$V^{БВ}$	$V^{БВ}$
	$З^{БВ}$	$З^{БВ}$	$З^{СВ}$	$З^{МВ}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$	$З^{ЗВ \text{ или } О}$

Механизм выводов, основанный на типе механизма логического вывода и базы правил, отправляет результат вывода в блок фаззификации для преобразования в числовое значение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lotfi A. Z. Fuzzy Logic [Електронний документ]/ A. Z. Lotfi /. – Режим доступу: <http://www.massey.ac.nz/~nhreyes/MASSEY/159741/Lectures/Lec2012-3-159741-FuzzyLogic-v.2.pdf>
2. Mohammed Faisal, Fuzzy Logic Navigation and Obstacle Avoidance by a Mobile Robot in an Unknown Dynamic Environment [Електронний документ]/ Mohammed Faisal, Ramdane Hedjar, Mansour Al Sulaiman and Khalid Al-Mutib/. – Режим доступу: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/41967.pdf>
3. Ross T., Fuzzy Logic With Engineering Applications [Текст]/ T.Ross / John Wiley & Sons. – West Sussex UK, .– 2010.
4. Patrick Roedjito. Position tracking and motion prediction using Fuzzy Logic. [Електронний документ] / Patrick Roedjito /. – Режим доступу: <http://digitalcommons.colby.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1523&context=honorsthesis>
5. Anirban Nag, Fuzzy Logic Based Depth Control of an Autonomous Underwater Vehicle. [Електронний документ] / Anirban Nag, Surendra Singh Patel and Dr.S.A. Akbar/.– Режим доступу: [https://www.academia.edu/9175947/Fuzzy\\_logic\\_based\\_depth\\_control\\_of\\_an\\_Autonomous\\_Underwater\\_Vehicle](https://www.academia.edu/9175947/Fuzzy_logic_based_depth_control_of_an_Autonomous_Underwater_Vehicle)
6. Ion Iancu. Type Fuzzy Logic Controller. [Електронний документ] / Ion Iancu, A Mamdani.– Режим доступу: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/34221.pdf>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАТЯЖЕНИЕМ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАМОТКЕ

**Борисова В.А.**

*Херсонская государственная морская академия*  
(Украина);

**Единович М.Б.**

*Херсонский национальный технический университет*  
(Украина);

**Рожков С.А.**

*Херсонская государственная морская академия*  
(Украина)

**Введение.** Повышение эффективности создаваемых новых специальных конструкции связано с разработкой конструктивных решений и технологий с использованием волокнистых полимерных композиционных материалов (ПКМ). Технологии позволяют методами контактно-вакуумного формирования и намотки получать сложные пространственно-геометрические конструкции и изделия при значительном сокращении технологических операций [4]. Уменьшение технологических стыков и соединений в конструкциях изделий в целом повышает их надежность, снижает производственные затраты, когда все элементы (обшивки, поперечные шпангоуты и ребра жесткости и т.п.) формуются, собираются и соединяются между собой методом склеивания.

**Основная часть.** Система контроля натяжением является неотъемлемой частью любой машины или технологической линии, от работы которой в значительной мере зависит качество конечной продукции. Намотка (перематка) материала с использованием привода, который контролирует постоянную скорость процесса, учитывая переходные процессы, может различаться оптимальными значениями натяжения, где оптимальной следует считать такое натяжение, при котором обеспечивается управляемое перемещение полотна материала при технологических операциях.

В соответствии с выбранными параметрами деформации рассматриваются характеристики:  $P = P(l)$ ,  $P = P(\varepsilon)$ ,  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ , где  $P$  – внешнее усилие,  $\sigma$  – механическое напряжение,  $l$  и  $\varepsilon$  – абсолютное и относительное удлинения соответственно.

В общем случае зависимость удлинения от напряжения носит сложный характер, так как на нее оказывает влияние большое число факторов: вид и строение вещества, составляющее волокно, строение нитей, длительность приложения усилия, температура и другие. На практике используют приближение зависимостей удлинения от усилия в виде эмпирических соотношений:  $P = A l k$ ;  $P = B \varepsilon k$ ;  $\sigma = C \varepsilon k$ , где  $A, B, C$  и  $k$  – постоянные, зависящие от вида нитей и принятой характеристики [1, 2]. При значениях  $k \gg 1$  получаем описание в виде кривой первого типа, при  $k = 1$  – в виде линейной зависимости, которая формально представляет закон Гука, а при  $k < 1$  получаем кривые второго типа.

Для ткани при одноосном напряженном состоянии и совпадении направления приложения усилий с направлением утка или основы сохраняется вид зависимости удлинения от нагрузки, свойственный нитям, из которых состоит ткань. Однако ткань является анизотропным материалом, и в случае несовпадения приложенного усилия с нитями ткани зависимость удлинения от нагрузки может не соответствовать характеристикам отдельных нитей. Таким образом, при построении математической модели системы намотки (перематки) материала, как объекта управления, необходимо учитывать существенно нелинейную зависимость удлинения ткани от направления приложения усилия. Дополнительно следует учитывать характер зависимости  $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ ,

который общем случае не постоянен по длине материала, что при смене артикулов (типов) ткани приводит к изменениям  $\varepsilon$ .

Динамика процесса перемотки материала с учетом деформаций связана с конструктивными особенностями рабочих органов оборудования и специфическими особенностями ткани, как объекта управления [2 – 4]. На рис. 3 показана схема перемотки рулонного материала с использованием поворотного вала.

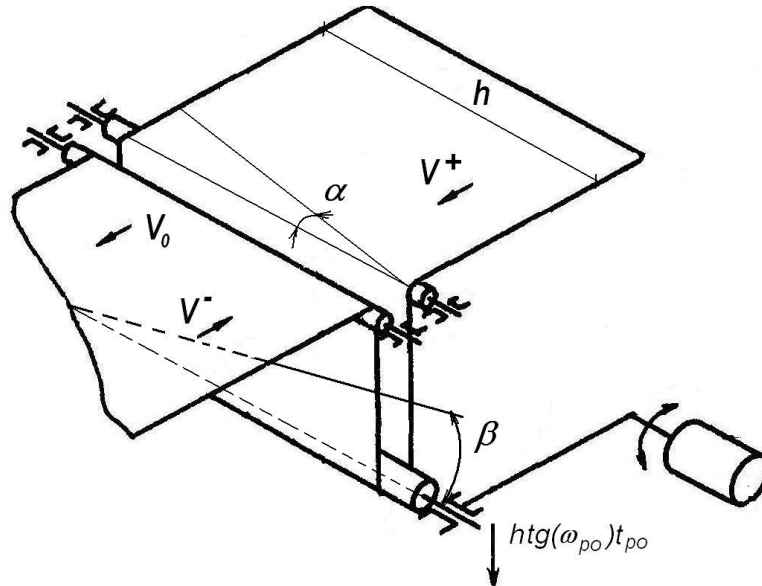


Рисунок 3 – Схема перемотки рулонного материала с использованием поворотного вала:  $V_0$  – скорость движения ткани;  $V^+$  – приращение скорости движения ткани, обусловленное движением правильного вала;  $V^-$  – уменьшение скорости движения ткани;  $h$  – ширина ткани;  $\alpha$  – угол перекоса утка;  $\beta$  – угол поворота правильного вала.

Если пренебречь трением нитей в узлах, что справедливо для тканей полотняного переплетения с невысокой плотностью, то можно считать движение кромок полотна ткани независимым. В этом случае при повороте правильного вала постоянной с постоянной угловой скоростью  $\omega_{po}$  на угол  $\beta$ , справедливо соотношение  $tg\beta = (\omega_{po}t_{po})$ , где  $t_{po}$  – время движения рабочего органа. В таком случае длина ткани в петле, образованной поворотным валом определяется выражением:

$$\Delta S = 2h \cdot tg(\omega_{po}t_{po}) = 2h \cdot tg\beta. \quad (1)$$

В этом случае линейные скорости движения кромок ткани в установившемся режиме равны между собой, однако величина  $\Delta S$  сохраняется, что вызывает поворот уточных нитей на угол  $\alpha$ , равный:

$$tg(\alpha) = \frac{\Delta S}{h} = 2tg(\beta). \quad (2)$$

На рисунке 4 приведены основные фазы процесса изменения положения уточных нитей с учетом вытяжки. На этапе (1) скорость движения кромки ткани  $V_0$  изменяется на величину  $V^+$  перед правильным валом и на величину  $V^-$  за правильным валом, где  $V$  – линейная скорость движения правильного вала. Изменение положения правильного вала вызывает вытяжку полотна и соответствующий этой вытяжке перекося кромок ткани на величину  $\Delta S_1$ . Величина перекося в данном случае зависит от вида и артикула ткани, а также от особенностей действующего оборудования. На стадии (2) при остановке рабочего органа происходит обратное изменение положения утка связанное с восстановлением скорости движения кромки  $V_0$ . Окончание переходного процесса

показано на стадії (3). Величина  $\Delta S_2$  установившегося перекоса определяется длиной ткани в петле, образованной поворотным валом.

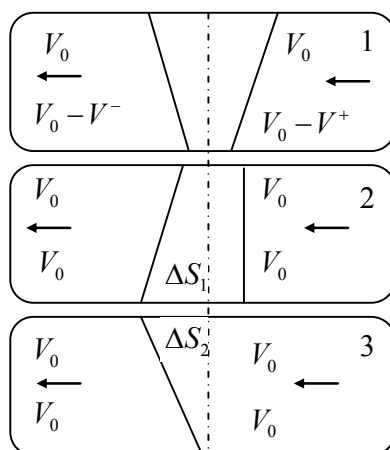


Рис. 4 – Фазы переходного процесса в системе при изменении положения уточных нитей с учетом вытяжки

Коэффициент передачи правильного вала находится из соотношения (2) как отношение угла перекоса к углу поворота рабочего вала:

$$K_0 = \frac{\operatorname{tg}(\alpha)}{\operatorname{tg}(\beta)} = 2. \quad (3)$$

При определении динамической модели системы «вал – ткань» проведено экспериментальное определение переходных характеристик правильного вала с последующей аппроксимацией полученных характеристик. Полученная модель системы представлена в виде разности двух передаточных функций, что объясняется различными механизмами образования перекоса:

$$W(p) = W_1(p) - W_2(p) = \frac{0.15 \exp(-3p)}{3p + 1} - \frac{0.06 \exp(-p)}{0.6p + 1}. \quad (4)$$

Для идентификации объекта управления при использовании модели (4) необходимо определить большое число параметров, которые зависят от физико-механических свойств ткани и параметров оборудования. Наличие различных фаз в процессе взаимодействия ткани с рабочими органами системы позволяет выделить модель динамики системы для интервала времени перемещения правильного вала и для момента времени от остановки вала до затухания реакции в системе.

На первом этапе входным воздействием для системы «вал – ткань» является скорость смещения вала, где ткань ведет себя как вязкоупругий объект, подверженный деформации, параметры которого зависят от нагрузки. При этом сложность математической модели, связывающей процесс деформации транспортируемого вязкоупругого материала с его натяжением, определяется в первую очередь единством процессов его перемещения в пространстве и вязкоупругой деформации.

Элементарные участки  $\Delta l_i$  (рис. 5), попадая в зону деформаций длиной  $L$  между приводными точками 1 и 2 с линейными скоростями  $V_1$  и  $V_2$ , и удлинением  $\varepsilon$ , не могут мгновенно принять задаваемое состояние, а непрерывно деформируется в процессе движения. Деформация ткани на участках между точками 1 и 2 описывается выражением согласно модели Кельвина-Фойхта [3, 4]

$$\varepsilon_i = \frac{F}{E} + \left( \varepsilon_0 - \frac{F}{E} \right) \exp\left( -\frac{E \Delta t_i}{\eta} \right), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_i$  – деформация  $i$ -го участка ткани;  $F$  – натяжение ткани, Н;  $E$  – модуль упругости ткани, Н, отнесенный к ее ширине;  $\varepsilon_0$  – начальная деформация ткани;  $\Delta t_i$  – время пребывания  $i$ -го элементарного участка в зоне деформации, с;  $\eta$  – модуль вязкости ткани, Н·с, отнесенный к её ширине.

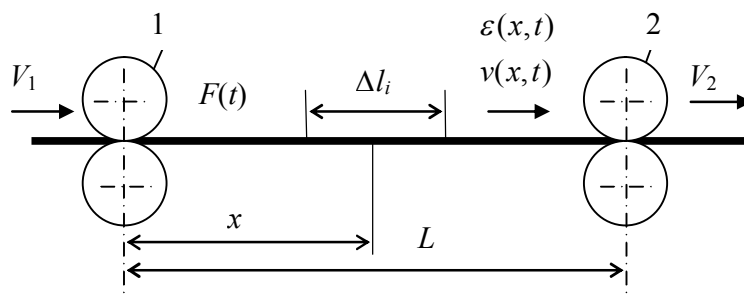


Рисунок 5 – Схема процесса деформации ткани

При незначительных деформациях, характерных для процесса правки утка, с учетом постоянства вязкоупругих свойств материала, динамику поведения ткани можно описать как:

$$\Delta v(x, p) = \Delta v(p) \frac{\eta p(x - K v A_x) + v A_x}{\eta p(L - K v A_L) + v A_L}, \quad (6)$$

где  $\Delta v$  – изменение скорости ткани;  $L$  – расстояние между приводными парами;  $x$  – текущая координата.

**Выводы.** Перекос ткани возникает в ходе взаимодействия правильного вала с материалом (тканью) и состоит из двух фаз. Перекос определяется динамикой движения рабочего органа и процессом релаксации ткани, возникающим после остановки вала.

Полученная модель системы «вал–ткань» позволяет описать обе фазы возникновения перекоса с учетом вязкоупругих свойств ткани и запаздывания, обусловленного размещением датчика относительно правильного вала.

Параметры адаптации системы правки утка могут быть определены из модели  $H_1(x, p)$ , описывающей начальный участок переходной характеристики до завершения транспортного запаздывания.

Величина перекоса зависит от расстояния  $x$  от правильного вала, поэтому точность определения положения утка повышается при удалении датчика перекоса от правильных валов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Ф., Бурков А.П. Динамическая модель процесса деформации вязкоупругого транспортируемого материала. //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1985, №6, с.66–71.
2. Единович М. Б. Моделирование взаимодействия ткани с устройствами исправления перекоса утка //Вестник Херсонского национального технического университета, 2014. – № 3 (50). – С.: 281-285.
3. Ross Carl T. F. Pressure vessels: External pressure technology (Second edition) – Woodhead Publishing Limited, 2011. – 488 p. – ISBN–10: 0857092480.
4. Mohamed Haddar, Lotfi Romdhane, Jamel Louati, and Abdelmajid Ben Amara (Eds.). Design and Modeling of Mechanical Systems Proceedings of the Fifth International Conference on Design and Modeling of Mechanical Systems, CMSM'2013, Djerba, Tunisia, March 25–27, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. P.665. –ISBN 978-3-642-37142-4.

## САМОХІДНИЙ ПРИВ'ЯЗНИЙ ПІДВОДНИЙ АПАРАТ-РОБОТ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ

Войтасик А.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)

Основним складових елементом прив'язної підводної самохідної вантажної системи (ППСВС) є підводний апарат-робот транспортного типу (ПАР-Т) [1]. Рух ПАР-Т у підводному просторі супроводжується впливом на його корпус зовнішніх сил та моментів. Конфігурація ППСВС на базі ПАР-Т, а також сили, які діють на ПАР-Т в процесі його руху, наведено на рис. 1.

Керуючі сили  $\bar{F}_{\text{РСК}}$ , створювані рушійно-стерновим комплексом (РСК), забезпечують рух ПАР-Т. Окрім зусиль від рушійно-стернового комплексу на корпус ПАР-Т постійно діють сили тяжіння  $\bar{F}_T$  та виштовхування  $\bar{F}_B$ . Суттєвий вплив на рух ПАР-Т мають сили тяжіння та виштовхування  $\bar{F}_{\text{ТМ1}}$ ,  $\bar{F}_{\text{ТМ2}}$  та  $\bar{F}_{\text{ВМ1}}$ ,  $\bar{F}_{\text{ВМ2}}$  модулів 1 та 2 спеціалізованого вантажу, яким маніпулює ПАР-Т, за умови його наявності [2].

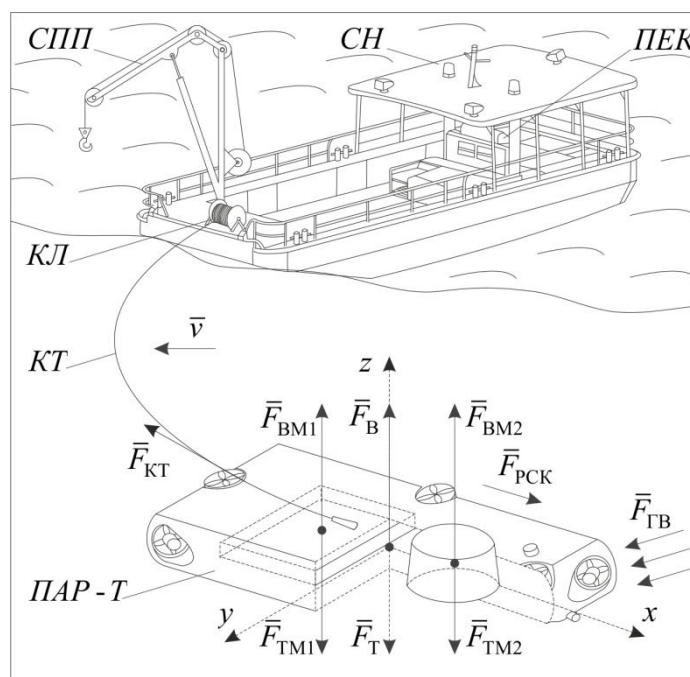


Рисунок 1 – Структура ППСВС на базі ПАР-Т та сили, що впливають на його рух:

ПАР-Т – підводний апарат-робот транспортного типу; КТ – кабель-трос;

КЛ – кабельна лебідка; СПП – спуско-підйомний пристрій; СН – судно-носіє;

ПЕК – пост енергетики та керування

Також на рух ПАР-Т впливають гідродинамічні сили  $\bar{F}_{\text{ГВ}}$ , які виникають внаслідок взаємодії ПАР-Т з рідиною [3]. Кабель-трос, який забезпечує енергоживлення ПАР-Т та інформаційний обмін між ПАР-Т та ПЕК, розташованим на СН, створює збурюючу силу  $\bar{F}_{\text{КТ}}$ . Оскільки КТ є елементом з розподіленими параметрами, то  $\bar{F}_{\text{КТ}}$  є суттєво нелінійним збурюючим впливом і залежить від багатьох змінних, в тому числі від довжини випущеної частини КТ, його діаметру та просторової конфігурації тощо.

Всі сили, що діють на ПАР-Т також утворюють відповідні моменти, які залежать від точок їх прикладення і в загальному випадку, як і сили, розділяються на керуючі та збурюючі.

На стадіях розробки нових зразків самохідних прив'язних підводних апаратів важливе значення має вибір типу рушійних пристроїв та їх розміщення на рамі ПАР.

Загалом ПАР-Т як об'єкт керування в підводному просторі має шість ступенів вільності (рис. 2) [4]. Тобто, шести ступеням вільності будуть відповідати три координати точки  $O(x, y, z)$  та три кути  $\varphi, \psi, \theta$ , які безперечно визначають положення системи хуз відносно  $x_0, y_0, z_0$ .

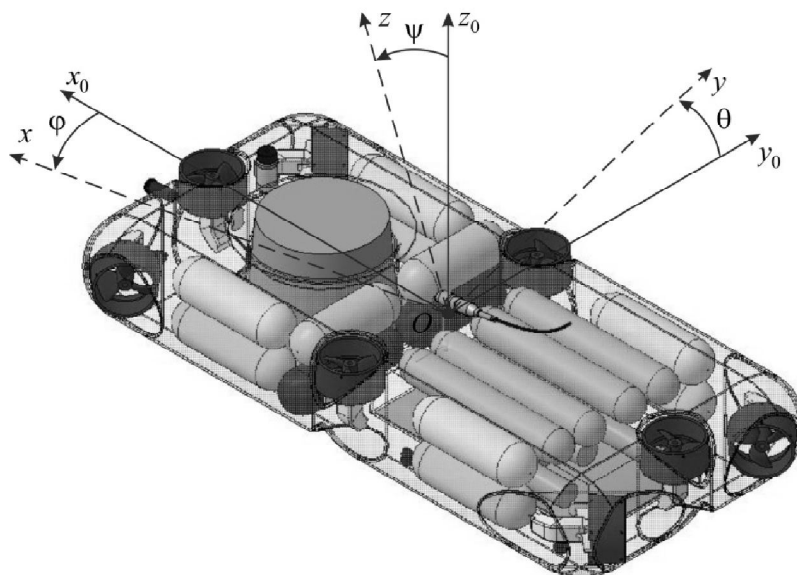


Рисунок 2 – Можливі напрямки руху ПАР-Т

Дані кути називають кутами Ейлера. Зазвичай, для морського рухомого об'єкту прийнято їх наступні позначення:  $\varphi$  – кут повороту курсу,  $\psi$  – кут повороту диференту (на ніс чи на корму),  $\theta$  – кут повороту крену (на лівий чи на правий борт).

Застосовуючи чотири рушійні пристрої, які розташовані в горизонтальній площині, можливо об'єднати функції маршового та підрулюючого комплексу [5]. Дана схема розташування рушійних пристроїв забезпечить маршовий прямолінійний рух та можливість обертання ПАР-Т в точці, що в свою чергу забезпечить лаговий рух ПАР-Т. Лаговий рух ПАР-Т є необхідним при виконанні спеціалізованих робіт з доставки та установки спеціалізованого вантажу.

Інші чотири рушійні пристрої, встановлюються у вертикальній площині на осях симетрії ПАР-Т. Два з них є рівновіддаленими від центра апарата та забезпечують регулювання диференту ПАР-Т. Два вертикальні рушійні пристрої розміщені на лівому та правому бортах ПАР-Т забезпечують регулювання крену. Два вертикальні рушійні пристрої розташовані в носовій та кормовій частинах ПАР-Т забезпечують регулювання диференту. Регулювання крену та диференту є необхідним для компенсації зовнішніх збурень від спеціалізованого вантажу, яким ПАР-Т маніпулює.

Таке технологічне рішення матиме суттєвий вплив на динаміку руху ПАР-Т, якість його маневрування в товщі води та можливості застосування ПАР-Т при подоланні сил збурюючих впливів на його корпус.

**Висновок.** В роботі описано ПАР-Т як об'єкт керування для подальшого синтезу математичної моделі РСК ППСВС на базі ПАР-Т до складу якого входитимуть вісім однотипних рушійних пристроїв. Розглянутий об'єкт керування зазнає впливу невизначених зовнішніх збурень. Тому подальший розв'язок задачі автоматизованого керування ППСВС на базі ПАР-Т вбачається в синтезі інтелектуальних систем керування складовими ППСВС із використанням інверсних моделей.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Войтасик, А.М. Автоматизація процесу установки вантажу на морське дно [Текст] / А.М. Войтасик // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 46-47.
2. Блинцов, В.С. Подводная роботизированная технология установки полезного груза на морское дно [Текст] / В.С. Блинцов, А.Н. Войтасик // Технические проблемы освоения Мирового океана: Материалы шестой Всероссийской научно-технической конференции: – Владивосток: ИПМТ ДВО РАН, 2015. – С. 154-158.
3. Войтасик, А.М. Сучасні задачі автоматизації керування підводним апаратом-роботом спеціального призначення [Текст] // А.М. Войтасик // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2017. – С. 57-59.
4. Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами [Текст] / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугунов // Ленинград: Судостроение, 1988. – 272 с.
5. Akmal, M., 2014. Active Fault Tolerant Control of a Remotely Operated Vehicle Propulsion System. *Procedia Engineering*, Vol. 41, 622-628.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СЕТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА МИО В СРЕДЕ MATLAB

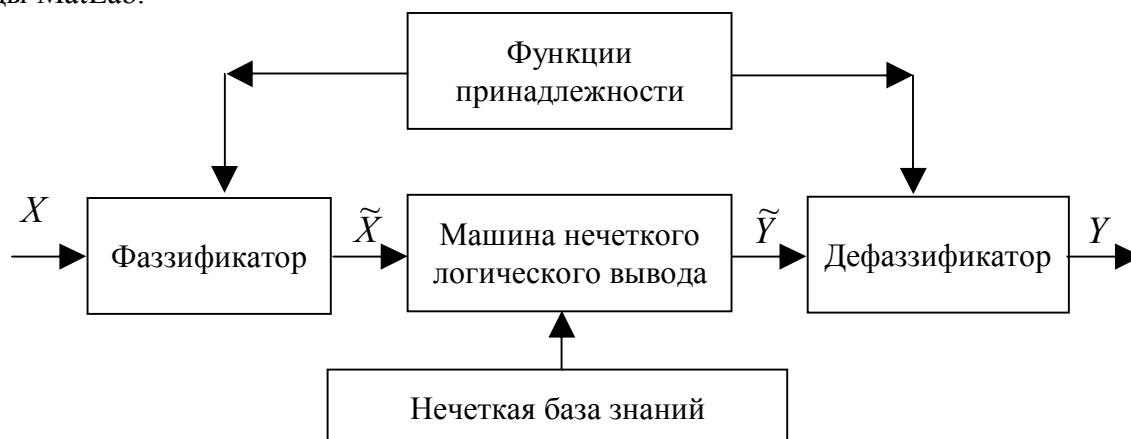
*Врублевский Р.Е.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

**Вступление.** Система MATLAB, разработанная и постоянно обновляемая компанией MathWorks Inc. (США), является одной из наиболее известных систем компьютерной математики. К последним принято относить специализированные компьютерные программы, которые предназначены для решения широкого класса задач, связанных с тем или иным разделом теоретической или прикладной математики. При этом отдельные классы задач, которые позволяет решать система MATLAB, имеют весьма условное отношение к классической математике, поскольку в настоящее время представляют собой узкоспециализированные области научных и прикладных исследований [1, 2, 3, 4].

**Цель статьи.** моделирование и реализация нейро-нечеткой сети прогнозирования результата мио в среде MATLAB, составить схему нечеткого логического вывода модуля прогнозирования результата МИО и схема реализации нейро-нечеткой сети прогнозирования результата МИО в среде MATLAB.

**Основная часть.** Операции с нечеткой логикой в пакете MATLAB позволяет выполнять модуль Fuzzy Logic Toolbox. Этот модуль дает возможность создать систему нечеткого логического вывода для модуля прогнозирования результата МИО в рамках среды MatLab.



$X$  – входной четкий вектор (режимы МИО)

$\tilde{X}$  – вектор нечетких множеств

$\tilde{Y}$  – результат логического вывода в виде вектора нечетких множеств

$Y$  – выходной четкий вектор результата МИО (остаточная намагниченность)

Рисунок 1 – Схема нечеткого логического вывода модуля прогнозирования результата МИО

Fuzzy Logic Toolbox содержит такие категории программных инструментов:

– – функции;

– – интерактивные модули с графическим пользовательским интерфейсом (с GUI).

Реализация нейро-нечеткой сети прогнозирования результата МИО в среде MATLAB, производилась по схеме рис. 2.

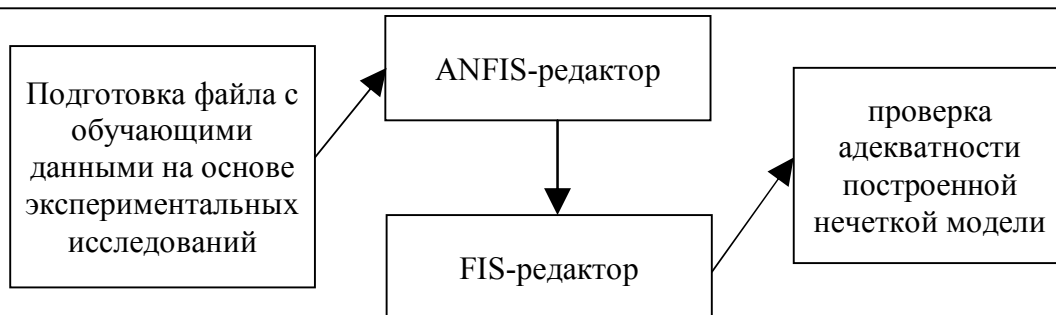


Рисунок 2 – Схема реализации нейро-нечеткой сети прогнозирования результата МИО в среде MATLAB

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме адаптивных систем нейро-нечеткого вывода ANFIS. По этому разработку и исследование гибридной сети прогнозирования результата МИО реализовывалась в интерактивном режиме с помощью специального графического редактора адаптивных сетей, получившего название редактора ANFIS.

Редактор ANFIS позволил создать и загрузить конкретную модель адаптивной системы нейро-нечеткого вывода, выполнить ее обучение, визуализировать ее структуру, изменить и настроить ее параметры, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода (остаточная намагниченность обрабатываемого инструмента).

Графический интерфейс редактора ANFIS вызывался функцией `anfisedit` из командной строки.

Главное меню редактора ANFIS достаточно простое и предназначено для работы с предварительно созданной системой нечеткого вывода. Основную часть графического интерфейса занимает окно визуализации данных, которое расположено ниже главного меню. Для вновь создаваемой гибридной сети это окно не содержит никаких данных.

**Выводы.** Сравнение результатов нечеткого вывода для этих значений входных переменных, полученных с помощью разработанной нечеткой модели MATLAB, показало хорошую согласованность модели и подтверждает ее адекватность в рамках рассматриваемой задачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В. П. Справочник по применению системы PC MATLAB. – М. : «Физматлит», 1993. – С. 112.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Основы применения. Полное руководство пользователя. – Москва: «СОЛОН-Пресс», 2003. – С. 576.
3. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752с.: ил.
4. Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ИСПЫТЫВАЮЩЕЙ КОМБИНИРОВАННОЕ НАГРУЖЕНИЕ

*Герасименко П.В.*

*Петербургский государственный университет путей сообщения*

(г. Санкт-Петербург, Россия)

**Вступление.** Цилиндрические оболочки, испытывающие осевое сжатие, широко используются в транспортном и энергетическом машиностроении [1, 2]. Во многих случаях осевое сжатие дополняется воздействием локального теплового воздействия. При этом величины нагрузок часто бывают близкими к предельным значениям, что приводит к высоким рискам отказов функционирования инженерных объектов [3]. Учитывая важность таких конструкций в указанных условиях эксплуатации, проводилось довольно много теоретических и экспериментальных исследований их устойчивости. В частности в работе [4] приведены результаты экспериментальных исследований потери устойчивости цилиндрической оболочки при различных величинах плотности мощности локально воздействующего теплового потока.

**Результаты исследования.** Объектом испытаний служили тонкостенные цилиндрические оболочки, изготовленные из материала Ст.08кп и относительными параметрами, представляющими собой отношения радиуса к толщине равными 300, а длины к радиусу – 4. Эксперименты проводились на специальной установке [5].

При всех испытаниях величина осевого сжатия составляла 90 процентов от средней величины критической силы, предварительно экспериментально полученной по результатам серии испытаний только на осевое сжатие 20 аналогичных оболочек.

Тепловой поток, создаваемый мощной ксеноновой лампой сверхвысокого давления, воздействовал на часть поверхности оболочки. Излучение фокусировалось на поверхности оболочки моноэллипсоидной оптической системой.

Разрушение оболочек происходило в виде потери ими устойчивости равновесной прямолинейной формы «хлопком», без нарушения сплошности материала в зоне воздействия теплового потока и без оплавления.

Время до потери устойчивости определялось по моменту начала воздействия теплового потока и моменту резкого спада осевой нагрузки на осциллограмме. Для контроля момента разрушения использовались также показания фотоэлектрического датчика, фиксировавшего изменение во времени отраженного от поверхности оболочки лучистого потока. Результаты испытаний представлены в таблице 1, где  $t$  – время потери устойчивости, измеряемое в секундах;  $q_{0П}$  – плотность мощности, поглощаемой в материале оболочки в ватах на метр квадратный.

Таблица 1 – Экспериментальные данные времени до потери устойчивости от плотности мощности теплового потока

$t$	0,205	0,195	0,118	0,148	0,125	0,075	0,08
$q_{0П} \cdot 10^{-4}$	48,6	49	47,8	80	79,5	77,6	77,5
$t$	0,129	0,128	0,075	0,08	0,115	0,065	0,048
$q_{0П} \cdot 10^{-4}$	100,05	101	100,05	100,06	146	145	142

На основании, представленных в табл. 1 данных, построены методом наименьших квадратов, зависимость  $t = 2,38 \cdot q_{0П}^{-0,69}$ .

На рис. 1 представлены табличные данные (точки) и график (сплошная линия) времени потери устойчивости цилиндрических оболочек от плотности мощности теплового потока.

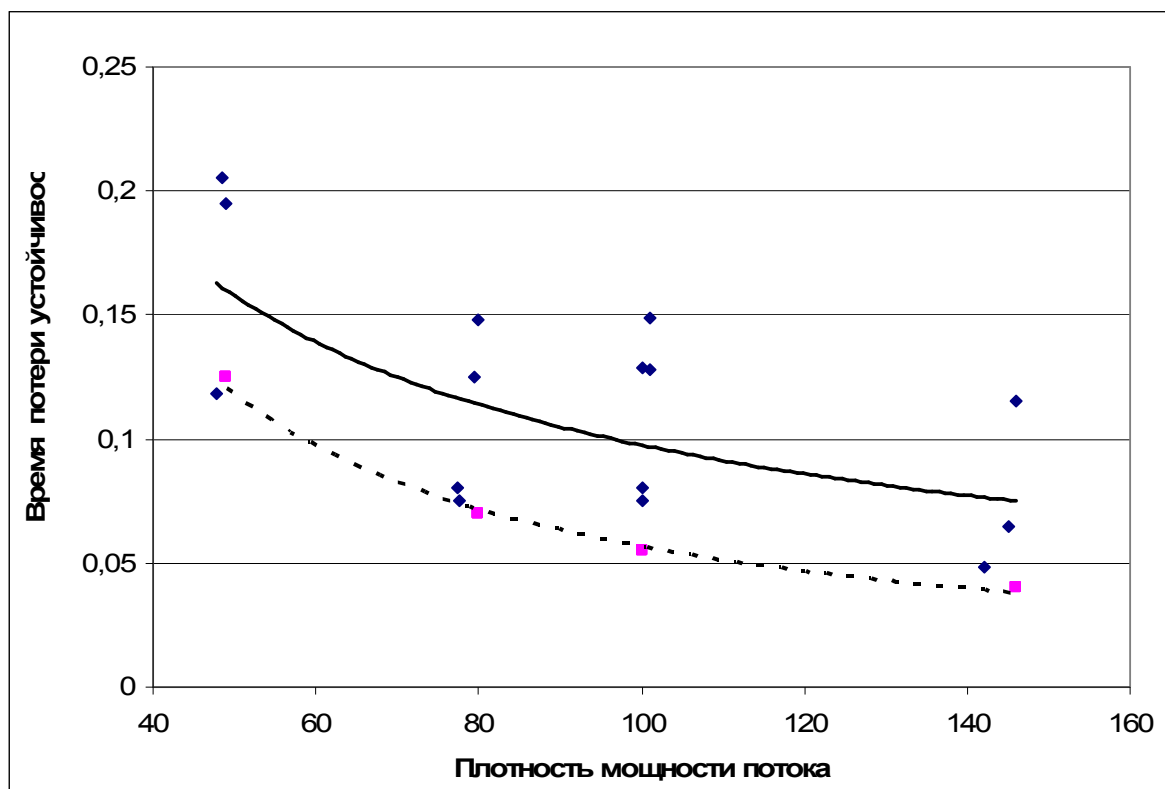


Рисунок 1 – Зависимость времени до потери устойчивости от плотности мощности теплового потока

Ниже графика полученной зависимости представлен график (пунктирная линия), найденный численным методом [6]. Сравнение вычисленных значений плотности мощности теплового потока по предложенной математической зависимости и значений, полученных численным методом [6] показало, что большая погрешность содержится методом [6]. В табл. 2 представлены погрешности в процентах двух подходов: настоящей работы и изложенной в работе [6].

Таблица 2. Погрешности в вычислении в процентах времени потери устойчивости цилиндрической оболочки под действием теплового потока

Плотность мощности	50	80	100	150
Погрешность настоящей работы	21	34	24	21
Погрешность работы [6]	39	57	56	38

Из таблицы следует предпочтительное применение подхода настоящей работы в оценивании времени до потери устойчивости цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении.

**Вывод.** В работе предложен подход получения по экспериментальным данным математической зависимости времени потери устойчивости от плотности мощности теплового потока, сжатой в осевом направлении цилиндрической оболочки. Зависимость позволяет снизить погрешность определяемого времени по сравнению с ранее используемым численным алгоритмом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы теории, конструкции и эксплуатации космических ЯЭУ / Куландин А.А., Тимашев С.В., Атамасов В.Д., Борзилов Б.М., Герасименко П.В., Сырцов Л.А., Сырцов Л.А. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
2. Устройство энергетических установок на основе ЭХГ / Тимашев С.В., Баканов В.В., Герасименко П.В. В книге: Основы теории, конструкции и эксплуатации энергетических и двигательных установок космических аппаратов с неядерными источниками энергии. Тимашев С.В., Лебедев Ю.Н., Сырцов Л.А., Тютюкин А.Е., Харламов Б.В., Чилин Ю.Н., Герасименко П.В., Баканов В.В., Черноглазов С.В. Под общей редакцией С.В. Тимашева. – Санкт-Петербург, 1992. – С. 86–110.
3. Герасименко П.В. Обобщение основных положений методологии оценивание риска. В книге: Инновационная экономика и промышленная политика региона (ЭКОПРОМ-2015) : Труды международной научно-практической конференции. / Под. ред. А.В. Бабкина. 2015, С. 665 – 671.
4. Герасименко П.В. Экспериментальное исследование потери устойчивости цилиндрической оболочки при ее комбинированном нагружении. / Герасименко П.В., Павутницкий Ю.В., Ведерников М.В. // Динамика и прочность тяжелых машин : Сборник научных трудов. – Днепропетровск : ДГУ, 1985. – С. 92–95.
2. Герасименко П.В. Установка для исследования термпрочности цилиндрических оболочек при комбинированном нагружении. / Герасименко П.В., Павутницкий Ю.В., Ведерников М.В. // Проблемы прочности. 1987. – №2. – С. 107-110.
3. Gerasimenko P.V. Method of orthogonal trial rum to solve equations of shell stability. // International Applied Mechanics. 1983. – Т. 19, № 4. – С. 332-336.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В МОРСКИХ ПОРТАХ

*Грешнов А.Ю., Двирная О.З.*

Национальный университет кораблестроения имени адмирала С.И. Макарова  
(Украина)

**Введение.** Необходимым и обязательным условием, в рамках развития информационных технологий, является информатизация измерительных систем, которые в силу своей структурной особенности, активно внедряются на территории портовых предприятий, чем значительно упрощают стандартные механизмы измерений и контроля, а также снижают влияние человеческого фактора в условиях постоянных внешних воздействий.

Фундаментальной особенностью современных информационно-измерительных систем (далее ИИС) является автоматизированное эффективное управление на всех этапах жизненного цикла высокотехнологических операций современных портов.

**Актуальность исследований.** К вопросу исследования основных аспектов развития структур информационно-измерительных систем на протяжении последних двух десятилетий подошли такие ученые как: М. Драшкович, А. В. Дорохов [1], В.П. Шевчук, О.В. Свиридова [2], В.П. Бочарников, И.В. Бочарников, С.В. Свешников [3], А. А. Большакова [4] и многие другие.

Однако, несмотря на масштабность литературных источников, вопрос исследования современного опыта развития ИИС в разных областях хозяйствования остается открытым и требует дополнительных разработок.

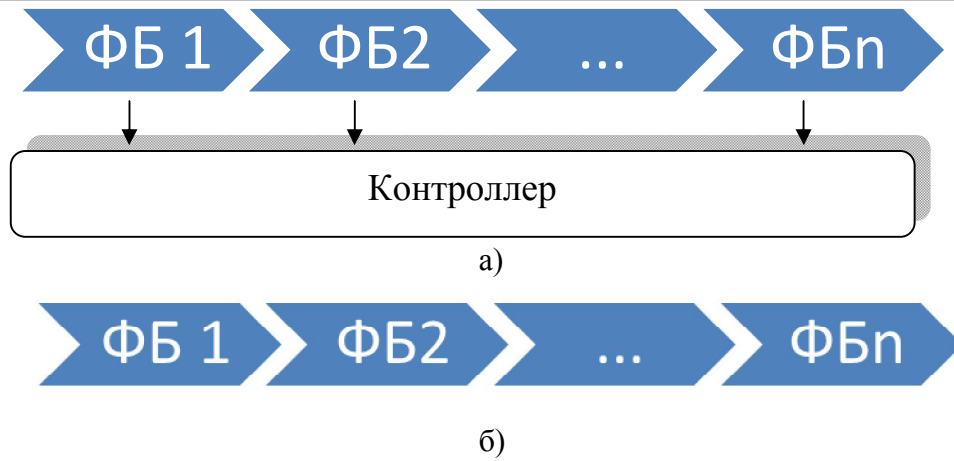
**Постановка задачи.** Проекты развития ИИС направлены на совершенствование существующей базы элементов управления, а также структурной функции воздействия, возникающей в рамках функционирования каждой отдельной информационно-измерительной системы. Проблематикой исследований, в данном направлении, является масштабность функциональной фазы управления, а также количество рассредоточенных объектов входящих в общую структуру ИИС.

**Результаты исследований.** ИИС представляют собой совокупность объединенных по функциональным параметрам измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств получения измерительной информации, а также непосредственного преобразования ее и обработки в целях предоставления потребителю в требуемом виде, либо в целях автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики, идентификации и т.д.

Передача данных между функциональными блоками ИИС с централизованным управлением осуществляется согласно механизмам, представленным на рис. 1 и 2.

Радиальная и цепочная структуры системы соединения функциональных узлов (рис. 1) отличаются способом передачи начального сигнала. Так радиальная структура системы (рис. 1а) предполагает передачу сигналов при помощи контроллера, который является необходимым и обязательным узлом системы.

Цепочная (рис. 1б) – выполняет передачу непосредственно между шинами функциональных блоков, при этом последние выполняют заданные операции над информационными сигналами.



ФБ – функциональный блок. а) радиальная структура; б) цепочная структура  
Рисунок 1 – Передача данных между функциональными блоками информационно-измерительных систем с централизованным управлением

Третьим видом структуры передачи данных между функциональными блоками ИИС с централизованным управлением является магистральная структура, которая имеет общую шину (магистраль) выступающую специализированным механизмом, обеспечивающим полную передачу данных. Такая модель все чаще используется на предприятиях, т.к. обладает интегрированной системой управления.

Тенденции развития современных информационно-измерительных систем, главным образом базируются на росте производительности труда за счет вытеснения человеческого потенциала машинами. На основании того, что приоритетным направлением современных информационных технологий в сфере автоматизации и интеллектуализации технических процессов, в том числе процессов измерений, является разработка новых и модернизация существующих информационно-измерительных систем.

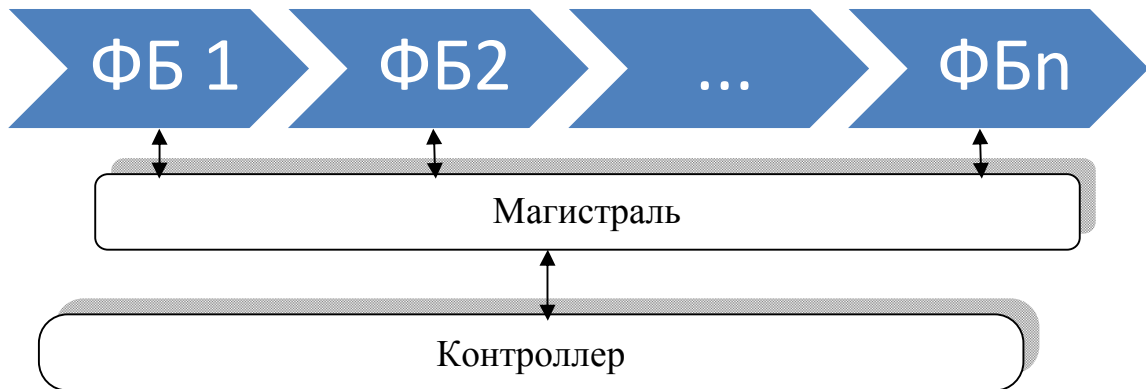


Рисунок 2 – Передача данных между функциональными блоками информационно-измерительных систем с централизованным управлением

В отличие от систем автоматического управления (далее САУ) ИИС обладает более широким функционалом и имеет возможность на выходе получать данные, которые могут использоваться для принятия решения в САУ. Схематически система управления взаимодействует с объектом согласно схеме представленной на рис. 3.



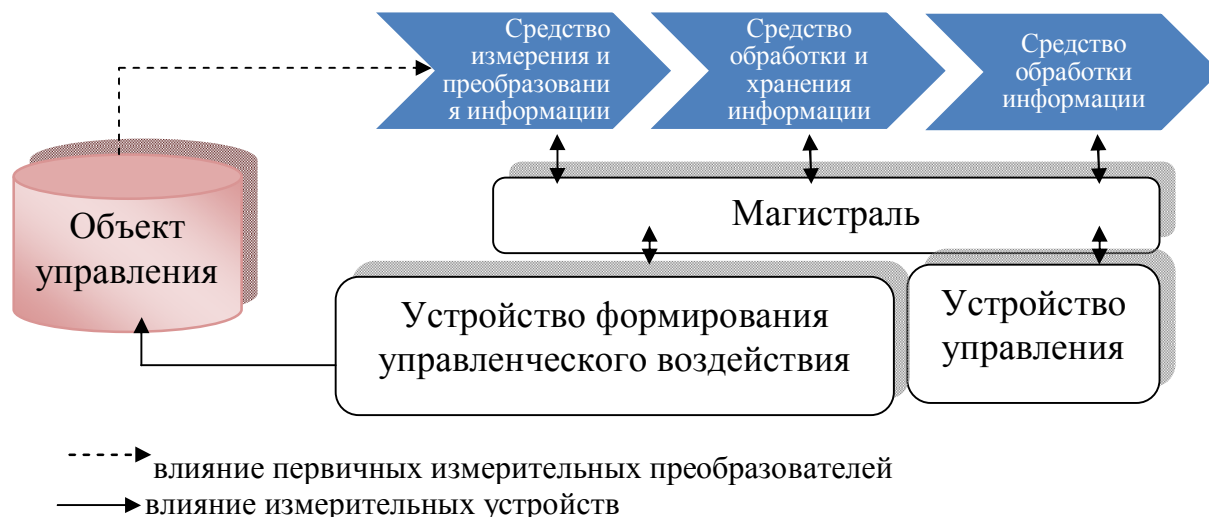


Рисунок 3 – Схема взаимодействия системы управления с объектом управления информационно-измерительных систем

С точки зрения проектной конструкции, с учетом динамики развития ИИС и процессов интеграции в рамках современных предприятий данное взаимодействие является крайне важным фактором, учитывая индивидуальность подхода к каждой отдельной ИИС, а также их многочисленных особенностей и конструктивных исполнений. Интеграционное направление основывается, прежде всего, на потребности портового хозяйства и элеваторной промышленности. Отдельным направлением является информационное развитие морских портов исходя из объемов хранимой и транспортируемой продукции, а также индивидуальных подходов к хранению каждого вида экспортируемого товара.

**Выводы.** Современная информационно-измерительная система основывается на сложном механизме управления, объектами которой служат функциональные блоки объединенные по функциональным параметрам измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств получения измерительной информации, а также ее преобразования вывода в формате понятном пользователю. Интеграционное направление, с точки зрения проектной конструкции, с учетом динамики развития ИИС и процессов интеграции в рамках современных промышленных предприятий основывается на внедрении обратной связи, которая даст возможность масштабировать основные функции управления в рамках системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Драшкович М. Направления и примеры применения информационных технологий в интегрированной логистике морских портов / М. Драшкович, А. В. Дорохов // Системи обробки інформації. – 2010. – Вип. 6. – С. 233-239. – Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi\\_2010\\_6\\_53](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2010_6_53).
2. Шевчук В.П. Выбор математической модели измерительной информации в управляющих системах / В.П. Шевчук, О.В. Свиридова // Научное обозрение. – 2010. – № 2. – С. 22-25.
3. Бочарников В.П., Бочарников И.В., Свешников С.В. Основы системного анализа и управления организациями. Теория и практика. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 226 с.
4. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под ред. проф. А. А. Большакова. М.: Горячая линия-Телеком, 2016. – 160 с.

## ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Грицук І.В.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(Україна);*

**Панченко С.В., Каграманян А.О.**

*Український державний університет залізничного транспорту  
(м. Харків, Україна);*

**Грицук Ю.В.**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури  
(м. Краматорськ, Україна);*

**Волков Ю.В.**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(Україна)*

**Вступ.** Сучасні бортові системи і комплекси моніторингу параметрів технічного стану в умовах інтелектуальних транспортних систем (ITS) дозволяють здійснювати ідентифікацію транспортних засобів (ТЗ), безперервне автоматичне вимірювання параметрів, що характеризують технічний стан ТЗ, діагностування, а саме контроль справності ТЗ і його складових елементів, розпізнавання і запобігання розвитку відмов у його роботі і в кінцевому рахунку – забезпечення функціонування системи технічного обслуговування (ТО) і ремонту ТЗ за технічним станом [1-4]. Означені системи являють собою складний комплекс бортових і стаціонарних технічних та програмних засобів, які повинні бути об'єднані за допомогою навігаційно-зв'язкових і діагностичних блоків системи керування, що технологічно пов'язані з розгалуженою мережею штатних і додаткових датчиків контролю технічного стану окремих вузлів і систем ТЗ. При цьому, системна взаємодія бортового комплексу моніторингу технічного стану ТЗ, ідентифікації і діагностування повинна здійснюватись в рамках єдиної ідеології мобільної інформаційно-діагностичної системи ТЗ [1-5].

**Актуальність досліджень.** Для здійснення моніторингу і ідентифікації ТЗ, у складі бортового інформаційного комплексу, доцільно визначити, узагальнити наявні відомості, а також створити алгоритм, що використовує інформаційний обмін в процесі дистанційного моніторингу і ідентифікації ТЗ, що працюють в умовах ITS.

**Постановка задачі.** Завдання проведення дистанційної ідентифікації транспортного засобу в умовах ITS може бути вирішено використанням програмно-діагностичного комплексу, для чого необхідно обґрунтувати особливості, функції і зв'язки основних елементів для здійснення інформаційного обміну при виконанні моніторингу і ідентифікації транспортних засобів на всіх етапах виконання робіт у відповідності до розробленого алгоритму в системі забезпечення життєвого циклу.

**Результати досліджень.** Початковим етапом роботи інформаційної моделі ПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» є отримання даних про ТЗ в процесі його ідентифікації. Крім цього, одночасно відбувається ідентифікація і самого діагностичного (ідентифікаційного) обладнання. Важливість даного етапу інформаційної моделі ПК пояснюється якістю розпізнавання обладнання, що необхідно для ідентифікації і самого ТЗ [6 - 8], для параметрів технічного стану якого можливо здійснювати прогнозування.

Ідентифікацію ТЗ в системах дистанційного моніторингу можливо проводити за VIN-кодом (Vehicle Identification Number) або ідентифікаційним номером ТЗ [8]. VIN-код це оригінальний код ТЗ, що складається з комбінації сімнадцяти (цифрових і літерних) знаків, яка властива тільки одному ТЗ, та є обов'язковим елементом маркування і індивідуальності кожного ТЗ (на протязі 30 років) [9]. Єдиних світових стандартів для

складання ідентифікаційного номера для ТЗ немає і кожен виробник може формувати захисний код довільно, але при експорті продукції прийнято дотримуватися певних стандартів. За основу взяті стандарти, що діють в 24 країнах, що є членами Міжнародної організації стандартів ISO. Розшифровування VIN-коду можливо проводити вручну, або використовуючи для цього VIN-декодер – спеціальну програму, або використовуючи послуги сервісів, що пропонуються в Інтернеті [10], за допомогою гаджетів тестових систем з бездротовим пристроєм зв'язку на борту ТЗ, які отримують необхідну інформацію за допомогою бортових систем моніторингу технічного стану ТЗ через OBD-сканер (ТЗ після 2004 р. випуску). VIN містить інформацію про виробника ТЗ, сам ТЗ і рік його випуску і, тому, є простим і надійним способом ідентифікації автомобіля та захисту його від угону. Сучасна структура VIN заснована на спільній дії стандартів ISO 3779-1983 - Road vehicles. Vehicle identification number (VIN). Content and structure «Дорожні транспортні засоби. Ідентифікаційний номер транспортного засобу. Зміст і структура» та ISO 3780-1983 - Roadvehicles. Worldmanufactureridentifier (WMI) code. «Дорожні транспортні засоби. Ідентифікаційний номер світового виробника», прийнятих Міжнародною організацією по стандартизації ISO відповідно в 1979 і 1980 роках. Сумісні, але з деякими відмінностями, версії цих стандартів були прийняті Європейським союзом і Сполученими Штатами Америки [8 - 10]. З 1981 року VIN складається з 17 символів, букв латинського алфавіту і цифр, які не включають в себе букви I(i), O(o) та Q(q) (щоб усунути непорозуміння з цифрами) [8 - 10]. VIN ТЗ складається з трьох частин: WMI, VDI і VIS, де WMI (World Manufacturers Identification) - загальносвітовий індекс виготовлювача; VDS (Vehicle Description Section) - описова частина; VIS (Vehicle Identification Section) - відмітна частина. Детальний опис процесу ідентифікації ТЗ, розшифровування VIN-коду ТЗ описані в [6]. На рис. 1 показаний алгоритм ідентифікації ТЗ в межах ІПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» в умовах ITS.

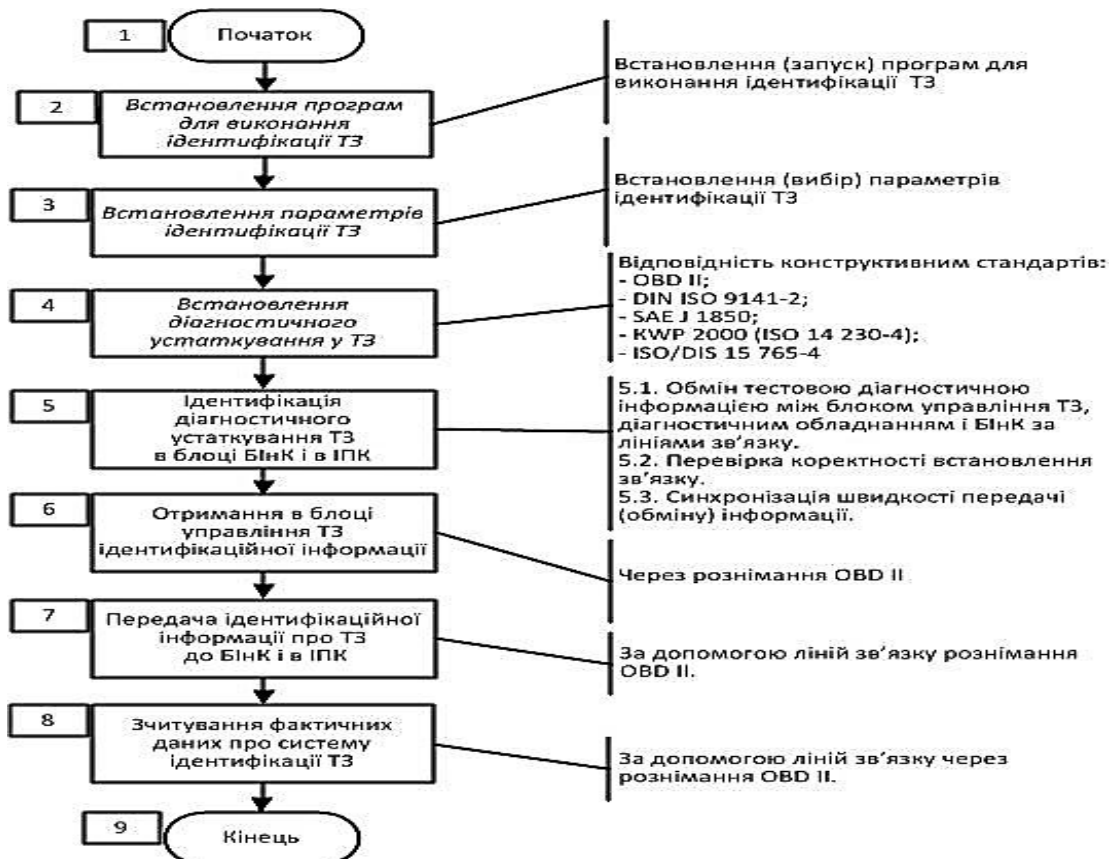


Рисунок 1 – Алгоритм ідентифікації ТЗ в межах ІПК «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» в умовах ITS

Для забезпечення дії розробленого алгоритму (блок 1) на початку роботи потрібно в блоці 2 встановити (запустити) програми діагностування стану ТЗ в бортове обладнання забезпечення моніторингу і діагностування стану ТЗ. Після цього в блоці 3 проводиться встановлення (вибір) параметрів моніторингу і діагностування технічного стану ТЗ. На наступному кроці алгоритму, в блоці 4, відбувається встановлення діагностичного устаткування в ТЗ. Для з'єднання ТЗ і діагностичного обладнання необхідно сполучити діагностичне обладнання або засіб моніторингу та рознімання OBD ТЗ. Використовуючи перехідник для OBD II, здійснюється під'єднання через клеми 7 і 15 або 2 і 10 діагностичного рознімання тільки до блоку управління системи випуску ВГ (приготування паливної суміші і запалення) ТЗ. Деякі автовиробники виводять на ці клеми також дроти К і L інших блоків управління. Автовиробник може розташувати дроти К і L інших блоків управління (наприклад, системи АБС, коробки передач, надувної подушки безпеки і т. д.) в розніманні на свій розсуд (наприклад, вивести їх на клеми 1, 8, 9, 13). Кінці перехідникової коробки вставляються у гнізда, в які вставляються роз'єми універсального кабелю. Клеми 3, 11 і 12 також не задіяні при діагностиці автомобіля. На цих клеммах робочий контур OBD II-DV визначає шину автомобіля (шина є проводкою, до якої можуть підключатися різні блоки управління). У цьому робочому контурі, як європейські автовиробники, так і виробники тих, що комплектують заміщають один одного. Діагностичні рознімання можуть бути встановлені на автомобілях, не обладнаних блоками управління з можливістю діагностування. Наявність діагностичного рознімання на автомобілі, таким чином, не може гарантувати можливість діагностування транспортного засобу, використовуючи спеціальне програмне забезпечення.

На цьому ж етапі дії алгоритму, у блоці 4, відбувається забезпечення зв'язку між блоком керування ТЗ і діагностичним (скануючим пристроєм) у відповідності до стандарту ISO 9141-2. Цей стандарт, який узгоджується з американським стандартом OBD II, закріплює правила здійснення зв'язку між блоками управління автомобіля і діагностичним устаткуванням. Стандартом ISO 9141-2 визначено порядок здійснення контролю, перевірки, налаштування систем автомобіля з можливістю самодіагностування. Стандарт ISO 9141-2 відрізняється тільки способом здійснення зв'язку. У стандарті OBD II також встановлений порядок здійснення зв'язку за стандартом ISO 9141-2 як альтернатива стандарту SAE J 1850. Тим часом, також допускається до застосування стандарт KWP 2000 (ISO 14 230-4). Для стандартів OBD II і EOBD в даний час діють наступні способи передачі інформації: за стандартом ISO 9141-2 [11, 12]: застосовується європейськими автовиробниками; з низькою швидкістю (5 бод); за стандартом ISO 14 230-4 (KWP 2000): застосовується європейськими автовиробниками; можливо з високою і низькою швидкістю; за стандартом SAE J 1850 (американські автовиробники); за стандартом ISO/DIS 15 765-4: діагностування бортового контролера зв'язку CAN та систем випуску відпрацьованих газів.

У блоці 5 відбувається ідентифікація (ініціалізація) діагностичного устаткування ТЗ в блоці бортового інформаційного комплексу (БІНК) моніторингу і діагностування в ПК через лінії зв'язку. При діагностиці блоків управління використовуються різні варіанти ідентифікації (ініціалізації) діагностичного устаткування. Вони описані у відповідних стандартах. Ініціалізація здійснюється через діагностичне устаткування, наприклад через 5-ти бодовий генератор адресації (стандарт ISO 9141-2). Ініціалізація при встановленні зв'язку між діагностичним приладом і блоком управління систем, пов'язаних з утворенням ВГ (запалення, сумішоутворення), здійснюється через передачу адреси 33H (де H-гексадецимальна система) із швидкістю 5 біт/с. Потім діагностичний прилад отримує від блоку підтвердження на ініціалізацію. Він складається зі зразка синхронізації за швидкістю бод [11, 12] і двох ключових слів. Для перевірки коректності встановленого зв'язку діагностичний прилад відправляє друге закодоване слово, записане у зворотному порядку (замість логічного елементу «0» пишеться «1» і навпаки). Після цього блок управління відправляє записану у зворотному порядку адресу 33H. Зразок

синхронізації за швидкістю бод: вона складається із записаних чотири рази в одному ряду логічних рівнів «1» і «0» (прямокутний сигнал). Ці 8 біт інформації починаються і закінчуються стартовим і кінцевим бітом відповідно. Вона закінчується логічним елементом «1». Цей процес може тривати мінімум 2 мс або стільки, скільки потрібно для передачі одного біта зразка синхронізації, залежно від того, який біт довший. Зразок синхронізації швидкості передачі даних дозволяє «встановити контакт» між діагностичним приладом і блоком управління.

При виконанні робіт у блоках 4–5 потрібно виходити з того, що описаний у стандарті ISO 15 031-4 діагностичний прилад повинен автоматично розпізнавати тип обміну інформацією з системою управління двигуном, що перевіряється. Крім того, діагностичний прилад повинен: відобразити оригінальний VIN-код ТЗ або ідентифікаційний номер ТЗ, відобразити додаткову інформацію про ТЗ в процесі його ідентифікації. В блоці 6 відбувається зчитування з блоку керування ТЗ через рознімання OBD II ідентифікаційної інформації про ТЗ, що задіяний у моніторингу технічного стану. В блоці 7 відбувається передача ідентифікаційної інформації про ТЗ, що задіяний у моніторингу технічного стану, до БІнК і в ІПК за допомогою ліній зв'язку ТЗ (системи моніторингу) через рознімання OBD II [11]. В блоці 8 відбувається зчитування фактичних даних про систему ідентифікації ТЗ за допомогою ліній зв'язку [11] ТЗ (системи моніторингу) через рознімання OBD II.

**Висновки.** Виконано складання і детально описаний алгоритм проведення дистанційної ідентифікації транспортних засобів в процесах експлуатації в умовах ITS у складі бортового інформаційного комплексу за допомогою VIN-коду транспортного засобу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Волков В.П. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В.П. Волков, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – 2014. – Вип. 30. – С. 51–62.
2. Ахмедов Т.Н. Основы системы контроля состояния транспортного средства в процессе выполнения перевозок / Т.Н. Ахмедов, С.В. Жанказиев, А.Е. Финкель / Научные аспекты развития транспортно-телематических систем - М.: МАДИ, 2010 - с. 138 – 164.
3. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем. Монография / Под редакцией Волкова В.П. / Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., Комов П.Б., Грицук И.В., Волков Ю.В., Комов Е.А. // Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013.– 398с.
4. Ахмедов Т.Н. Принципы определения статусов неисправностей в телематической системе контроля технического состояния автомобиля в реальном времени / Т.Н. Ахмедов / Научные аспекты развития транспортно-телематических систем - М.: МАДИ, 2010 - с. 165 – 180.
5. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В.П. Волков, В.П. Матейчик, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29 (1002). с.138-144.
6. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту: монографія / [В.П. Волков, В.П. Матейчик, П.Б. Комов, І.В. Грицук, М. Смешек, Т.В. Волкова, М.П. Цюман]. - Харків: Вид-во НТМТ, 2015. – 246 с.
7. Власов В. М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В. М. Власов, А. Б. Николаев, А. В. Постолит, В. М. Приходько; под общ. ред. В. М. Приходько // МАДИ (Гос. техн. ун-т). – М.: Наука, 2006. - 283 с.

8. Что означает идентификационный номер автомобиля / АвтоМотоСпец [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://avtomotospec.ru/raznoe/chto-takoe-vin-kod-ili-identifikacionnyj-nomer-avtomobilya.html>

9. Как читать VIN-код автомобиля / Автопортал [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://autoportal.ua/articles/encyclopaedia/21797.html>

10. CAR-VIN Все о ВИН кодах. VIN [Vehicle Identification Number] Вин-код [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.car-vin.ru/probit-vin/106-probit-vin>.

11. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобіля: навч. посіб. / О.Ф.Дашенко, В.Г.Максимов, О.Н.Ніцевич [та ін.]; за ред. М.Б.Копитчука. – О.: Наука і техніка, 2012. – 392 с.

12. Хендерсон Б. ОВД-II и электронные системы управления двигателем. Руководство / Б.Хендерсон, Дж. Хейнес // СПб.: Алфамер Паблишинг, 2011 – 248с.

## ФОРМУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ АВІАЦІЙНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ДВИГУНОВОМУ РЕЖИМІ

Єнчев С.В.

Національний авіаційний університет

(м. Київ, Україна)

**Вступ.** Для реалізації задачі з дослідження режимів роботи авіаційного генератора необхідно скласти комп'ютерну модель пуску синхронного двигуна. Синхронні машини мають складний математичний опис, який являє собою систему диференціальних рівнянь [1]. Для виконання цієї задачі був обраний пакет програм MatLab.

Актуальність дослідження та постановка завдання. Він призначений для аналітичного та чисельно вирішення різних математичних задач, а також для моделювання електротехнічних та електромеханічних систем, що стало доступним завдяки додаткам Simulink. Simulink працює з лінійними, нелінійними, неперервними, дискретними, багатовимірними системами. Набір стандартних блоків Simulink достатньо об'ємний, однак в практиці моделювання зустрічаються ситуації, коли потрібного блоку немає, або структурне моделювання робить модель занадто складною. В таких випадках є необхідним встановлення додаткових бібліотек. Однією з них є SimPowerSystem.

Бібліотека SimPowerSystems містить набір блоків для імітаційного моделювання електротехнічних пристроїв. В склад бібліотеки входять моделі пасивних і активних електротехнічних елементів, джерел електроенергії електродвигунів, трансформаторів, ліній електропередач і іншого обладнання.

Методика створенні моделі SimPowerSystems нічим не відрізняється від створенні моделі на основі базових бібліотек. Потрібно так само виконати розстановку блоків на схемі, задати їх параметри, з'єднати блоки і встановити параметри розрахунку моделі в цілому. Проте такі моделі мають і ряд відмінностей [19]:

1. Входи і виходи SPS-блоків, на відміну від блоків Simulink, не показують напрям передачі сигналу, оскільки фактично є еквівалентом електричних контактів. Таким чином, струм може через вхід або вихід блоку протікати в обох напрямках.

2. SPS-блоки і блоки Simulink не можна напряму з'єднати один з одним. Їх можна передавати або через управляемі джерела струму (напруги) або через вимірювачі струму (напруги)

3. На схемі повинен бути присутній хоча б один вимірювальний блок. Це пов'язано з особливостями перетворення SPS моделі в еквівалентну модель Simulink.

Серед переваг даної бібліотеки можна виділити дві основні. По-перше, вона дозволяє моделювати складні електротехнічні системи, поєднуючи методи імітаційного і структурного моделювання. Другою її перевагою є можливість створення власних блоків, за відсутності потрібних у стандартній бібліотеці. В бібліотеці Powerlib даного програмного продукту є готові моделі синхронних машин у вигляді окремих блоків.

Розробка комп'ютерної моделі синхронного генератора в двигуновому режимі. Для моделювання процесу запуску двигуна була складена схема [3], що зображена на рис 1.

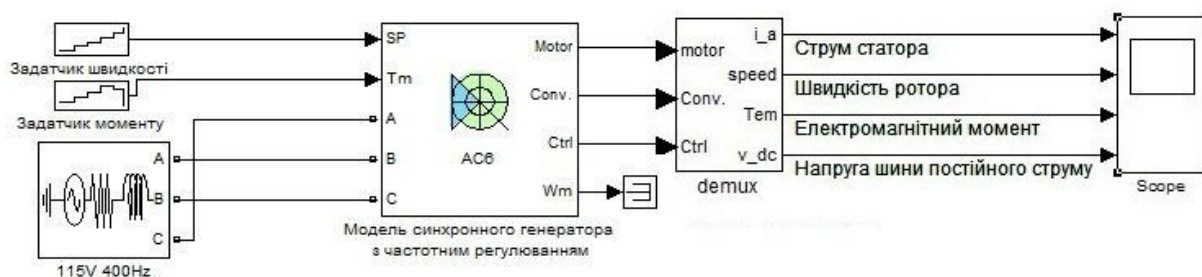


Рисунок 1 - Модель синхронного електроприводу з частотним регулюванням

Математичну модель можна орієнтовно розділити на 3 частини: блоки управління, блоки перетворювачів і власне модель двигуна. Блок джерела електроенергії вибираємо з підрозділу Electrical Sources бібліотеки SimPowerSystems. Він моделює трифазне джерело електроенергії. У нього задаються параметри мережі живлення: частота  $f=400$  Гц, та фазна напруга  $U=115$  В. Розглянемо детальніше модель синхронного двигуна з частотним регулюванням [4].

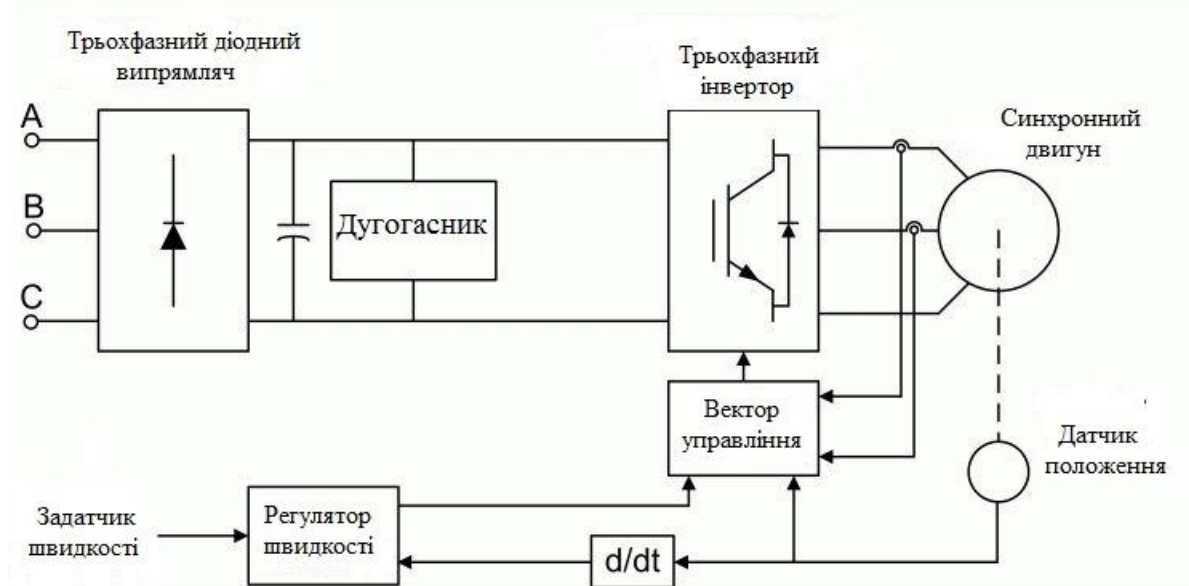


Рисунок 2 - Функціональна схема MatLab синхронного двигуна з частотним регулюванням

Програмний продукт MatLab має вбудовану модель синхронного двигуна з частотним регулюванням, розроблену за допомогою Simulink. Розглянемо детальніше її структуру.

З джерела живлення змінна напруга потрапляє на випрямляч. Потім постійний струм потрапляє на перетворювач струму і на інвертор, в якому він знову перетворюється в постійний і живить сам синхронний двигун. В цей час з датчиків швидкості і моменту сигнал потрапляє на контролер швидкості, туди ж приходить сигнал зворотного зв'язку з механічної частини двигуна. Після всіх операцій сигнал з контролера швидкості формує управляючий вектор та потрапляє на вимірювач параметрів двигуна, де він опрацьовується і видає остаточне значення швидкості обертання двигуна [5].

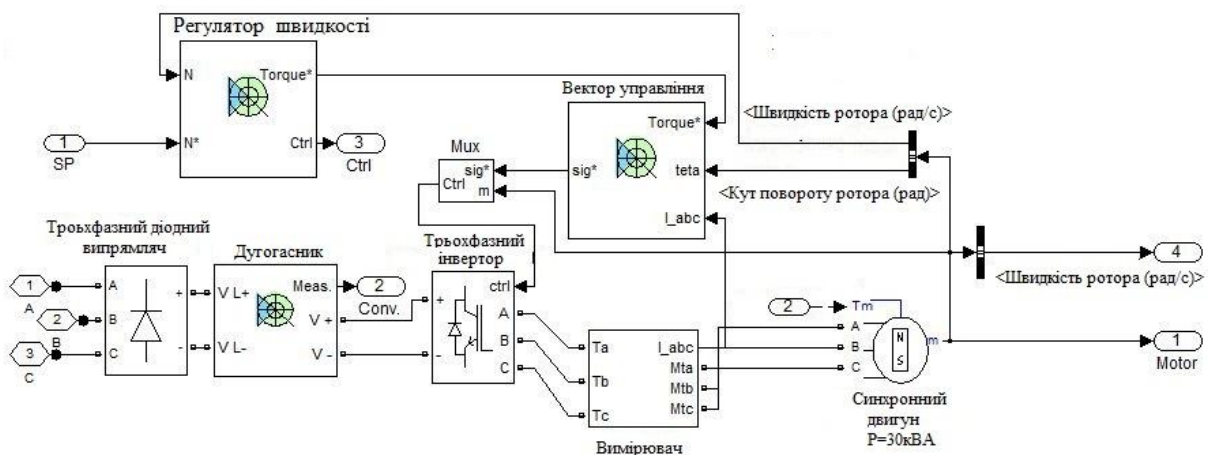


Рисунок 3 - Структура моделі Simulink синхронного двигуна з частотним регулюванням



**Результати моделювання.** В даному діалоговому вікні задаються усі необхідні параметри двигуна, які є в паспортних даних або були попередньо розраховані. В табл. описані всі входи і виходи даного блоку [6].

Після проведення настройки всіх блоків, вводимо параметри моделювання (час моделювання  $T=65$  с, крок дискретизації  $T_s=7,5e-005$  с) і запускаємо моделювання [6]. На рис. 4 зображено графіки, що були отримані в результаті моделювання. На першому зображена залежність струму стартера у різні моменти часу.

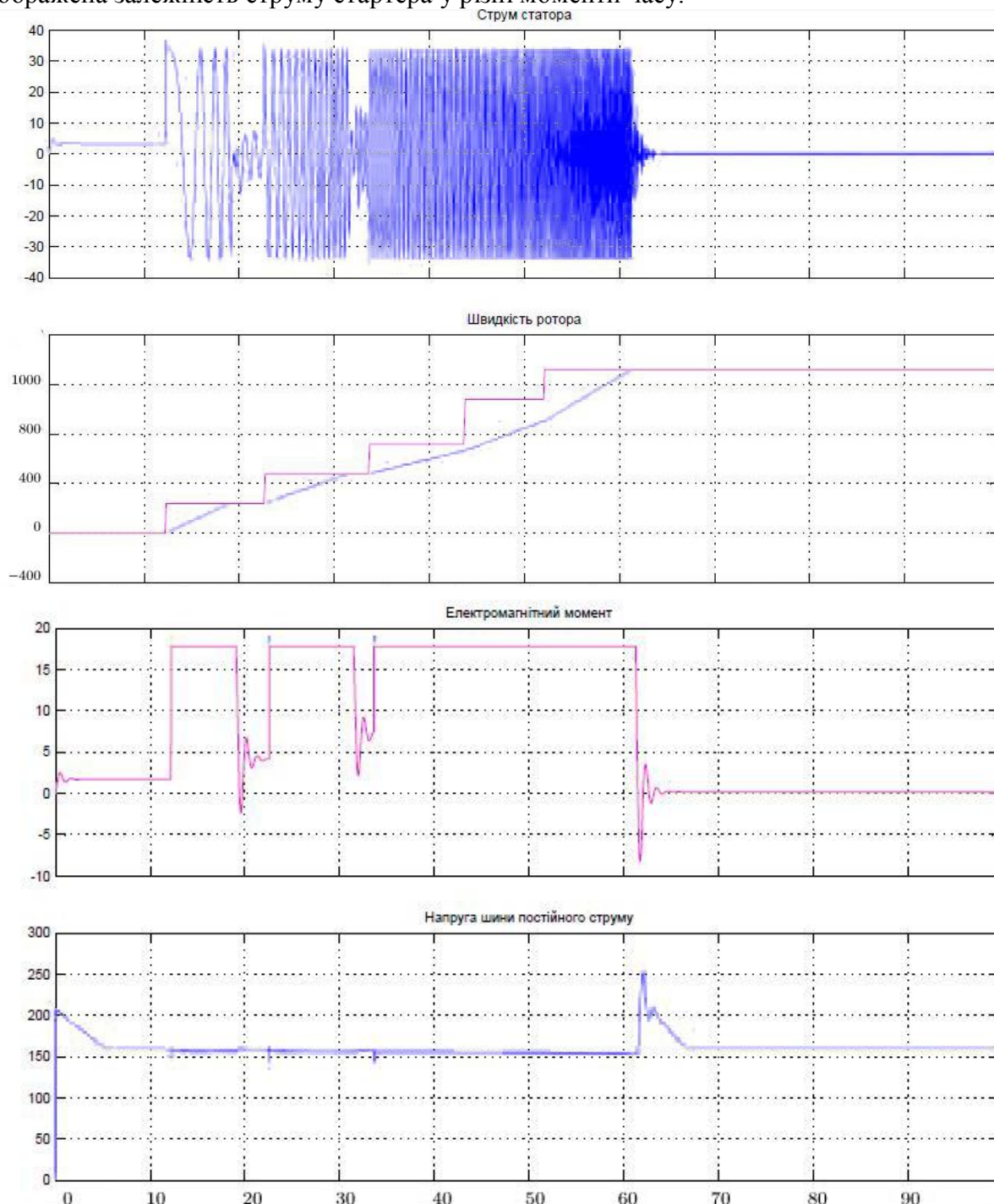


Рисунок 4 - Графіки залежності струму стартера, швидкості ротора, електромагнітного моменту та напруги шини постійного струму від часу обертання

Таблиця 1 - Опис функціональних входів та виходів блоку синхронного двигуна

<b>Назва входу/виходу</b>	<b>Опис входу/виходу</b>
SP	Задатчик швидкості або моменту. Швидкість уставки може бути кроковою функцією. Якщо моменти навантаження і швидкості мають протилежні знаки, момент прискорення буде сумою електромагнітних моментів і моментів навантаження
Tm або Wm	Механічний вхід: момент навантаження (Tm) або швидкість двигуна (Wm)
A, B, C	Три фазних клеми приводу двигуна
Wm або Te	Механічний вихід: швидкість двигуна (Wm) або електромагнітний момент (Ti)
Motor	Вектор вимірювання параметрів двигуна
Conv	Вектор вимірювання трифазного перетворювача. Цей вектор містить: напругу шини постійного струму; вихідний струм випрямляча; вхідний струм інвертора
Ctrl	Вектор вимірювання параметрів контролера. Цей вектор містить: задаючий момент; похибку швидкості (різниця між задаючою швидкістю і фактичною швидкістю); крутний момент

Другий графік характеризує зміну швидкості обертання ротора в залежності від часу моделювання. На ньому видно, що двигун виходить на необхідну швидкість обертання (1155 рад/с) за 61 секунду, що майже співпадає зі значеннями, отриманими при розрахунках.

На третьому та четвертому графіках показані відповідно залежності електромагнітного моменту та напруги шини постійного струму від часу моделювання.

Висновки. В результаті роботи над створенням комп'ютерної моделі була створена модель функціонального рівня системи синхронний двигун з частотним регулюванням. Проведене комп'ютерне моделювання показало можливість запуску двигуна в необхідний час зі вказаними параметрами. Наступним кроком є розробка системи імпульсно-фазового керування, яка буде опрацьовувати розраховані параметри двигуна та керувати процесом його запуску та зупинки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГрАТ-4000 // Наука в центральной России. – Москва, 2012. – С.150.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.
3. С.-М. Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery Using Matlab™ / Simulink. Prentice-Hall, Inc., 1998. – pp. 39.
4. Z. Spoljaric, K. Miklosevic, Z. Valter. Analysis of Synchronous Motor Drive using SimPowerSystems, DAAAM International, Vienna, Austria. – pp. 1133-1135.
5. Zh. Li, Y. Yang, X. Simulation and Analysis of the Third-order Model of Synchronous Generator Based on MFC, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Changchun, China. – pp. 452.
6. Jie Chen, Thomas Wu, Jay Vaidya. Nonlinear Electrical Simulation of High-Power Synchronous Generator System//2006 SAE Power Systems Conference. – pp. 141.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ РОЗВАНТАЖЕННЯ СУДЕН-КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ

*Журавська І.М., Кулаковська І.В., Мусієнко М.П.*  
Чорноморський національний університет імені Петра Могили  
(м. Миколаїв, Україна)

**Вступ.** У перевезенні великогабаритного вантажу можна підкреслити чимало проблем. Серед них ручний паперовий облік контейнерів зміни позиції контейнерів, обов'язкове забезпечення необхідної остійності судна, а також велика вартість простою у портах [1].

На теперішній час у капітана контейнеровозу під час розвантаження/завантаження судна немає поточної інформації про кількість розвантажених/завантажених контейнерів; такий звіт він отримує від тальмана тільки наприкінці зміни.

**Метою роботи** є розробка структури локальної бездротової обчислювальної мережі контейнеровозу та мобільного додатку для автоматизації обліку розвантаження і завантаження контейнеровозів. Зазначений мобільний додаток через Wi-Fi мережу, яка зв'язує планшет/ноутбук або інший пристрій капітана з пристроями-реєстраторами, розташованими на верхніх контейнерах ярусів контейнеровозі, надає інформацію про стан завантаженості секцій контейнеровозу у реальному часі та відображає таку інформацію на вантажному плані [2].

Зазначений пристрій у капітана повинен приймати дані по мережі Wi-Fi від великої кількості пристроїв-реєстраторів, розміщених на судні та поєднаних у локальну мережу (рис. 1).

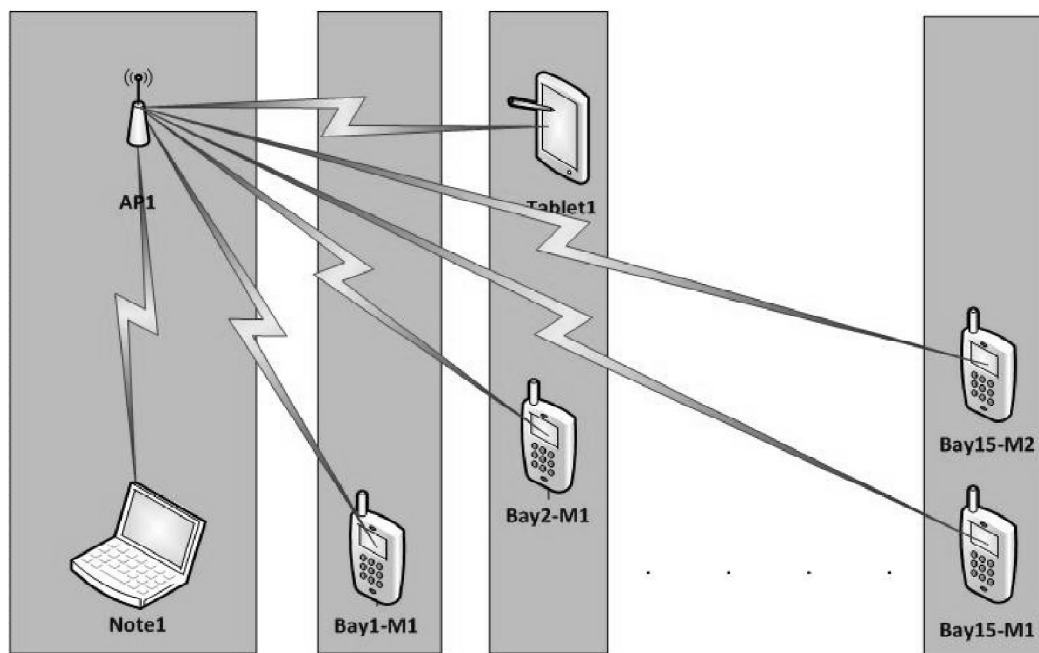


Рисунок 1 – Структурна схема локальної Wi-Fi- мережі контейнеровозу

На кожній секції контейнеровозу між палубою і причалом пропонується розмістити мобільний пристрій на ОС Android, який реєструє контейнер, коли стріла портокрану переносити його над фотокамерою девайсу (рис. 2).

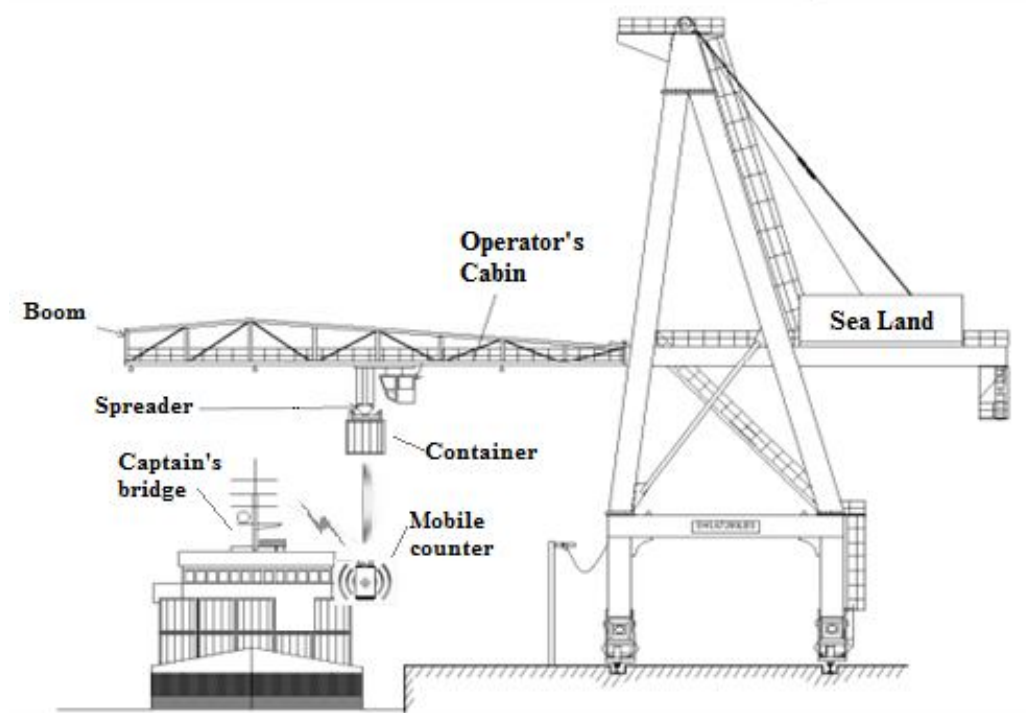


Рисунок 2 – Переміщення контейнеру портокраном над реєстратором

При переміщенні портокраном контейнеру із пристроєм за межі судна, за розташування нових реєстраторів відповідатиме квадрокоптер, який переносить їх у позиції, необхідні для продовження визначення руху контейнерів на відповідних секціях (беях) (рис. 3). Слід підкреслити, що дрон переміщується виключно над судном, не заходячи на територію порту (це заборонено!), що узгоджується зі стивідорною компанією, яка обслуговує корабель у цьому порті.

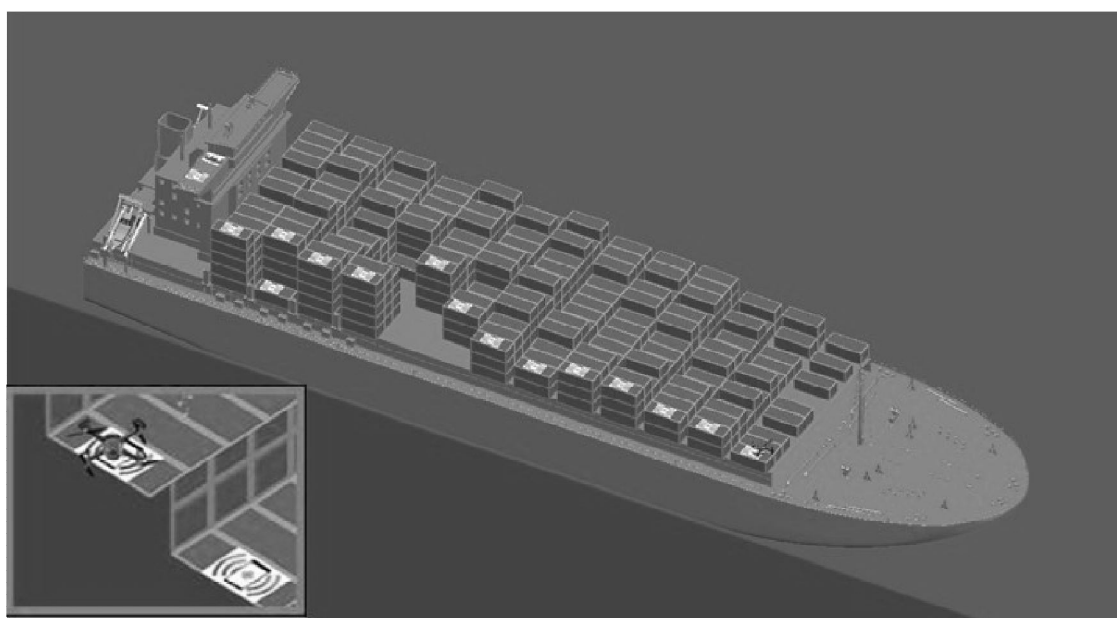


Рисунок 3 – Загальний вигляд судна-контейнеровоза з WiFi-реєстраторами

Розроблена система на базі ОС Android допоможе оцінювати часові рамки, необхідні для закінчення процесу завантаження/розвантаження, та приймати рішення щодо корегування крену та диференту судна.

Значення лічильника кадрів одразу після зміни стану пристрою, тобто фіксації руху, передається через локальну WiFi-мережу судна на пристрій капітана, де

відображається зменшення кількості контейнерів у відповідній секції (рис. 4). Коли мобільний пристрій разом з контейнером, на якому він розміщений, забирається портокраном, квадрокоптер приносить новий пристрій на найближчий до причалу контейнер на секцію, де розташовувався попередній контейнер (рис. 3).

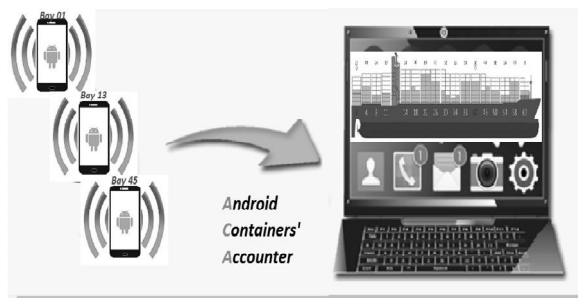


Рисунок 4 – Загальний вигляд графічного інтерфейсу на пристрої капітана

Дрон переміщується виключно над судном, не заходячи на територію порту, що узгоджується зі стивідорною компанією, яка обслуговує судно-контейнеровоз у цьому порту. Працездатність та завантаженість облікової WiFi-мережі контейнеровозу була оцінена шляхом математичного моделювання зазначеної мережі за допомогою зв'язного графу.

Для бездротових самоорганізованих мереж, до яких можна віднести й мережу контейнеровозів, часто використовується математична модель невизначеності структури мережі як випадковий граф [3]. У цьому разі оцінюються теоретико-ймовірнісні характеристики потоків у випадкових графах.

Первинні процеси  $w_i$  (проходження контейнера над вузлом-реєстратором) породжують потоки дублюючих повідомлень, кожне передане повідомлення в мережі йде через цільовий вузол обробки. При надходженні повідомлення до цільового вузла, воно обробляється протягом часу  $\sigma_i$  з функцією розподілу ймовірностей  $R_i(x)$  (через перевантаження центрального вузла і створення черги FIFO).

Сумарно первинні процеси утворюють багатовимірний (розподілений по вузлах мережі) випадковий процес  $W$  з кінцевим числом подій. Цей процес не визначається однозначно тільки множиною первинних процесів  $\{w_i\}$ . Він залежить також від алгоритму  $R$  маршрутизації. Використовується оптимальна маршрутизація, заснована на прогнозі часів очікування та обробки повідомлення від вузла-джерела до цільового вузла. Основними завданнями аналізу є вивчення таких характеристик розподіленого випадкового процесу  $W$ :

- 1) час  $\alpha$  відповіді на повідомлення від моменту генерації вузлом-джерелом до моменту одержання його цільовим вузлом);
- 2) час  $\beta$  обробки потоку дублюючих повідомлень (від генерації першого повідомлення до отримання останнє повідомлення з одної секції);
- 3) відношення числа повідомлень у процесі  $W$  до загальної можливості надходження подій в первинних процесах  $\{w_i\}$ .

Обчислювалися функції розподілу ймовірностей, при наведених умовах (1):

$$RM(x) = P\{\alpha \leq x\} \text{ та } RS(x) = P\{\beta \leq x\} \quad (1)$$

для кількості вузлів в мережі  $n = 1 \dots 20$ .

Була вирішена задача маршрутизації повідомлень у системі складної структури, заснованої на ефективному виконанні всіх процесів, які протікають в цій системі. Стан системи визначається величезною кількістю повідомлень, які обробляються та очікують у черзі на обробку повідомлень, і потрібно визначити оптимальний час обробки

повідомлень в кореновому вузлі, витративши при цьому мінімальний час (виокремлення дублюючих).

При представлення моделі в часі кожний вузол та повідомлення мають структуру, представлену на рис. 5.



Рисунок 5 – Елементи моделі бездротової мережі контейнеровозу

Аналіз ефективності маршрутизації проводився на подійно-орієнтованій моделі, яка задовольняє наступним умовам:

– зміна часу роботи моделі залежить від кількості повідомлень, які змінюють стан моделі та її завантаженість;

– логіка настання подій визначає кількість згенерованих вузлів та надісланих повідомлень з одної секції, які пов'язані з настанням цих подій.

Під час виконання випадково згенерованої системою моделі в конкретний момент часу  $t$  утворюється список вузлів (вершин) в кожній секції та список надісланих від них повідомлень, кожне з яких має свою ймовірність появи. Враховуючи, що в портах не задіють більше чотирьох кранів для завантаження/розвантаження одного судна, була введена функція вибору ймовірнісного розташування кранів та вибору секцій, з якими працюють крани.

**Висновки.** Впровадження системи автоматизації обліку розвантаження суден контейнеровозів дозволить капітану дізнаватись, скільки контейнерів розвантажено з кожного ролу в режимі реального часу, тобто автоматизувати облік розвантаження контейнеровоза. Це, в свою чергу, дозволить капітану зберегти метацентричну висоту в допустимому діапазоні, тобто запобігти утворення крену і диференту судна, зменшити паперовий документообіг, підвищити продуктивність праці, скоротити час на обробку інформації.

Як наслідок, утворюються додаткові тимчасові ресурси для розробки і реалізації нових економічних і інвестиційних проектів. Таким чином вирішується проблема відшкодування і рентабельність впровадження моніторингової мережі на базі мобільних пристроїв, що розміщуються за місцем моніторингу за допомогою дронів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ушаков Д. В. Организация контейнерных перевозок грузов. – М. : ТрансЛит, 2015. – 208 с.
2. Container Stowage Planning and how it works [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://panbras.com.br/CONTAINER%20STOWAGE%20PLANNING.pdf>.
3. Миков А. И. Стохастические характеристики разрезков в графах AD HOC сетей // Информатизация и связь. – 2014. – № 1. – С. 76–79.

## **БОРТОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РЕКОНФІГУРАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ СУДНОМ В ОСОБЛИВИХ СИТУАЦІЯХ У ПОЛЬОТІ**

*Казак В.М., Шевчук Д.О., Панчук Л.В.*

*Національний авіаційний університет*

*(м. Київ, Україна)*

**Вступ.** Концепція реконфігурації поверхонь керування знайшла свій розвиток у реконфігурації закону керування повітряним судном (ПС). Так, у роботі [1] розглянуто фактори, що викликають втрату керованості ПС у процесі їх льотної експлуатації, а також запропоновані методи та моделі реконфігурації керуючих органів для забезпечення виконання поставленої задачі ПС в умовах виникнення особливих ситуаціях (ОС) у польоті. Дослідження [1, 2] показують, що для відновлення керованості ЛА в ОС можна використовувати активні та пасивні способи.

**Постановка задачі.** Науковому дослідженню підлягає проблема розроблення бортової інтелектуальної системи реконфігурації керування (БІСРК) для забезпечення керованості системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище» в умовах виникнення особливої ситуації у польоті.

**Результати дослідження.** Під системою «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті, будемо розуміти літак з його аеродинамічними властивостями, дії екіпажу, спрямовані на відбиття особливої ситуації (ОС), що раптово виникла, БІСРК, що функціонує на кожному етапі розвитку ОС, середовище, що змінює свої характеристики, а також ОС, яка розвивається в часі, певним чином між собою взаємозалежні і відображають у комплексі єдине ціле, а також впливають на рішення необхідного набору задач польоту і залежно від етапу ОС із заданою точністю у визначеному наборі обмежень.

Керування такою складною системою, як «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище» в умовах виникнення ОС у польоті неможливе без залучення синоптичної інформації, тобто якісної інформації. Традиційні методи теорії керування виявляються малоефективними в ситуаціях, коли, не всі цілі управління об'єктом можуть бути виражені у вигляді кількісних співвідносин; процес керування є багатокроковим або зміст кожного кроку не може бути заздалегідь однозначно визначений. Отже, виникає потреба застосування логіко-лінгвістичних моделей, які допомагають формалізувати знання і досвід дій екіпажів в аналогічних ОС, тобто введення в БІСРК логіко-лінгвістичних моделей поряд з математичними. Використання логіко-лінгвістичного моделювання, ґрунтованого на принципах нечіткої логіки та нейромережах, значно розширює можливості застосування БІСРК за рахунок складноформалізованих або зовсім неформалізованих завдань керування польотом літака в умовах виникнення ОС.

Можливість класифікації ОС дозволяє звести завдання прийняття рішення до завдання пошуку такого розбиття множин ситуацій на типові класи ОС, за якого кожному класу відповідає певне рішення (краще з погляду екіпажів), які успішно нейтралізували аналогічну ОС. Таким чином, у процесі функціонування БІСРК буде генеруватись рішення, що ґрунтуються на типових сценаріях, на основі попереднього досвіду та успішних дій екіпажів в аналогічних ОС. Сценарії в БІСРК мають бути пов'язані між собою такими причинно-наслідковими відношеннями, які при зміні стану системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище-ОС» (у результаті аналізу інформації від бортових вимірювальних пристроїв) повністю описували б розвиток типової ОС, яка виникла у польоті за допомогою переходу з одного сценарію в інший за оптимальним шляхом до досягнення поставленої мети.

Ядром БІСРК ситуаційного типу є «база даних» (рис 1), призначена для зберігання довгострокових даних, що описують типові ОС у вигляді логіко-лінгвістичних моделей.

Блок оцінювання поточного стану на основі інформації яка надходить на його вхід від системи діагностування зовнішнього обводу літака, систем бортового обладнання та інформації про дії екіпажу, будує формалізований опис поточної (спостережуваної) польотної ситуації, здійснює аналіз ситуації та визначає необхідність зміни стану ПС в умовах виникнення типової ОС у польоті. Дані про типовий ОС і потрібні керуючі впливи зберігаються в розподіленій «базі знань» у вигляді набору керуючих правил: «Якщо (виникла ОС), то (необхідна реконфігурація керуючих впливів), інакше (погіршений етап розвитку ОС)». З використанням інформації про поточний стан системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище-ОС» відбувається спрямований пошук потрібного правила керування. Якщо поточна польотна ситуація вимагає реконфігурації керуючих впливів, тобто формування цільового для ситуації, що склалася у повітрі, керуючого впливу або вироблення відповідної підказки екіпажу, то опис спостережуваної ситуації надходить в блок аналізу та прийняття рішень. Цей блок містить «таблицю рішень», що формується за допомогою системи продуціювання типових ОС на конкретні правила керування, що відповідає поточній польотній ситуації системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище-ОС» для забезпечення виконання поставленої цілі. Блок формування підказок та реконфігурації керуючих впливів здійснює зіставлення керуючих впливів екіпажу з потрібними для ситуації, що склалася у польоті та приведення нев'язки, до форми, що видається на індикацію екіпажу, у вигляді підказок або автоматичної стабілізації польоту літака залежно від стану системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище-ОС». Для обробки поточної польотної інформації і прийняття рішень щодо керуючих впливів відбувається постійне звертання до розподіленої бази даних БІСРК.

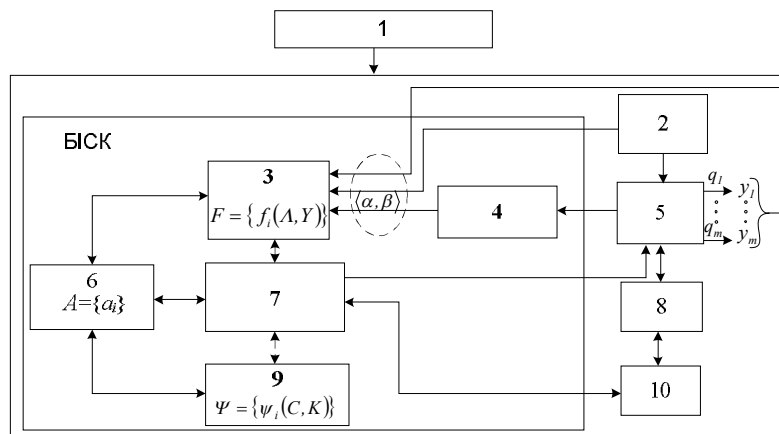


Рисунок 1 – Структурна схема БІСРК:

1 – особлива ситуація; 2 – зовнішнє середовище; 3 – блок оцінки поточного стану; 4 – система діагностування зовнішнього обводу літака у польоту; 5 – літак; 6 – база даних; 7 – блок формування підказок та реконфігурації керуючих впливів; 8 – екіпаж; 9 – блок аналізу та прийняття рішення; 10 – таблиця підказок

Математичну модель задачі формування оптимального варіанта продовження польоту в умовах виникнення особливої ситуації у польоті, подамо у вигляді кортежу:

$$\text{БІСРК} = \langle C, A, \Lambda, P, Q, Y, F, K, \Psi, E \rangle \quad (1)$$

де  $C = \{c_i\}$  – множина цілей (для даної задачі основною ціллю є збереження керованості системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті);  $A = \{a_i\}$  – множина стратегій виконання поставлених цілей у польоті з урахуванням поточних аеродинамічних властивостей літака, дії екіпажу, що спрямовані на парировання ОС, БІСРК, яка функціонує на кожному етапі розвитку ОС, середовища, що змінює з висотою свої характеристики, а також ОС, яка бурхливо розвивається в часі, певним чином;  $\Lambda = \{\lambda_j\} = \{\langle \beta_j, \gamma_j \rangle\}$  – множина чинників, що впливають на результат продовження польоту ( $\beta_j$  – чинники, якими неможливо керувати (зовнішнє середовище, пошкодження несучої поверхні, дії екіпажу);  $\gamma_j$  – чинники, якими



можна керувати (реконфігурація керування, положення органів керування і несучих поверхонь));  $Q = \{q_j\}$  – множина наслідків вибору певної альтернативи забезпечення керованості літака в умовах виникнення ОС у польоті;  $Y = \{y_j\}$  – вектор характеристик наслідків  $q \in Q$ , тобто оцінювання результатів вибору певної альтернативи із бази даних БІСРК для забезпечення керованості системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє середовище-ОС» в умовах виникнення пошкодження зовнішньої поверхні літака у польоті;  $F = \{f_i(\Lambda, Y)\}$  – множина функцій, яка ставить у відповідність множинам стратегій  $\Lambda$  і чинників  $\Lambda$  множини результатів  $Y$ ;  $K = \{k_i\}$  – множина критеріїв ефективності оцінки вибраного керуючого правила із бази даних БІСРК, для визначення відповідності результату прийняття рішення поставленим цілям;  $\Psi = \{\psi_i\}$  – множина оцінок корисності існуючих альтернатив за критеріями  $K$ , та ймовірностей впливу  $P^{oc}$ ,  $P^{зв}$ ,  $P^{ек}$ ;  $P^{oc} = \{p_i^{oc}\}$  – множина оцінок ймовірностей впливу зовнішнього пошкодження літака, яке виникло у польоті на керованість системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє збурення-ОС»;  $P^{зв} = \{p_i^{зв}\}$  – множина оцінок ймовірностей впливу зовнішнього середовища на керованість системи «літак-екіпаж-БІСРК-зовнішнє збурення-пошкодження зовнішньої поверхні літака»;  $P^{ек} = \{p_i^{ек}\}$  – множина оцінок ймовірностей впливу дій екіпажу на керованість системи «літак – екіпаж – БІСРК – зовнішнє збурення – ОС».

**Висновки.** Концепція створення БІСРК будується на основі інтеграції декількох технологій штучного інтелекту. Оскільки нечіткі системи працюють зі слабкоструктурованою якісною інформацією, а нейронні мережі використовують лише кількісну інформацію, через поєднання цих двох методів можна використовувати усю доступну інформацію про літак в умовах раптового виникнення ОС у польоті. Розроблений на цій основі алгоритм керування поєднує певним чином здатність нейронних мереж до самонавчання та адаптації до невизначеностей і здатність нечітких систем обробляти якісну інформацію, яка формується у базі даних БІСРК, створеної на досвіді успішних дій інших екіпажів в аналогічних ситуаціях у польоті.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті : монографія / В. М. Казак. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. – 284 с.
2. Живучесть авиационных силовых установок: учебник для студ. вузов (направление «Авиация и космонавтика» / В. С. Кривцов, А. И. Рыженко ; Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е.Жуковского «Харьковский авиационный ин-т». – Х. : ХАИ, 2004. – 660 с.

## MODERN INTELLECTUAL INTERFACE OF INTEGRATED NAVIGATIONAL SYSTEMS

*Kashtalyan P.V., Rozhkov S.O.*  
Kherson State Maritime Academy  
(Ukraine)

**Introduction.** Modern navigational bridge is a control centre of a complicated ship complex. As per SOLAS requirements it shall be designed in such a way that it facilitates the tasks to be performed by bridge team in making full appraisal of the situation, indicating the operational status of automated components and preventing or minimizing excessive or unnecessary work or distractions [1].

Number of resolutions defines the requirements for the components of bridge equipment [2 – 5]. But only some of them such as for radar equipment assign the specific parameters and ergonomic features of systems and components [6].

**Relevance.** Because of such legal wilfulness each navigational system manufacturer performs his product with its own peculiar interface and user characteristics [7]. This leads to need of additional shore and on-board training and familiarization of personnel involved as well as the miscoordination of different interfaces which can be found onboard of most of vessels can theoretically be a link to improper decision making and even disastrous consequences. Additionally, in most cases it is impossible to adjust the components of navigational complex according the preferences and perception psychological features of decision-maker. Such inferences lead to a conclusion that the modern navigational bridge design almost completely neglects any principles of ergonomics.

Some steps to amend the situation can be monitored in offshore fleet sector. As an example -- Kongsberg's K-Master® working space of an operator on board of DP (Dynamic Positioning) or mega-yacht vessels. But the cargo vessels especially those built more than 10 years ago have no signs of adopting navigational interfaces to the modern needs of an officer of the watch.

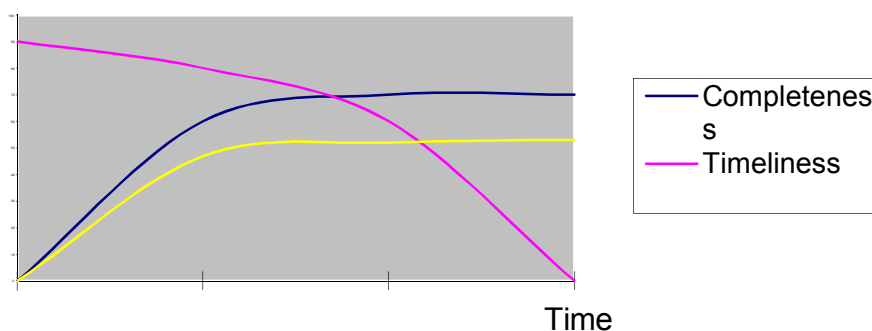
**Main material.** The scientific task of ergonomics is to combine the psycho-physiologic possibilities of a human with the conditions of environment and the means used, to give a forecast of achieving the wanted level of effectiveness and reliability of a HMI (human-machine interface) [8]. When the operator falls out of the loop a situation may occur that he or she cannot maintain control over the system as he/she loses the situational awareness [9]. Therefore complete, well-timed and reliable information must be delivered to the decision-maker [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Scant or overflow data given too early or too late and such that cannot be fully reliable leads to catastrophic consequences in any sector of transport with only difference in time to make a decision. The volume of information can be obtained by an equation [13]:

$$H_i = \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (1)$$

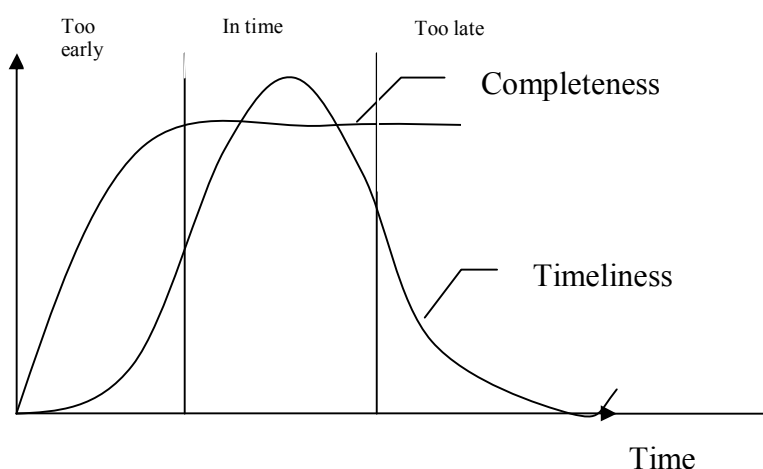
where:  $H_i$  – information volume in bits corresponding to an event  $i$ ,  $p$  – a probability of this event.

Following the above-mentioned notes it is clear that the information from sensors, controllers etc. must be processed and presented to the operator in such a way, which results in the most effective action, prevents human fatigue/equipment failures and ensures an overall safety of transport complex (the crew/passengers, environment, vessel and cargo). An example diagram of relation between completeness, timeliness and reliability of information is shown on Picture 1 [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Such diagram is doubtful as in case of analyzing navigational tasks timeliness of information can have three variants: «too early», «practically in time» and «too late». In addition it is impossible in practice to define the function of reliability as this characteristic depends on lot of factors such as type of informational

channel, sensors` and hardware malfunctions. Therefore we can assume that relation between completeness and timeliness for the navigational tasks has a look as on Picture 2.



Picture 1 – Completeness, timeliness and reliability of information



Picture 2 – Completeness and timeliness of information in navigational tasks

An aviation sector passed a technical threshold in 1950-ies. It was impossible to arrange more resources of information on the limited space of control panel [8]. Most of modern vessels do not suffer bridge space limitation, but nevertheless the sparseness of navigational tools and systems as well as the means of communication makes it inconvenient for single officer of the watch to perform his duties without assistance and increases a probability of navigational incident. In aviation the solution was in a wider use of the so-called HUD's (Head-Up Display) which use cathode-ray tube in projecting visual data on the windshield or a special transparent glass screen. Similar technology is now more and more widely used on cars to avoid distracting driver's attention when shifting his look on control panel readings. We offer to use modern TOLED technology (Transparent and Top-emitting Organic Light-Emitting Diode) for representing navigational information on bridge. This kind of monitors has a transparency of 70%, high contrast level, therefore it is suitable for installation in front or instead of bridge windshields with good visibility on bright sunshine. Such a position solves a remarkable human resource problem that the new generation of navigators mostly relies on electronic navigational devices and too seldom checks the situation around the vessel visually. Same kind of displaying information can be assumed as an augmented reality as the information on the screen can be adjusted in conformance with operators needs and sensors available. The information from different sensors and sub-systems shall be processed and stored for the future use by an integrated SCADA-system (Supervisory Control and Data Acquisition) [11].

Another side of HMI in modern navigational systems is sound signaling, which includes alarming as well as direct voice commands from operator to control system. Nowadays the alarm

sound signal has almost same characteristics on different devices therefore it takes time for the operator to find which equipment is the source of alarm. Too strong signal slows down the present actions and therefore it breaks the coordination of joint control over the action performed and the new non-standard situation. In another words such alarm signal can be significant for the operator by itself and not as an important information medium [8]. This leads to such situations when the operator focuses his attention on how to quit the alarm and not to eliminate the fault which was the result of such an alert. We propose to use voice defined alarm notification which will direct the operator exactly to the device with time to prepare himself for solving a problem of pre-noted reason. Moreover, the system of voice notification must prioritize the alerts in four categories: Emergency alarm, Alarm, Warning and Caution [12].

A time to respond such an alarm with a decision depends mostly on operator's (decision-maker's) level of vocational training and psychological features of a person. Additionally, the characteristics of the environment influence the perception of alert signal by the operator. In this case four variant are possible: 1) correct recognition of signal when it exists, 2) false alert (detection of a signal when it is absent), 3) missing a signal (determining the signal as absent when it really exists, 4) assuming the signal as absent when it is really absent. To identify the alert correctly its features must be higher than the «susceptibility threshold» [13]. Assuming that for each crewmember the «susceptibility threshold» is different, the informational support of navigational bridge shall be adjustable at least by brightness and loudness. To define exact figures and classify persons who are able or not to take decision-maker's position it is necessary to make professional tests using the simulator equipment.

**Results of the research.** An importance of intellectual interface on board of modern vessels has been analyzed. We proposed using modern technologies of TOLED head-up displays and differentiated sound signaling and voice commands as the means of additional and more effective man-machine interfacing. A new variant of relation between completeness and timeliness of information gained by an officer of the watch and necessary for a decision-making process has been developed.

**Conclusions.** Most of automatic systems on modern merchant fleet vessels are not standardised, not fully integrated and require more efficient methods of representing the information. Head-Up Display system as well as voice notification and commands can be the further step in simplifying and ensuring higher reliability of ship's navigation. Modern intellectual interfaces shall include the ways of effective representation of the information, be adjustable according operator's abilities and assist in decision-making. An effectiveness of different layouts and man-machine interactions shall be tested using modern simulators based on HIL modeling.

## REFERENCES

1. Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea with protocols of 1978 and 1988 as amended.
2. Resolution MSC.363(92) (Adopted on 14 June 2013). Performance standards for electronic inclinometers.
3. Resolution MSC.232(82) (adopted on 5 December 2006). Adoption of the revised performance standards for Electronic chart display and information systems (ECDIS).
4. Resolution MSC.252(83) (adopted on 8 October 2007). Adoption of the revised performance standards for integrated navigation systems (INS).
5. Resolution MSC.333(90) (adopted on 22 May 2012). Adoption of revised performance standards for shipborne voyage data recorders (VDRs).
6. Resolution MSC.192(79) (adopted on 6 December 2004). Adoption of the revised performance standards for radar equipment.
7. [https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/4C90F2911B4DC9D8C12580CE0043F543/\\$file/K-master-bridge-solutions.pdf?OpenElement](https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/4C90F2911B4DC9D8C12580CE0043F543/$file/K-master-bridge-solutions.pdf?OpenElement).

8. Ponomarenko V.A. Strana aviacia – chernoye i beloye. – Moscow: Nauka, 1995.-p. 288.
9. Linda J. Sorensen, Kjell I. Overgard, Tone J.S. Martinsen. Understanding human decision making during critical incidents in dynamic positioning. Department of Maritime Technology and Innovation. Maritime Human Factors Group. Vestfold University College, 3103 Tjønsberg, Norway.
10. Romanov V. N. Sistemnyy analiz dlya inzhenerov. – St.Petersburg: SZGZTU – 2006. – 186p.
11. V.A. Tkach, P.V. Kashtalyan, S.A. Rozhkov. Monitoring and control systems of modern intellectual interfaces // Methods and systems of navigation and motion control (MSNMC-2016), October 18-20, 2016. – Kyiv: National Aviation University, IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter.
12. Resolution A.1021 (26). Adopted on 2 December 2009 (Agenda item 10) code on alerts and indicators, 2009.
13. Hamash D.L., Bidyuk P.I. Lyudskyy factor ta ergonomica. Kyiv: Korniychuk, 2001. -- p.279. ISBN 966-7599-17-5.

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

*Клочков О.П.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)*

**Вступ.** Процес створення нових засобів морської робототехніки є високовартісним та довготривалим. У зв'язку з цим проєктанту та замовнику морської робототехніки необхідно ще на початковому етапі мати інструмент для оцінки можливості та визначення доцільності її створення. Таким інструментом пропонується зробити рівняння існування, що базуватимуться на системному підході [1,4].

Засоби морської робототехніки (ЗМР) реалізують підводні технології при виконанні підводно-технічних робіт (ПТР) [2]. Можливість їх створення на ранніх етапах проєктування визначається рівняннями існування, що базуються на системному підході, згідно якого пропонується синтезувати:

- рівняння існування мас та об'ємів ЗМР;
- рівняння існування за енергетичним балансом ЗМР;
- рівняння існування за балансом інформаційних потоків ЗМР;
- рівняння існування за функціональною складовою ЗМР.

Розглянемо підхід по кожному з цих пунктів.

Маса всіх елементів ЗМР у загальному вигляді буде наступна:

$$m_{\text{ЗМР}} = \Sigma m_{\text{ПОСТ}} + \Sigma m_{\text{НАЧ}} \quad (1)$$

де  $\Sigma m_{\text{ПОСТ}}$  – маса елементів постійного складу ЗМР;  $\Sigma m_{\text{НАЧ}}$  – маса елементів начіпного обладнання ЗМР.

Рівняння існування за матеріальною складовою у загальному випадку надаватиме відповідь на питання чи задовольняє отримана фактична маса засобу  $m_{\text{ЗМР}_\text{Ф}}$  технічному завданню  $m_{\text{ЗМР}_\text{ТЗ}}$  на його створення та матиме вигляд:

$$m_{\text{ЗМР}_\text{Ф}} \leq m_{\text{ЗМР}_\text{ТЗ}} \quad (2)$$

Якщо фактична маса перевищує масу, що закладена в технічне завдання, то створення ППА за критерієм матеріальної складової неможливе. До матеріальної складової також відносимо рівняння існування за об'ємом, що складаються за схожим принципом [3].

Шлях синтезу рівняння існування ЗМР за енергетичним чинником у випадку, коли замовник обмежує проєктанту підводної техніки величини потужності, що можливо виділити для живлення засобу, є наступним – на прикладі прив'язного підводного апарата (ППА).

Потужність ППА складається з потужності  $P_{\text{CONST}}$ , потужності змінних технологічних пристроїв  $P_{\text{ЗТП}}$  та потужності рушійно-рульового комплексу (РПК)  $P_{\text{РПК}}$ :

$$B_{\text{пост}j}^{\text{скл}} = -0,378 \ln(S_j) - 0,38. \quad (3)$$

При проведенні ПТР в залежності від підводної технології, що використовується ППА може працювати у різних режимах, що характеризуватимуться певним значенням споживаної електричної потужності. Позначимо множину режимів  $R$  наступним виразом:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\}, \quad (4)$$

де:  $R_1$  – перший режим роботи;  $R_i$  – проміжний режим роботи;  $R_m$  – кінцевий у множині режим роботи.

Множині режимів буде відповідати множина потужностей  $P_R$ , що споживаються у цих режимах:

$$P_R = \{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\}, \quad (5)$$

де:  $P_{R1}$  – потужність, що споживається у першому режимі роботи;  $P_{Ri}$  – потужність, що споживається у проміжному режимі роботи;  $P_{Rm}$  – потужність, що споживається у кінцевому у множині режимі роботи.

Згідно з режимами робіт ППА, що будуть розглядатися, визначиться найбільша проектна потужність  $P_{ПА\_ПР}$  з множини:

$$P_{ПА\_ПР} = \sup \{P_{R1}, P_{R2}, \dots, P_{Ri}, \dots, P_{Rm}\} \quad (6)$$

Якщо задана потужність  $P_{ПА\_ЗАМ}$  буде меншою від проектної, тоді будівництво ППА за даним критерієм буде можливим:

$$P_{ПА\_ЗАМ} \leq \sup \{P_{ПА\_ПР}\} \quad (7)$$

Рівняння існування за інформаційною складовою на прикладі ППА пропонується складати у формі системи рівнянь двох типів – комунікаційного та пошукового. Комунікаційне рівняння (нерівність) у лівій частині має містити пропускну здатність кабель-троса (КТ), а в правій – сумарну інтенсивність інформаційного обміну бортових приладів ППА:

$$I_{КТ} \geq i_{iO1} + i_{iO2} + \dots + i_{iOn} \quad (8)$$

де  $I_{КТ}$  – пропускну здатність КТ;  $i_{iO1}$  – інтенсивність інформаційного обміну 1-го бортового приладу ППА;  $i_{iO2}$  – інтенсивність інформаційного обміну 2-го бортового приладу ППА;  $i_{iOn}$  – інтенсивність інформаційного обміну  $n$ -го бортового приладу ППА.

Пошукове рівняння існування ППА за інформаційною складовою визначає мінімально припустиму глибину  $H_{ППА}$  його руху, на якій апарат здатен у повному обсязі виконувати вимоги технічного завдання на пошук підводної цілі. Очевидно, що намагання забезпечити рух пошукового ППА на мінімально можливій глибині обумовлюється зменшенням енергетичних витрат на його рух та суттєво впливає на рівняння існування СППА за енергетичним критерієм – рівняння енергетичного балансу.

У випадку синтезу рівнянь існування за інформаційною складовою визначають, що проведення підводної місії з залученням ЗМР передбачає декілька етапів, ефективність яких повною мірою визначає кінцевий результат. Ключовим виконавцем цих етапів є оператор підводної техніки, тобто особа, що приймає рішення (ОПР). В залежності від кількості екіпажу, що обслуговує ЗМР, розрізняють оператора, який працює з постом енергетики та керування (ПЕК), комп'ютерною технікою та програмним забезпеченням, і оператора, що виконує технічні операції на палубі судна-носія (СН). Наведемо ці етапи та їх коротку характеристику, що виконуються на СН у відкритому морі.

1. Підготовка до підводної місії, що передбачає візуальний та технічний зовнішній огляд ЗМР, комп'ютерну діагностику на заданому рівні автоматизації, перевірку механізмів на відкритій палубі, спуск ЗМР на воду, операція вивішування підводної техніки до стану нульової (від'ємної, додатної у разі необхідності) плавучості.

Рівняння існування за цим етапом полягатиме у часі, що витрачається на всі ці технологічні операції. Цей час має бути меншим ніж той, що може забезпечити замовник, тоді проектна вимога за цим етапом буде виконуватися.

2. Підводна місія, головною метою якої є виконання всіх операцій під водою протягом одного занурення. Така мета має досягатися за рахунок автоматизації процесів, де людині можна відвести тільки роль спостерігача, що бере на себе керування безпосередньо біля підводного об'єкта для виконання особливо складних і відповідальних підводних операцій.

3. Оформлення результатів підводної місії виконується у вигляді звіту, формат якого в залежності від виду місії буде відрізнятися, але загальними елементами представлення результатів у ньому мають бути:

- а) текстовий документ(-и), в якому(-их) можуть бути рисунки, схеми, графіки, таблиці, формули, фото, стопкадри з відеоряду тощо;
- б) фотографії підводної обстановки;
- в) відеоматеріали.

4. В завершенні підводної місії в залежності від того, як вона відбулася, виконують огляд ЗМР та визначають подальшу з ним роботу. Це може бути ремонт, підготовка до повторного занурення чи до зберігання на короткий термін або консервація, підготовка ЗМР до транспортування чи передачі сторонній особі.

Зважаючи на наведені етапи, необхідно розуміти, що їх автоматизація визначатиме кількість персоналу, який буде задіяний у ПТР з ЗМР. Також час знаходження СН в морі, а відповідно і витрати замовника будуть залежати від рівня функціональності ЗМР. На цій основі у подальшому пропонується виконувати синтез рівнянь існування ЗМР за рівнем функціональності.

**Висновки.** Синтез рівнянь існування ЗМР для окремої складовою відбувається за певною логікою та оперуючи елементами тільки в її межах, але головна складність полягає в тому, що за системним підходом кожна складова має значний вплив на інші, що може бути предметом подальших досліджень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Блінцов, В.С. Рівняння існування самохідної прив'язної підводної системи як оцінка можливості її створення [Текст] / В.С. Блінцов, О.П. Клочков // Журнал «Підводні технології». – Київ: КНУБА, 2016. - № 3. - С. 25-30.
2. Блинцов, В.С. Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов. – К.: Наукова думка, 1998. – 232 с.
3. Вашедченко, А.Н. Уравнения существования подводных роботов [Текст] / А.Н. Вашедченко, Б.П. Иванишин, Б.А. Цыбенко // Сб. научных трудов. – Николаев : НКИ, 1979. - С. 17-24.
4. Клочков, О.П. Оцінка можливості створення самохідної прив'язної підводної системи на основі рівнянь існування [Текст] / О.П. Клочков // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2016. – С. 352-354.



## НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ МОРСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И РАДИОСВЯЗИ

*Коновец В.И., Шишкин А.В.*

Национальный университет «Одесская морская академия»  
(Украина)

**Введение.** В настоящее время основным интерфейсом для соединения судовых морских приборов навигации и радиосвязи является интерфейс NMEA-0183 или IEC 61162-1/2 [1] по международной классификации. В связи с внедрением новых навигационных средств в соответствии с требованиями главы V СОЛАС (приемник глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), автоматическая идентификационная система (АИС), электронная картографическая навигационная и информационная система (ЭКНИС), регистратор данных рейса (РДР) и др.) повысились требования к интерфейсу для обеспечения требуемого информационного обмена. Интерфейс NMEA-0183 не позволяет объединить все приборы навигации и радиосвязи на борту судна в единую сеть. Новый интерфейс NMEA-2000 (IEC 61162-3) разработан специально для малоразмерных судов и не совместим с традиционным интерфейсом NMEA-0183 конвенционных морских судов.

**Актуальность исследований.** Насыщение морского судна электронными приборами навигации и радиосвязи требует решения задачи сбора, обмена и обработки информации различных датчиков и исполнительных устройств. Необходимо четкое понимание принципов работы судовой сети электромехаником судна, как лица ответственного за работоспособность мостикового оборудования навигации и связи. Поэтому задача освоения технологии построения судовой локальной сети по новым международным стандартам является актуальной.

Внедрение нового стандарта судового интерфейса отвечает целям и задачам стратегического направления е-навигации. Концепция е-навигации, в частности, предусматривает создание сети и служб передачи данных между судами и берегом, которые интегрируют и трансформируют эти данные в информацию о решениях и действиях. Конечной целью усилий по «электронному судоходству» является использование своевременной и надежной информации, чтобы повысить безопасность и эффективность мировой морской транспортной системы.

**Цель работы.** Целью исследований является анализ принципов и особенностей построения судовой бортовой локальной сети по стандарту IEC 61162-450.

**Результаты исследований.** Решение многих задач, связанных с передачей информации, основано на использовании единой многоуровневой модели информационного взаимодействия, а также унификации и стандартизации протоколов обмена для соответствующих уровней. Для информационного взаимодействия на верхнем уровне, например для обновления электронных карт, разработан и будет использоваться протокол S-100. На инструментальном уровне и уровне процессов на судне наблюдается стойкая тенденция к построению локальных сетей на основе сети Ethernet с использованием новых коммуникационных международных стандартов. Для интегрированной навигационной системы (ИНС) ходового мостика, в частности, такими стандартами являются стандарты серии «Морского навигационного и связного оборудования и систем» IEC 61162 «Часть 450 - Множественные передатчики и множественные приемники – Цифровые интерфейсы» [2] и «Часть 460 - Множественные передатчики и множественные приемники – Соединение Ethernet – Безопасность и охрана» [3].

ИНС позволяет получать, контролировать и совместно обрабатывать сенсорную информацию по ряду операций, таких как, движение, связь, управление машиной и навигационная безопасность. ИНС является своеобразной навигационной сетевой системой управления, которая связывает для централизованного мониторинга различные

навигационные инструменты и другие подсистемы, чтобы обеспечить визуализацию и учет всех деталей, относящиеся к навигации судна, в одном месте.

Организация информационного обмена в сети ИНС современного судна существенно отличается от передачи данных в традиционной офисной локальной сети и других промышленных сетях. Это сеть на основе Ethernet с относительно низким уровнем сложности протокола, получившая название «Light-Weight Ethernet» (LWE). LWE является результатом компромисса между сложностью технологии объединения оборудования в сеть и требований по информационному обмену со стороны конкретных видов судового оборудования.

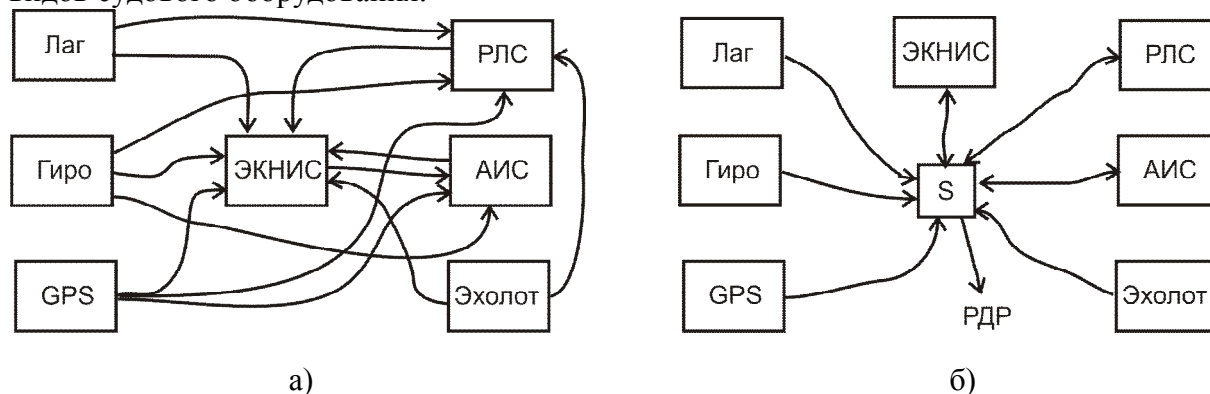


Рисунок 1 – Схема соединений устройств навигации:  
а) по стандарту IEC 61162-1/2; б) по стандарту IEC 61162-450 (LWE)

Отличительной особенностью сети LWE является возможность ее гибкого внедрения на судах «эволюционным путем», когда в комплекс включается оборудование как со старым IEC -61162-1/2 интерфейсами, так и с новым - сетевым LWE интерфейсом. Создаются и совместно функционируют дублирующие пути передачи информации между оборудованием мостика. Последующее наращивание оборудования комплекса и/или замена старого оборудования не приводит к необходимости менять кабельную инфраструктуру межсоединений.

Сравнение схем соединений в стандартах IEC 61162-1/2 и IEC 61162-450 (LWE) отражает рис. 1. В действующем стандарте любая новая связь требует выделения дополнительной точки подключения. На схеме не учтены еще возможные дополнительные подключения к ЭКНИС приборов радиосвязи (Навтекс, Инмарсат-С, УКВ ЦИВ) и РДР, а также других датчиков и исполнительных устройств, например, датчик ветра, авторулевой. В новой схеме по стандарту LWE каждый прибор подключается посредством «витой пары» к специальному коммутатору (Switch, S), который управляет коммутацией информационных пакетов. Для старых устройств стандарта IEC 61162-1/2 предполагается дополнительное подключение LWE шлюза (на схеме не показан).

В сети LWE все устройства подразделяются на три вида: только приемник, только передатчик и универсальное устройство, способное как принимать, так и передавать информационные пакеты. Например, к устройствам первого вида относится РДР, второго вида – GPS, лаг, эхолот, универсальные устройства – ЭКНИС, АИС, РЛС.

В табл. 1 представлены основные проблемы, возникающие в связи с использованием старого интерфейса и пути их преодоления в стандарте LWE.

Стандарт IEC 61162-460 является дополнением к стандарту IEC 61162-450 и включает требования по подключению LWE сети к другим сетям, когда требуется обеспечить высокие стандарты безопасности и охраны сети оборудования ходового мостика. Например, при подключении к береговым службам. Он не вводит новые требования к протоколу уровня приложений, которые определены в IEC 61162-450.

Таблица 1 – Перекрестные ссылки между проблемами и решениями

<i>Проблема</i>	<i>Решение</i>
Низкая пропускная способность и задержки	Switched Ethernet и UDP. Используется протокол дейтаграмм пользователя (UDP), поддерживающий многоадресную передачу «один передатчик для многих приемников». Сообщение передается без установления соединения и его доставка не гарантируется. Был выбран UDP с групповой (multicast) адресацией. Причина в том, чтобы дать возможность выполнять эффективную аппаратную фильтрацию сообщений для узлов в сети. На сегодня большинство Ethernet контроллеров имеют аппаратную поддержку фильтрации по MAC адресам. LWE стандарт использует 65 групповых адресов для текущих и будущих систем [5]. Различные UDP номера портов распределяются для каждого группового адреса. На нижнем канальном уровне в коммутаторе S (рис. 1 б)) делается анализ пакета и далее пакет направляется только «подписавшимся» устройствам адресуемой группы. UDP протокол с групповой адресацией существенно уменьшает общий трафик в сети LWE.
Ограничения по длине сети	Разрешен медный и волоконно-оптический кабель, допускающий возможность подключения устройств и локальных сетей по всей длине судна до 1000 метров.
Отсутствие встроенной поддержки	Введены такие понятия как: избыточность, идентификация отправителя/приемника и обнаружение ошибок: - Добавлена «Transport Annotate and Group» (TAG) функциональность из NMEA 0183, чтобы обеспечить дополнительные атрибуты, которые будут добавлены к основным сообщениям по стандарту IEC 61162-1. - Идентификатор системной функции (System Function Identifier (SFI)). Уникальный идентификатор, который присваивается каждой логической функции в сети. (Их может быть несколько в каждом узле сети). Для всех исходящих сообщений, TAG является обязательным атрибутом.
Отсутствие возможности передачи произвольных бинарных данных и двунаправленного обмена данными	Специфицированы дополнительные шаблоны транспорта: - Шаблон Binary Image Transfer (BIT). Обеспечивается через отдельные транспортные механизмы для бинарных данных. Спецификация включает в себя механизм элементарной передачи и опциональную поддержку повторной передачи, а также некоторые механизмы для ограничения использования полосы пропускания. - Шаблон Command Response Pair (CRP). Поддерживается с помощью процедуры, установленной для передач CRP классифицированных предложений.
Подключение к сети оборудования с интерфейсом не IEC 61162-1/2	Введено понятие и минимальные требования к «Функциональный блок другой сети» (Other Network Function Block (ONF)). Стандарт разрешает, для совместного использования сетевой инфраструктуры, включение в сеть оборудования, использующего иные протоколы. Условием подключения такого оборудования является наличие в нем интерфейсов, которые удовлетворяют требованиям, описанным для Other Network Function Block (ONF).
Возможности развития практически исчерпаны	Миграция обеспечивается совместимостью с действующим интерфейсом по стандарту IEC 61162-1/2 на уровне приложения, шлюзы.

Для демонстрации подключений по стандартам IEC 61162-1/2 и IEC 61162-450 разработан аппаратно-программный комплекс на базе реального судового навигационного оборудования в составе: РЛС с поддержкой электронных карт, АИС, гирокомпаса, программного обеспечения ЭКНИС и симулятора работы навигационных приборов (Nema-studio): эхолота, лага и приемника GPS на движущемся судне. Часть межсоединений навигационных приборов выполнены в стандарте IEC 61162-1/2, а

подключение ЭКНИС производится по сети LWE в новом стандарте IEC 61162-450. Программное обеспечение симулятора и ЭКНИС, в определенной степени, позволяют эмулировать подключение ЭКНИС по LWE. Разработанный комплекс полезен для подготовки судовых электромехаников в соответствии с Манильскими поправками ПДНВ 2010 года в отношении их функциональных обязанностей.

**Выводы.** Можно утверждать, что возможности LWE является необходимым условием для внедрения улучшенных и более продвинутых систем на ходовом мостике. Отличительной особенностью сети LWE является возможность ее гибкого внедрения на судах «эволюционным путем», когда в комплекс включается оборудование как со старым IEC-61162-1/2 интерфейсами, так и с новым - сетевым LWE интерфейсом.

Создаются и совместно функционируют дублирующие пути передачи информации между оборудованием мостика. Последующее наращивание оборудования комплекса и/или замена старого оборудования не приводит к необходимости менять кабельную инфраструктуру межсоединений.

Необходима соответствующая подготовка курсантов и действующего состава судовых электромехаников для профессионального обслуживания интерфейсов навигационного и связного оборудования на ходовом мостике судна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. NMEA 0183 Standard for Interfacing Marine Electronic Devices. Version 3.01. January 1, 88 p., 2002.
2. IEC 61162-450 Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Digital interfaces - Part 450: Multiple talkers and multiple listeners - Ethernet interconnection. 2011.
3. IEC 61162-460 Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Digital interfaces Part 460: Multiple talkers and multiple listeners - Ethernet interconnection - Safety and security. 2015.
4. Rødseth Ø.J., Christensen M.J.; Lee K. Design challenges and decisions for a new ship data network, ISIS 2011, Hamburg, 15th to 16th September 2011.
5. Christensen M.J., Rødseth Ø.J. Lightweight Ethernet - a new standard for shipboard networks / Digital Ship, December 2010, pp. 31-32

## НЕОБХОДИМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭРГОНОМИКЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РУЛЕВОЙ РУБКИ СКОРОСТНОГО СУДНА ИЛИ КОРАБЛЯ ВМФ

*Корощенко Н.Н., Кошарская Л.В.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»*

*(Украина)*

**Введение.** Скоростные суда повсеместно завоевали широкую популярность. Большая скорость движения, удобства для пассажиров, хорошая проходимость по магистральным и малым рекам позволили этому виду транспорта успешно конкурировать со средствами наземного передвижения. Опыт проектирования корпусов скоростных судов (в частности, рулевой рубки) показывает целесообразность использования определенных требований эргономики при решении данных задач.

Благодаря научно-техническому прогрессу в судостроении намечается еще более увеличить скорость этих судов, продолжительность суточных пробегов, перейти к эксплуатации скоростного флота в ночное время суток, а также выполнения боевых задач. Опыт эксплуатации морского флота показал надежность и безопасность плавания скоростных судов тесно связана с дальнейшим улучшением условий труда судоводителей, несущих вахту в рулевой рубке. На решение этой задачи направлены результаты исследований, проведенные в НИИ гигиены водного транспорта на основе натуральных исследований, проведенных непосредственно на СПК типа «Ракета», «Метеор», «Буревестник», «Восход», «Заря», «Комета» в различных речных и морских бассейнах. Целью исследований было изучение гигиенических и эргономических условий труда и отдыха плавсостава, психофизиологических функций организма, состояния здоровья в заболеваемости членов команды. Требования и рекомендации созданного документа формулировались с учетом обеспечения не только физического, но и психологического комфорта судоводителя в рулевой рубке. Исследования проводились во время вахт, всего рейса судна и рабочего периода его эксплуатации.[5]

Исследования показали, что работа судоводителя связана с переработкой значительного объема информации, нередко в условиях дефицита времени, что требует повышенного нервно-эмоционального напряжения. Вместе с тем наблюдается относительная гиподинамия (малая подвижность), обусловленная постоянным пребыванием человека в ограниченном пространстве помещения рубки. Неблагоприятное влияние на работоспособность может оказывать монотонность обстановки, что проявляется в виде «пересыщения» однообразной, хотя и значимой информацией или, наоборот, дефицита информации.[1]

Гигиенические исследования показали, что судоводители иногда работают в условиях повышенных уровней шума и вибрации, газовых загрязнений воздуха и действия других неблагоприятных факторов. Психофизиологические исследования показали, что уже после 8 ч пребывания в рейсе у судоводителей наступают явления утомления: снижается активность функций центральной нервной системы, зрительного анализатора, работоспособность, внимание, ухудшается вегетативно-сосудистое обеспечение функциональной деятельности организма. Утомление при этом возникает независимо от того, находится ли судоводитель на вахте у штурвала или в подвахте.

Сказанное свидетельствует о большом значении, которое имеет эргономическое совершенствование пульта управления и рубки в целом.

**Результаты исследований** основаны на следующих исходных положениях:

1. Организация рабочего места судоводителя в рубке скоростного судна должна предусматривать достаточное рабочее пространство, позволяющее вахте осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации судна с учетом необходимости сохранения оптимальной работоспособности в течение всего периода работы.

2. При проектировании пульта управления и организации рабочего места должны предусматриваться меры, предупреждающие или снижающие преждевременное утомление и переутомление оператора, его повышенное нервно-эмоциональное напряжение и статическое утомление мышц, а также появление ошибочных действий, которые могут привести к аварии судна.

3. Конструкция пульта управления и организация рабочего места должны обеспечивать быстроту, безопасность, простоту управления и технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях, возможность работы оператора в положении «сидя – стоя».

4. Средства отображения информации, органы управления и другое оборудование в рубке необходимо компоновать относительно рабочего кресла судоводителя, с учетом обеспечения управления судном одним человеком, независимо от числа людей, несущих вахту.

На первом месте в «Методических указаниях» находятся требования по форме и расположению рулевой рубки. Прежде всего, предусматривается ее размещение в носовой части корпуса судна, что преследует цель уменьшения непросматриваемого («мертвого») пространства впереди судна.[2] Не менее важным и принципиально еще окончательно не решенным вопросом является архитектура (форма) рубки. Результаты исследований исходят из необходимости строить рубку с нависающей вперед носовой лобовой стенкой. Такая рубка по эргономичности имеет определенные преимущества по сравнению с наклоном носовой переборки к корме, так как позволяет увеличить объем и рабочее пространство рубки, исключить отражение в лобовом стекле световых сигналов рабочей индикации и других средств отображения информации с панелей пульта управления. Это отражение в темное время суток или в сумерки затрудняет судоводителю восприятие навигационных знаков и огней судоводной обстановки, особенно в условиях плохой видимости. Кроме этого, наконец, нависание лобовой переборки вперед в значительной степени предохраняет зрение судоводителя от воздействия ослепляющих ярких солнечных лучей («солнечной дорожки»), отраженных от поверхности воды.

Для исключения слепящего действия солнечных лучей на глаза судоводителя следует применять для установки на лобовой переборке полихроматические стекла.

Одним из важных условий высокой производительности труда и надежности работы судоводителя является обеспечение для него кругового обзора с рабочего места по горизонту. Для этого необходимо, чтобы по всему периметру рубки не было широких перемычек или межоконных проемов, мешающих свободному обозрению окружающей обстановки. Обычно видимость ухудшается устанавливаемыми на лобовом стекле громоздкими стеклоочистительными устройствами, создающими к тому же дополнительный шум.

Планировка рубки должна обеспечивать свободное размещение в ней навигационного оборудования, пульта управления, кресла судоводителя и возможность установки второго кресла для дублера судоводителя. При этом у судоводителя не должно возникать психологически неблагоприятного дискомфортного ощущения тесноты.

В «Методических указаниях» обращено внимание также на то, что в интерьере рубки и в оформлении ее внутреннего оборудования не должно быть острых выступающих углов или поверхностей, что может стать источником травматизма.

Большой интерес представляет раздел, содержащий эргономические требования к пульту управления и его конструкции. В этом разделе приводятся указания и даны координаты расположения на пульте приборов и других средств отображения информации, размеры пульта, высота его над палубой, величины оптимальных углов расположения приборов в зависимости от кратности и частоты использования их судоводителем. Особое внимание уделяется аварийным сигналам и расположению средств их отображения на пульте.

Спеціальний розділ посвящен вопросам эргономического совершенствования органов управления. Здесь обращено внимание на их размещение в зависимости от функционального назначения, значимости, частоты и последовательности использования. Перемещение этих органов в ту или иную сторону должно быть согласовано с направлением осуществляемого при помощи этого перемещения маневра судна. В зависимости от частоты использования органов управления за вахту определяется их размещение в различных зонах, расположенных ближе или дальше от судоводителя. Рекомендуются расстояния от рулевого колеса до палубы рубки и до вахтенного. Даны величины допустимых усилий, требуемых для перемещения органов управления. Обращено внимание проектировщиков на возможность использования на скоростных судах органов управления, приводимых в движение с помощью ножных педалей, рычагов и т.п.

Следующий раздел содержит указания к усовершенствованию рабочего места и кресла судоводителя. Обращено внимание на выбор рабочей позы, определены размеры рабочего кресла, подставок для ног, подлокотников. Обязательным условием, обеспечивающим оптимальную рабочую позу судоводителя, является наличие возможности распрямления спины и ног. Спинка кресла не должна жестко закрепляться к сидению, а иметь возможность фиксации под углом, изменяющимся по желанию водителя. Следует предусмотреть возможность изменения положения сидения по высоте; кресло должно иметь также виброгасящую опору. В разделе приводятся указания о размерах сидения и спинки рабочего кресла в соответствии с антропометрическими данными судоводителя.

В последнем разделе содержатся указания относительно учета требований технической эстетики при разработке рубок и их оборудования. Обращается внимание на создание в интерьере рубки цветового комфорта, окраски движущихся частей в более яркие тона по сравнению с неподвижными, указывается на необходимость применения материалов с матовыми или полуматовыми покрытиями на панелях пульта для устранения зрительного утомления и др.

**Выводы.** Опубликование результатов исследований по эргономическому усовершенствованию пульта управления в рулевой рубке скоростных судов» будет способствовать дальнейшему улучшению конструкции рубки этих судов, повышению их эксплуатационных характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. – Л., Судостроение, 1976.
2. Milar I.C., Hansford R.F. The MANAV Integrated Navigation System. – The Journal of Navigation, 1988, January, vol. 36, №1, p. 81-92.
3. «MOTORSHIP» №2, 1996 г.
4. «MIMAREST» №11.
5. Материалы исследования НИИ гигиены водного транспорта.

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА СОВРЕМЕННЫХ НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИХ ИНТЕГРАЦИИ СО СРЕДСТВАМИ ГМССБ

*Лелеко Н.В.*

Херсонская государственная морская академия  
(Украина)

**Введение.** Стремительное развитие электроники, компьютеризация и автоматизация процессов управления судами с одной стороны, а также рост интенсивности судоходства, сокращение количества членов экипажа, рост информационной нагрузки и работы, которую должен выполнять судоводитель с другой стороны стали причиной появления и развития навигационно-информационных систем, которые сегодня являются центральной составляющей безопасного и эффективного судовождения.

Навигационно-информационные системы – НИС прошли стремительный эволюционный путь развития от простейших систем отображения растровых карт до сложных многофункциональных интегрирующих навигационно-информационных систем (ECDIS), которые согласно конвенции SOLAS-74 (Глава V, Правило 19, Пункт 2.1.4) являются полным эквивалентом бумажных карт.

Современные НИС обладают широким функционалом и помимо картографических – являются и интегрирующими навигационными системами, которые обрабатывают информацию от множества навигационных сенсоров, собирая ее в одном месте в виде удобном для восприятия судоводителя.

Практически неограниченный функционал и очевидные преимущества НИС (ECDIS) перед бумажными картами привели к их широкому внедрению на флоте и к тому, что ECDIS приобрел статус обязательного оборудования для подавляющего большинства судов. Программа ИМО по обязательной установке ECDIS на судах приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сроки обязательной установки ECDIS на судах

<i>Тип судна</i>	<i>Размер, брутто-тоннаж</i>	<i>Для новых судов</i>	<i>Для существующих судов при ближайшем освидетельствовании, но не позже:</i>
Пассажирское	$\geq 500$	1.07.2012	1.07.2014
Танкер	$\geq 3000$	1.07.2012	1.07.2015
Сухогруз	$\geq 50000$	1.07.2013	1.07.2016
	$\geq 20000$	1.07.2013	1.07.2017
	$\geq 10000$	1.07.2013	1.07.2018
	$\geq 3000$	1.07.2014	Не регламентировано

**Актуальность.** Основное назначение НИС [2] – повышение навигационной безопасности, защиты окружающей среды, эффективности перевозок грузов морем. Из этого следует, что навигационно-информационные системы являются многофункциональным оборудованием. Условно выполняемые ими функции могут быть разделены на следующие категории [2]:

- навигационные (планирование перехода, исполнительная прокладка, обеспечение навигационной безопасности и т.д.);
- коммуникационно-информационные (связь с внутренними и внешними по отношению к судну источниками и потребителями информации, прием, хранение, передача данных, выдача справок и т.д.);
- для управления изображением карт (масштабирование, изменение нагрузки, приспособление к условиям освещенности и т.д.);



- для предупреждения столкновений судов (обработка данных РЛС, транспондера АИС, оценка опасности столкновения, и др.);
- для обеспечения безопасности судна и груза в условиях волнения (расчет напряжений на корпусе для текущих и прогнозируемых погодных условий, выбор режима движения и т.д.);
- для управления движением (проводка судна по заданному маршруту или к заданной путевой точке);
- для поиска и спасения.

Такой широкий диапазон функций НИС обеспечивается путем подключения к системе большого количества навигационных датчиков, а также других сенсоров.

Однако анализ литературы [2-5] показывает, что, невзирая на внушительный ряд сенсоров, которые обеспечивают систему информацией, интеграция НИС с оборудованием ГМССБ реализована очень слабо, в частности, интеграция НИС с УКВ и ПВ/КВ радиостанциями, а точнее с модулями ЦИВ этих приборов отсутствует вообще. Эта проблема не позволяет раскрыть функционал современных НИС в полной мере.

**Основная часть.** Как известно, в большинстве случаев связь в направлении судно – судно обеспечивается посредством УКВ, реже – ПВ/КВ радиостанций. Как правило, передается информация, которая касается:

- безопасности судовождения;
- бедствия;
- тестирование оборудования ГМССБ;
- рутинных/частных вопросов.

В подавляющем большинстве случаев сеанс связи в УКВ/ПВ/КВ диапазонах начинается с отправки судном ЦИВ (Цифрового Избирательного Вызова).

ЦИВ используется для оповещения о бедствии, приема/передачи вызовов с приоритетом срочности или безопасности. Для более простой аналогии ЦИВ можно сравнить с SMS. В данной ситуации важно то, что ЦИВ имеет цифровую, а не аналоговую природу. Это позволяет подключить модули ЦИВ УКВ и ПВ/КВ радиостанций к НИС.

Интеграция НИС с модулем ЦИВ УКВ и ПВ/КВ радиостанций позволит существенно расширить функциональные возможности НИС и экономить судоводителям больше времени. В частности, польза от этого очевидна в следующих случаях:

1. При получении сигнала бедствия посредством ЦИВ УКВ или ПВ/КВ, координаты гибнущего судна, которые содержатся в ЦИВ выводятся на дисплей радиостанции. При этом судоводителю приходится вручную переносить их на электронную карту НИС для оценки расстояния до судна, терпящего бедствия, и оценки возможности оказания помощи. На это уходит время. При интеграции НИС и ЦИВ координаты автоматически будут передаваться в систему, и отображаться на карте. При этом система автоматически будет рассчитывать дистанцию до аварийного судна. Что позволит существенно экономить время и мгновенно ориентироваться в ситуации.

2. При получении ЦИВ от другого судна для установки связи с целью обеспечения безопасности мореплавания, тестирования аппаратуры ГМССБ, или в частных целях судоводителю приходится тратить время на идентификацию судна, отправившего ЦИВ. При этом идентификация включает в себя: определения названия судна (т.к. ЦИВ содержит только MMSI), поиск его на экране НИС для понимания взаимного положения судов. Особенно остро этот вопрос встает в стесненных водах с очень плотным трафиком и большим количеством судов (например, воды Сингапура). При интеграции НИС и ЦИВ координаты судна, отправившего запрос, автоматически будут наноситься на карту НИС, и система будет выделять соответствующее судно, обращая на него внимание судоводителя, что позволит экономить время и уделять больше внимания безопасности навигации.

3. Данная технология будет также полезна для операторов береговых служб управления движением судов и операторам лоцманских станций, которым приходится обрабатывать большое количество судов.

**Выводы.** Навигационно-информационные системы обладают достаточно большим функционалом. Однако объединение НИС и модуля ЦИВ радиостанций позволит значительно расширить функционал НИС и вывести их на новый уровень интеграции с оборудованием мостика. Такое объединение позволит значительно сократить время, необходимое судоводителю на обработку информации и принятия правильного решения, что в свою очередь положительно скажется на безопасности и эффективности судовождения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. International convention for the safety of life at sea 1974 (consolidated edition 2004) – p. 274.
2. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. – Одесса, Латстар, 2004. – 302 с.
3. Буров Н.И. Электронная навигация и картография. Под редакцией Козыря Л.А.: ОГМА. – Одесса, 1996.–26 с.
4. Вагущенко Л.Л, Данцевич В.А., Кошевой А.А. Электронные системы отображения навигационных карт. – 2-е изд., перераб. и доп. - Одесса, ОГМА, 2000. – 120 с.
5. IMO resolution A.817(19) adopted on 23 November 1995. - Performance standards for electronic chart display and information systems (ECDIS), 15 p.
6. IHO Special Publication S52: Specification for Chart Content and Display of ECDIS, Edition 5, Dec 1996.
7. IHO Special Publication S57: IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, edition 3.1, Nov 2000.
8. Шишкин А.В., Кошевой В.М., Купровский В.И., Ефимов С.Л., Ш65 Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания: Учеб. пособие. – М.: РосКонсульт, 2001. – 272 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОХОДСТВЕ

*Маранов А.В., Ганношина И.Н., Кондратюк Э.Э.*  
*Киевская государственная академия водного транспорта*  
*имени гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного*  
(Украина)

**Введение.** Развитие и внедрение 3D технологий в нашу жизнь не остаются незамеченными, это новый скачок в развитии технологий человечества. Голографические проекции, которые основаны на 3D технологиях, позволяют воспринимать информацию и решать задачи намного проще. Нам становятся доступны новые ракурсы.

Системы, которые способны отобразить информацию в виде голографической 3D проекции, однозначно изменят наше представление о судоходстве, облегчат решение задач в условиях ограниченной видимости или в местах с осложненным движением судов (подводные опасности и т.д.).

**Актуальность исследования.** Перспектива 3D технологий, в частности голографических проекций, заключается в возможности наблюдать всю информацию относительно места судна и обстановку вокруг него под другим углом. При подключении всех бортовых систем навигации к одной системе с выводом информации в виде проекции, мы имеем возможность наблюдать все данные в одной голографической проекции, а именно: что находится под нашим судном, что находится вокруг нашего судна в ближайших округах и оценить ситуацию так, как ее невозможно было оценить ранее. Благодаря голограммам, мы сможем увидеть всю информацию в одном месте.

Если представить, что можно сразу увидеть судно с любого ракурса, и не только судно, но и то, что находится под ним, вокруг него, то это даст возможность увидеть все возможные альтернативы при выборе маршрута, а также проанализировать ситуации при ограниченной видимости, поскольку при таких обстоятельствах мы привыкли полагаться только на свои навигационные приборы.

Наличие таких технологий только на одном судне существенно облегчает и улучшает работу навигационной вахты, а если эти технологии (устройства) будут расположены на множестве судов, их можно объединить в систему, которая будет отображать не просто объекты, находящиеся рядом с судном, но которая будет давать их характеристику (тип судна: газовоз, балкер, контейнеровоз), что в свою очередь также поможет оценить обстановку особенно в условиях ограниченной видимости. Эта система в руках опытного судоводителя станет невероятным инструментом. Данная система будет актуальна в прибрежных зонах с повышенным грузопотоком, в узкостях и портах.

**Цель и задачи исследования.** Данная работа раскрывает важность и необходимость исследования лазерных технологий и 3D визуализации, с целью уменьшения количества аварий на морском транспорте, следствием которых стали недостаточно точные данные о местонахождении.

**Основная часть.** Постоянное совершенствование компьютерного оборудования и программного обеспечения сделало 3D-технологии доступными. Сегодня 3D-модели повсеместно используют вместо обычных макетов в проектировании для проработки крупных или миниатюрных деталей, а «объемная» визуализация становится одним из инструментов

e-навигации, интерактивных тренингов на борту, экспертом с помощью презентаций.

Трехмерные модели реально существующих или абстрактных объектов создаются с помощью специализированных компьютерных программ. 3D-моделирование может быть следующих видов:

- создание фотореалистичных изображений, проецируемых на обычный компьютерный монитор или экран. Отдельные программы позволяют осуществлять печать созданной модели на 3D-принтере.

- создание стереоизображений для просмотра на обычном компьютерном мониторе (экране) через специальные поляризационные очки или на специализированном 3D-мониторе со стереоскопическим эффектом.

- создание компьютерных голограмм.

Для достижения наиболее реалистичного эффекта трехмерную модель объекта можно текстурировать (придать визуальные свойства материала), задать освещение, анимировать.

Создание трехмерных изображений в настоящий момент – это огромная индустрия. 3D-технологии уже сейчас широко применяются в следующих областях, и список постоянно расширяется: машиностроение; образование; нефте- и газодобыча; безопасность объектов; управление движением; компьютерные игры и симуляторы; медицинская диагностика; научные исследования.

Мировыми лидерами рынка 3D-технологий являются компании EONReality, Autodesk, MitsubishiElectricEuropeB.V. Только в сегменте 3D-тренажеров и симуляторов уже работают десятки крупных компаний. Помимо разработки оборудования и ПО, крайне важным направлением является разработка 3D-контента. Специалистов по этому направлению у нас пока крайне мало[2].

По данным EONReality, методики интерактивного обучения с помощью 3D-технологий в вузах могут на 80% повысить запоминаемость учебного материала. 3D-симуляторы и тренажеры для судоводителей и операторов спецтехники высвобождают огромное количество реально существующего дорогостоящего оборудования и позволяют в безопасных условиях смоделировать любую реальную ситуацию.

Архитектурная 3D-визуализация в специальных комнатах – 3D-кубах – помогает при создании и эксплуатации судов и их комплексов увидеть проект со всех сторон, с любой точки удаленности и приближения, более четко визуализировать конструктивные элементы, предотвратить ошибки на ранних этапах проектирования, найти новые варианты зонирования пространства. Объемное изображение способно в десятки раз сократить временные и финансовые затраты на проектирование.

Художественные и анимационные фильмы в формате 3D заняли привычное место в репертуарах крупных кинотеатров и уже появляются на экранах домашних 3D-телевизоров.

Одноэкранные 3D-системы – самые простые, распространенные и недорогие, не предъявляют высоких требований к помещению. Выгодное отличие таких систем – их мобильность и возможность применения практически в любой отрасли.

Мультидисплейные системы (видеостены) используют технологии сшивки проекционных изображений. Дисплеи можно стыковать в любом количестве, тем самым варьируя размеры полотна. Видеостены могут быть адаптированы под любые помещения, независимо от их конфигурации и назначения. Основные сферы применения – e-навигация, компьютерные игры и симуляторы, выставки и презентации.

Персональные системы погружения в виртуальную реальность: индивидуальные рабочие места, CAVE-системы различной конфигурации (3D-куб, купол). Специально оборудованные помещения, в которых 3D-изображение проецируется непосредственно на стены для создания эффекта присутствия. Разрабатываются индивидуально или поставляются в виде готовых решений. Используются в научных, учебных, развлекательных целях.

Системы дополненной реальности – решения, направленные на сочетание реальных и виртуальных элементов. К ним относятся интерактивные примерочные, планшеты для работы с дополненной реальностью, интерактивные панели с системой

распознавания движений и жестов пользователя при бесконтактном взаимодействии. Дополненная реальность часто становится инструментом автоматизации судна или порта.

**Выводы.** Использование голографических технологий на основе 3D уже развивается с большой скоростью и показывает свои перспективы сравнительно с привычными нам экранами. Они позволят как отображать всю необходимую нам информацию новым, до ныне не доступным образом так, и взаимодействовать с ней на новом уровне. Тем самым выполнение стандартных навигационных задач не только будет облегчено, но и будет ускорено в выполнении. Навигационная безопасность поднимется на уровень выше и позволит предотвращать большее количество аварий и столкновений как в открытом море так и в прибрежных зонах. Поскольку это технология находится еще на стадии разработки ее перспективы неограниченны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс. – Режим доступа : <http://www.kp.ru/guide/3d-tekhnologii.html>
2. Электронный ресурс. – Режим доступа : <http://hi-news.ru/technology/yaponcy-pokazali-bezopasnuyu-osyazhemuyu-gologrammu.html>
3. Электронный ресурс. – Режим доступа : <http://hi-news.ru/technology/video-lazer-formiruet-3d-izobrazhenie-pryamo-v-vozduxe.html>

## АВТОМАТИЗАЦІЯ БАЛАСТНОЇ СИСТЕМИ ТАНКЕРА

**Поливода В.В.**

*Херсонська державна морська академія*  
(Україна);

**Поливода О.В.**

*Херсонський національний технічний університет*  
(Україна);

**Тимофєєв К.В.**

*Херсонська державна морська академія*  
(Україна)

**Вступ.** Існує небезпека, що хитавиця може привести до перекидання судна в екстремальних умовах. Таким чином, остійність судна – його важлива характеристика, і розробка систем керування стабілізацією є важливим завданням при управлінні судном. Система сполучених танків (цистерн) для ослаблення бортової хитавиці є єдиною системою заспокоєння хитавиці на танкері. Перевагами таких заспокоювачів хитавиці є проста структура, дешевина, надійне функціонування, тому вони знайшли широке застосування [1, 5].

**Основна частина.** Побудова точної математичної моделі системи управління заспокоювача хитавиці судна є складною задачею, тому що потік води в танках нелінійний, рух реальних хвиль є стохастичним процесом. Розроблена математична модель баластної системи танкера [2, 5] у вигляді передаточної функції розімкненої системи має вид:

$$P_r = K_a K_f \cdot \frac{K_Q}{A} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{s \left( \frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\zeta_h}{\omega_h} s + 1 \right)}, \quad (1)$$

де  $K_a$ ,  $K_f$ ,  $K_Q = \frac{Q(s)}{I(s)}$  – математичні моделі сервопідсилювача, датчику величини крену та сервоклапана відповідно, що мають вид статичних стійких ланок;  $Q(s)$  – вихід сервоклапана;  $I(s)$  – вхід сервоклапана;  $A$  – ефективна площа плунжера в гідроциліндрі;  $k$  – коефіцієнт передачі радіуса хитавиці танка;  $\omega_h$  – власна частота гідравлічного тиску;  $\zeta_h$  – гідравлічний коефіцієнт загасання.

Важливою задачею при розробці автоматизованої системи управління баластною системою танкера є вибір закону керування. Останнім часом одержав широке поширення класичний закон ПІД-керування й часто використовується в багатьох системах автоматичного керування. Даний закон керування забезпечує найкращі показники якості керування, такі як найменший час регулювання, перерегулювання, коливальність і т.д., при цьому система досягає заданого значення, що встановилося, необхідного параметра регулювання. Однак, при проектуванні регулятора для реальної системи, виникають наступні складності: через нагромадження погрішності, нелінійності математичної моделі й інших факторів спроектований регулятор не задовольняє заданим критеріям якості керування. Коли танкер нерухливий, підійде класичне ПІД-регулювання. Однак, коли танкер рухається, важко задовольнити технічним вимогам до системи керування використовуючи ПІД-регулювання. При використанні класичного регулятора, його параметри не змінюються із часом і не налаштовуються відповідно до зміни зовнішніх впливів. Підбір параметрів регулятора трудомісткий і вимагає великого практичного досвіду, необхідно використовувати ПІД-регулятор з нейронною мережею зі зворотним поширенням помилки для автоматичного настроювання його параметрів. Тому, для розрахунку складних динамічних систем доцільно використовувати нейронну мережу зі

зворотним поширенням [3]. На виході нейронної мережі завдяки її здатності самонавчатися, отримують параметри налаштування ПІД-регулятора. Цей спосіб керування дуже актуальний для гідравлічної системи, що стежить, керування заспокоювачем хитавиці судна. По-перше, цей спосіб керування не вимагає складних обчислень для одержання оптимальних настроювань регулятора, і не вимагає високої точності математичної моделі. По-друге, цей спосіб керування мало залежить від часу, нечутливий до нелінійності й зміни різних параметрів і коефіцієнтів. Оскільки параметри регулятора змінюються разом зі зміною параметрів системи, отже запропонований нейронний ПІД-регулятор може використовуватися в завданні керування заспокоювачем хитавиці судна. Нейронний ПІД-регулятор складається з нейронної мережі зі зворотним поширенням і класичним ПІД-регулятором.

Нейронна мережа зі зворотним поширенням повинна настроювати вагові коефіцієнти в реальному часі у відповідності із входом і виходом об'єкта керування. Тому, позначимо  $x = [e(k), 1]^T$  як вектор вхідного сигналу. Нейронна мережа має 2 нейрона у вхідному шарі, 5 нейронів у прихованому шарі й 3 нейрона у вихідному шарі.

Ціль керування баластною системою танкера полягає в тому, щоб підтримувати кут крену не більш заданого припустимого значення. Помилка вихідної величини енергії хитавиці може бути використана в цільовій функції алгоритму навчання нейронної мережі.

Вага зв'язків нейронної мережі підбирається відповідно до алгоритму методу градієнтного спуску. Етапи проектування регулятора системи керування баластною системою судна наступні: ініціалізація, одержання вхідного сигналу нейронної мережі зі зворотним поширенням і розрахунок виходу мережі, розрахунок виходу регулятора, настроювання вагових коефіцієнтів. Система керування, що реалізує даний алгоритм, реалізована в MATLAB/Simulink, наведена на рис. 1 [4]. Вибір параметрів регулятора був виконаний для вхідного сигналу у вигляді одиничного східчастого впливу, синусоїдального впливу, випадкового коливального впливу.

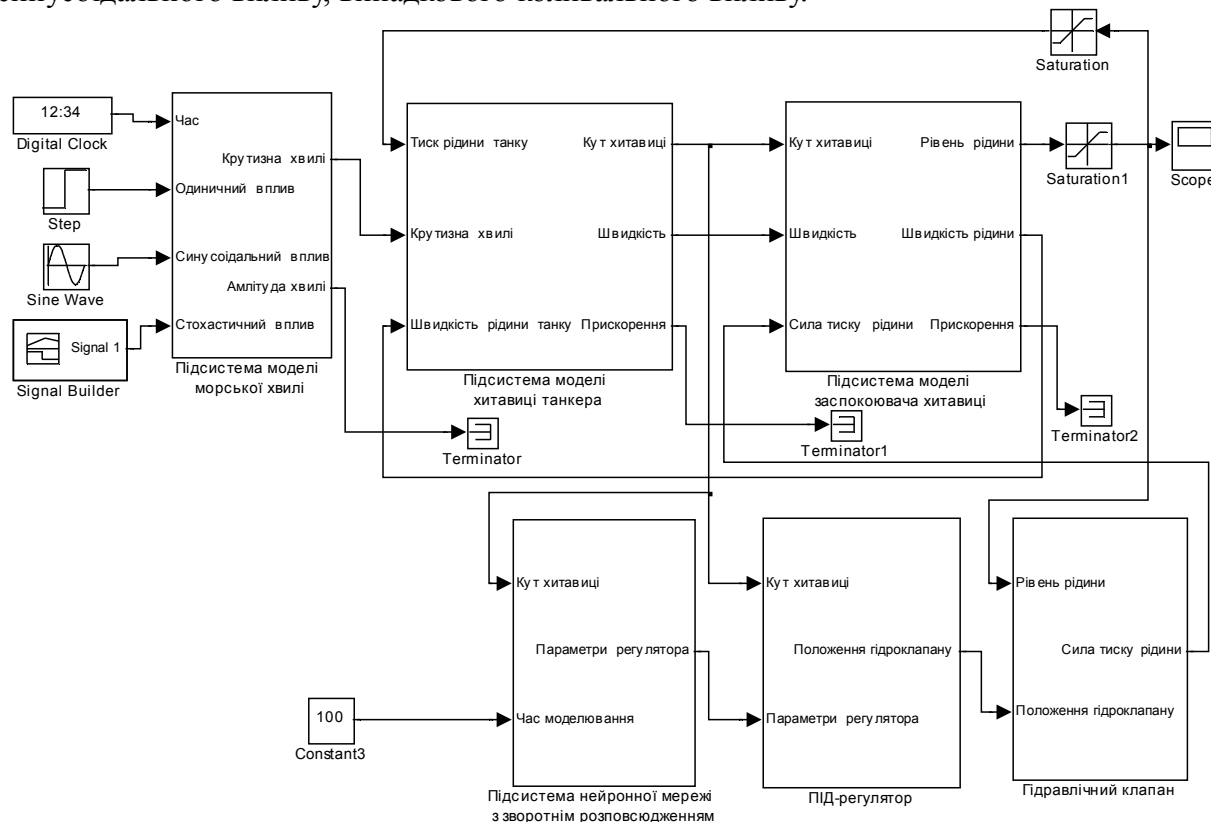


Рисунок 1 – Система управління в MATLAB/Simulink

Результати моделювання наведені на рис. 2, де показані вхідні сигнали у вигляді одиничного східчастого впливу (а), синусоїдального впливу (в), випадкового коливального

впливу (д), а також реакції систем на дані входні впливи. На рис. 2, б, г, є – відповідні коефіцієнти ПД-регулятора.

Аналіз реакції системи на входний сигнал у вигляді випадкового коливального впливу показав, що даний вид сигналу найбільш точно відтворює спостережувану картину поведінки морських хвиль у реальних умовах.

У результаті моделювання параметри регулятора настроюються безупинно відповідно до зміни відхилення вихідної величини.

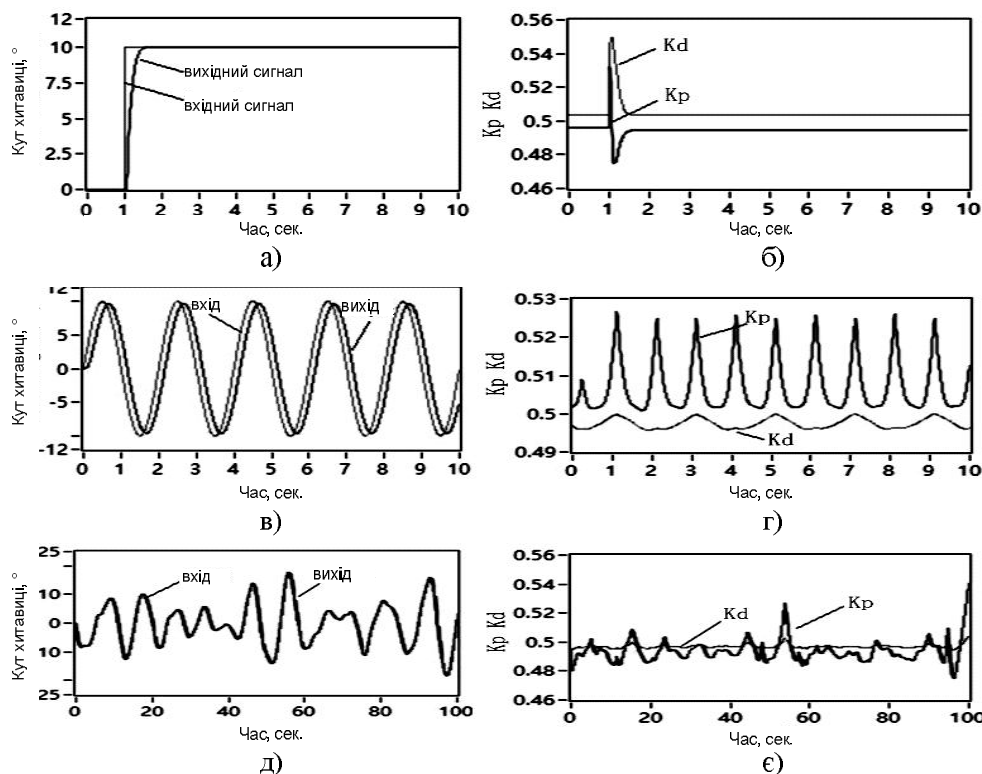


Рисунок 2 – Результати моделювання

До складу системи керування баластною системою входить: консоль управління, стартер очисного насоса, вузол стартера баластних насосів, шафа для контактних майданчиків портів вводу-виводу на зовнішні ланцюги, шафу керуючого контролера системи, кнопок аварійної зупинки, зачисного насоса, вузол керування зачисного насоса, кожний очисний, зачисний і баластний насоси оснащені датчиками: тиску й розрідження, температури підшипників насоса, температури корпусу, датчик температури порушення цілісності насоса, рівня баластних танків. Структурна схема автоматизованої баластної системи танкера наведена на рис. 3.

До складу консолі керування входить: джерело безперебійного живлення, патч-розетка Ethernet RJ45, мишка, кольоровий принтер, клавіатура, монітор, системний блок комп'ютера. Консоль керування змонтована в диспетчерській, інше обладнання – за місцем на нижній палубі. Консоль управління з'єднана з керуючим контролером за допомогою інтерфейсу типу Ethernet, а керуючий контролер з контактами відповідних датчиків – за допомогою інтерфейсу типу Modbus. Виконавчі механізми підключаються до керуючого контролера трижильними ізольованими армованими кабелями типу CEF92/SA, а датчики – CEF82/SA.

Управління баластною системою танкера здійснюється з консолі управління. Система робить завантаження/вивантаження баласту за допомогою баластних насосів, очисних насосів і насосів зачищення. Система керування дозволяє запускати необхідні насоси в необхідній послідовності для завантаження/вивантаження баласту й для зменшення амплітуди хитавиці згідно із заданим алгоритмом регулятора, повністю



контролює роботу системи за допомогою датчиків тиску, температури, рівня, цілісності й виконує аварійну зупинку у випадку виходу контрольованих параметрів процесів за припустимі межі. Також передбачені кнопки аварійної зупинки для ручної зупинки роботи системи.

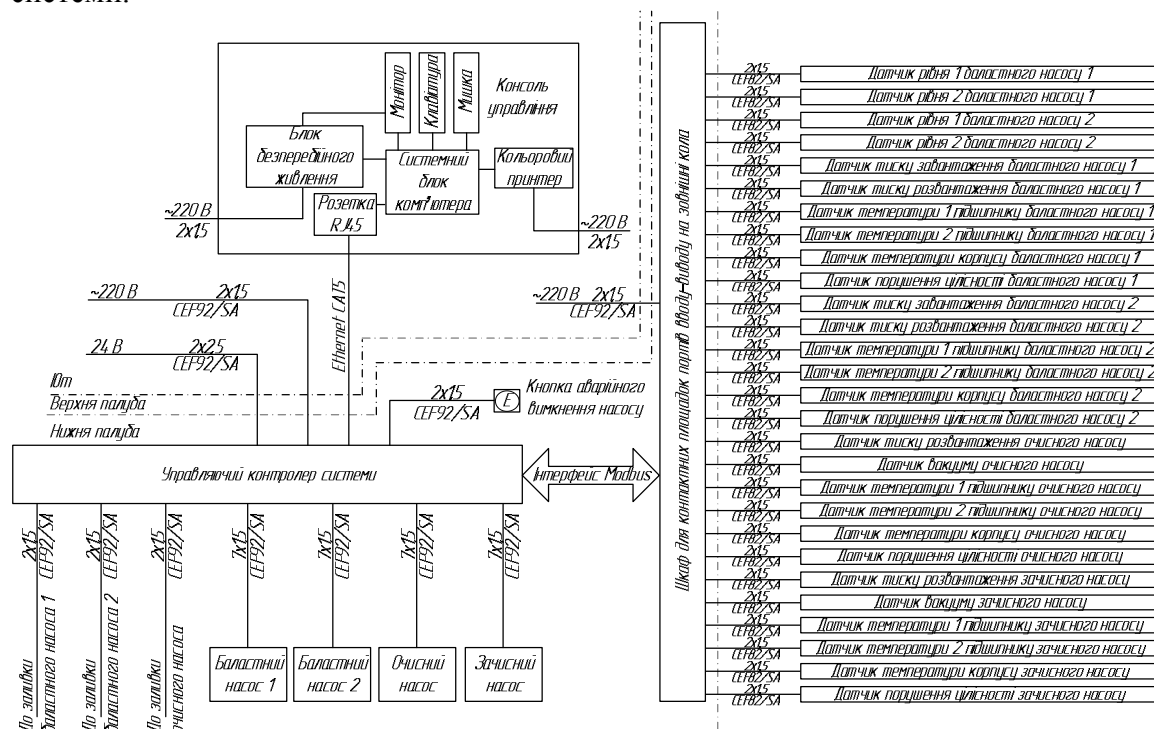


Рисунок 3 – Структурна схема автоматизованої баластної системи танкера

Консоль управління є основним засобом, що забезпечують контроль рівнів і температури в танках і надання необхідної інформації та є компактне, механічно й кліматично стійке інформаційно-керуєчне обчислювальне обладнання. Консоль управління забезпечує функції моніторингу, має операторський інтерфейс, що відповідає ергономічним вимогам. Електроживлення консолі управління здійснюється від локальної суднової станції. На відеокадрах, що представляються на екрані дисплея, відображаються схема танків, контрольовані параметри, аварійні сигнали й системні повідомлення.

**Висновки.** На основі математичної моделі системи управління заспокоювача хитавиці судна було виконано налаштування параметрів ПД-регулятора з використанням нейронної мережі зі зворотним розповсюдженням. Розроблена система управління, яка дозволяє запускати потрібні насоси в необхідній послідовності для завантаження/вивантаження баласту й для зменшення амплітуди хитавиці згідно із заданим алгоритмом регулятора, повністю контролює роботу системи за допомогою датчиків тиску, температури, рівня, цілісності й виконує аварійний останов у випадку виходу контрольованих параметрів процесів за припустимі межі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сизов В.Г. Теория корабля. - Одесса, Феникс, 2003. - 284 с.
2. Суевалов Л. Ф. Справочник по расчетам судовых автоматических систем.– 2-е изд., пере-раб. и доп.–Л.: Судостроение, 1989.– 408 с: ил.
3. Дорф Р. Современные системы управления /Р.Дорф, Р.Бишоп. Пер. с англ. Б.И.Копылова. –М.:Лаборатория Базовых Знаний, 2002. –832 с.:ил.
4. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб. : Питер, 2002. –528 с.
5. Сыромятников В.Ф. Наладка судовых энергетических установок : справочник. – Л. : Судостроение, 1989. – 352 с.

## ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ЛЕВИТАЦИОННОЙ СИЛЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

**Поляков В.А., Хачануридзе Н.М.**

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины  
(г. Днепр, Украина)*

**Введение.** Токи цепей дискретных путевых контуров (ДПК) магнитолевитирующего поезда (МЛП) и их магнитные поля – компоненты единого электромагнитного субпроцесса гиперпроцесса электромеханического преобразования энергии левитационным узлом (ЛУ). Указанные компоненты могут моделироваться [1] в рамках теорий электрических цепей и электромагнитного поля. Поэтому существующие версии математической модели (ММ) левитационной силы (ЛС) МЛП построены [1 - 3] исходя из этих парадигм моделирования.

**Актуальность исследования.** Результаты анализа свойств имеющихся версий ММ ЛС МЛП свидетельствуют о том, что каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками. Их общим достоинством являются достаточно широкие функциональные возможности. Основным же недостатком этих версий является циклическая зависимость коэффициентов их дифференциальных уравнений, соответствующих собственным и взаимным (как между собой, так и со сверхпроводящими поездными контурами – СПК) индуктивностям ДПК, от положения поезда. Это существенно затрудняет решение задач описываемой динамики [4], снижая ценность версий модели. Изложенные соображения выявляют [5 - 7] актуальность создания гибридной модели (ГМ) ЛС МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий модели и максимально свободной от их недостатков.

**Постановка задачи.** Построение такой ГМ ЛС является основной задачей работы.

**Материал и результаты исследования.** Энергопреобразование ЛУ МЛП осуществляется в процессе взаимодействия полей токов СПК и ДПК. Поэтому паттерном ЛС поезда является взаимодействие тока элемента СПК с полем токов ДПК, которое может быть описано выражением закона Ампера [8]:

$$f_{\lambda\chi} = l_{\lambda\chi} \cdot i^{\lambda\chi} \cdot B_{\lambda\chi} \cdot \sin \alpha_{\lambda\chi}, \quad (1)$$

где  $f_{\lambda\chi}$  – сила, действующая на  $\chi$ -ый элемент  $\lambda$ -го СПК;  $l_{\lambda\chi}, i^{\lambda\chi}, B_{\lambda\chi}, \alpha_{\lambda\chi}$  – длина элемента, ток в нём, индукция поля, в котором элемент находится, а также угол между  $\overline{i^{\lambda\chi}}$  и  $\overline{B_{\lambda\chi}}$ .

Расчётные схемы СПК и секций ДПК приняты в виде наборов гальванически не связанных проводящих прямоугольных рамок, а также пар идентичных прямоугольных катушек, соединённых согласно нуль-поточной схеме [1]. Тогда ЛС поезда определима как векторная сумма величин  $\overline{f_{\lambda\chi}} \forall \lambda \in \overline{[1, N]}, \chi \in \overline{[1, 4]}$ , каждая из которых – результат взаимодействия тока одного из элементов СПК с полем токов взаимодействующих с ним ДПК. В последнем выражении,  $N$  – число СПК МЛП. Электродинамика такого взаимодействия определяется уравнениями второго закона Кирхгофа [8]. Подсистема «СПК–ДПК» обычно вырождена [6]. Потому, в инерциальной системе  $Q\varepsilon^{\rho} \forall \rho \in \overline{[(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]}$ , модель взаимодействия  $\lambda$ -го СПК с учитываемыми (в этом взаимодействии) ДПК имеет вид [8, 9]:

$$\sigma_{\rho\lambda} = L_{\rho\rho} \cdot \frac{d}{dt} i^{\rho} + L_{\rho\mu} \cdot \frac{d}{dt} i^{\mu} + r_{\rho} \cdot i^{\rho} \forall \rho, \mu \in \overline{[(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\rho\lambda} = \sigma_{\rho\lambda}^u - \sigma_{\rho\lambda}^l; \quad \sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} = -\frac{d}{dt} (M_{\rho\lambda}^{\kappa} \cdot i_s^{\lambda})$$

$$\forall \rho \in \overline{[(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]}, \kappa = u \vee \kappa = l, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \kappa = u \vee \kappa = l$  – электродвижущие силы (э. д. с.), индуцируемые в катушках  $\rho$ -го ДПК при изменениях сцеплений с ними потока тока  $i_s^{\lambda}$  цепи  $\lambda$ -го СПК;  $L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu}, r_{\rho} \forall \rho, \mu \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]$  – собственные и взаимные индуктивности, а также активные сопротивления цепей ДПК;  $\chi_{\lambda}$  – номер последнего ДПК, который миновал  $\lambda$ -ый СПК;  $E$  – половина числа ДПК, с которыми взаимодействует каждый СПК;  $i^{\rho}, i^{\mu} \forall \rho, \mu \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]$  – токи ДПК;  $M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$  – взаимные индуктивности  $\lambda$ -ого СПК с катушками взаимодействующих с ним ДПК;  $t$  – текущее время.

Благодаря принятым конструкционным мерам [1],  $i_s^{\lambda}$  изменяются медленно и, во время движения поезда, могут считаться равными между собой и постоянными

$$i_s^{\lambda} = i_s = const \forall \lambda \in [1, K], \quad (4)$$

где  $K$  – число СПК МЛП. Значение же  $E$  следует выбирать так, чтобы по обеим сторонам от  $\lambda$ -го СПК в не учитываемых во взаимодействии с ним ДПК величины  $\sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho < \chi_{\lambda} - E \vee \rho > \chi_{\lambda} + E, \kappa = u \vee \kappa = l$ , даже в неравновесном состоянии ЛУ, были бы пренебрежимо малы.

СПК движется относительно ДПК. Поэтому  $L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu}, M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho, \mu \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]; \lambda \in [1, K]; \kappa = u \vee \kappa = l$  имеют циклически изменяющиеся значения. Это приводит к нестационарности уравнений (2), (3) и снижает ценность версии модели. Для устранения этого недостатка, реализацию ЛС МЛП следует рассматривать в координатных системах, в которых СПК и взаимодействующие с ними ДПК условно взаимно неподвижны. В таком качестве, удобно принять [5] системы  $C_{\zeta} \eta^{\mu} \forall \zeta \in [1, K], \mu \in [1, 3]$ , каждая из которых жёстко связана с  $\zeta$ -ым СПК. Инерциальными  $C_{\zeta} \eta^{\mu} \forall \zeta \in [1, K], \mu \in [1, 3]$  не являются. В то же время, желательно [10], чтобы уравнения динамики ЛС МЛП имели тензорный характер. Для этого [11] в равенствах типа (2) от локальных производных  $\frac{d}{dt}$  следует перейти к абсолютным  $\frac{D}{dt}$ , а в модели (2), (3) – к координатам  $\eta_{\zeta}^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ . По отношению к произвольному вектору  $\eta_{\alpha}^{\tau}$ , соотношение между упомянутыми производными, как известно, имеет вид [11]:

$$\frac{D}{dt} \eta_{\alpha}^{\tau} = \frac{d}{dt} \eta_{\alpha}^{\tau} + e_{\tau\mu\nu} \cdot \omega_{\mu} \cdot \eta_{\alpha}^{\nu}, \quad (5)$$

где  $e_{\tau\mu\nu}, \omega_{\mu}$  – символ Леви-Чивита, а также вектор угловой скорости вращения  $C_{\alpha} \eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ .

После указанной замены, соотношения, полученные из (2), приобретают тензорный характер и их форма становится инвариантной по отношению к координатам, в которых они записаны. Переход к координатам  $\eta_{\alpha}^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$  осуществим согласно выражениям:

$$\eta_{\alpha}^{\mu} = g_{\rho}^{\mu} \cdot \varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3], \quad (6)$$

где  $g_{\rho}^{\mu}$  – матрица преобразования координат:

$$g_{\rho}^{\mu} = \frac{\partial \eta_{\alpha}^{\mu}}{\partial \varepsilon^{\rho}} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3]. \quad (7)$$

На оси  $\eta_{\alpha}^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$  и  $\varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]$  могут проектироваться любые векторы, характеризующие ЛС в системах  $C_{\alpha} \eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$  и  $Q \varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]$ . В частности, ими могут быть векторы токов и э. д. с.

Выражения для связей вида:

$$\eta_{\alpha}^{\mu} = \eta_{\alpha}^{\mu}(\varepsilon^{\rho}) \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3] \quad (8)$$

могут быть получены исходя из того, что [5], в процессе координатного преобразования, его инвариантами являются амплитуды токов в контурах, а также их э. д. с. С помощью же матрицы:

$$g_{\mu}^{\rho} = \frac{\partial \varepsilon^{\rho}}{\partial \eta_{\alpha}^{\mu}} = (g_{\rho}^{\mu})^T \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3], \quad (9)$$

осуществимо обратное преобразование

$$\varepsilon^{\rho} = g_{\mu}^{\rho} \cdot \eta_{\alpha}^{\mu} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3]. \quad (10)$$

В выражениях (3) для  $\sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$ , значения  $M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$  существенно зависят от взаимного расположения  $\lambda$ -го СПК и ДПК, взаимодействие с которыми для него рассматривается. Поэтому

$$M_{\rho\lambda}^{\kappa} = M_{\rho\lambda}^{\kappa}(w_{\lambda}) \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l, \quad (11)$$

где  $w_{\lambda}$  – координата, определяющая положение  $\lambda$ -го СПК относительно начала движения МЛП. ДПК вдоль трассы располагаются регулярно, поэтому зависимости (11) имеют гармонический характер. Современные способы измерения позволяют [12] экспериментально-расчётными методами, с приемлемой точностью, определять текущие значения взаимных индуктивностей контуров магнитосвязанных цепей. Поэтому зависимости (11) могут строиться поточечно на требуемой сетке  $w_{\lambda}$ . Далее, с использованием, например, методов полиномиальной регрессии [13], доступных в ряде систем компьютерной математики (например, Mathematica), зависимостям вида (11) может быть придана форма аналитических выражений.

С учётом (4), выражения (3) преобразуемы к виду

$$\sigma_{\rho\lambda} = \sigma_{\rho\lambda}^u - \sigma_{\rho\lambda}^l; \quad \sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} = -i_s^{\lambda} \cdot \dot{w}_{\lambda} \cdot \frac{d}{dw_{\lambda}} M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l, \quad (12)$$

где  $\dot{w}_{\lambda}$  – скорость продольного движения  $\lambda$ -го СПК относительно пути. Выражения для  $\frac{d}{dw_{\lambda}} M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$  получаемы, с использованием созданных описанным путём в форме аналитических выражений, зависимостей вида (11). Итак, каждый из  $\lambda$  векторов  $\overline{\sigma_{\rho\lambda}} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]$  определён в системе  $Q\varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]$ . Далее, с использованием (6) – (8), каждый такой вектор может быть определён в системе  $C_{\zeta}\eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ .

Выражения, получаемые из (2) и (3) их трансформацией в триэдр  $C_{\zeta}\eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$  с использованием соотношений (5) и (6), приобретают вид

$$\sigma_{\mu\lambda} = L_{\mu i} \cdot \left( \frac{d}{dt} i^{\mu} + e_{\mu\xi\nu} \cdot \omega_{\xi} \cdot i^{\nu} \right) + L_{\mu r} \cdot \left( \frac{d}{dt} i^r + e_{r\xi\sigma} \cdot \omega_{\xi} \cdot i^{\sigma} \right) + r_{\mu} \cdot i^{\mu} \forall \mu, \nu, \xi, \tau, \sigma \in [1, 3]; \quad (13)$$

$$\sigma_{\mu\lambda} = g_{\rho}^{\mu} \cdot \sigma_{\rho\lambda} \forall \rho \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)]; \mu \in [1, 3]$$

$$\sigma_{\rho\lambda} = \sigma_{\rho\lambda}^u - \sigma_{\rho\lambda}^l; \quad \sigma_{\rho\lambda}^{\kappa} = -i_s^{\lambda} \cdot \dot{w}_{\lambda} \cdot \frac{d}{dw_{\lambda}} M_{\rho\lambda}^{\kappa}$$

$$\forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})], \kappa = u \vee \kappa = l. \quad (14)$$

Уравнения (13) стационарны, тензорны и описывают электродинамику ЛУ МЛП в координатах  $i^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ . После их разрешения относительно  $i^\mu \forall \mu \in [1, 3]$ , последние, с использованием (10), преобразуются в  $i^\rho \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})]$ , то есть – в реальные токи ДПК.

Магнитная цепь ЛУ не насыщена [1]. Поэтому она может считаться условно-линейной подсистемой, к которой применим принцип аддитивности. Поэтому, результирующее поле ДПК в любой точке пространства  $O\Xi_\chi \forall \chi \in [1, 3]$ , в котором движется  $\lambda$ -ый СПК относительно ДПК, описуемо как сумма полей отдельных модулей ДПК:

$$B_{\mu\lambda} = B_{\mu\rho\lambda} \cdot e^\rho; e^\rho = 1; \quad \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})], \mu \in [1, 3], \quad (15)$$

где  $B_{\mu\lambda}, B_{\mu\rho\lambda} \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})], \mu \in [1, 3]$  – компоненты индукции поля, всех (учитываемых во взаимодействии с  $\lambda$ -ым СПК) модулей ДПК, а также отдельных таких модулей. Значения же  $B_{\mu\beta\lambda} \forall \mu \in [1, 3]$  для  $\beta$ -ого модуля ДПК, определимы выражениями

$$B_{\mu\beta\lambda} = B_{\mu\beta\lambda}^u - B_{\mu\beta\lambda}^l \quad \forall \mu \in [1, 3], \quad (16)$$

где  $B_{\mu\beta\lambda}^\kappa \forall \mu \in [1, 3], \kappa = u \vee \kappa = l$  – компоненты индукции поля токов катушек  $\beta$ -го ДПК. Выражения для  $B_{\mu\rho\lambda}^\kappa (i^\rho) \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})], \mu \in [1, 3], \kappa = u \vee \kappa = l$  получены в [14]. Далее, в (16) подставляются значения токов  $i^\rho \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})]$  и, таким образом, находятся значения  $B_{\mu\rho\lambda} \forall \rho \in [(\overline{\chi_\lambda - E}), (\overline{\chi_\lambda + E})], \mu \in [1, 3]$ , а по ним, согласно (15), – и  $B_{\mu\lambda} \forall \mu \in [1, 3]$ .

Пространство системы  $O\Xi_\chi \forall \chi \in [1, 3]$  – евклидово. Поэтому значение модуля вектора полной индукции поля токов ДПК, взаимодействующих с  $\lambda$ -ым СПК:

$$B_\lambda = \sqrt{B_{\mu\lambda}^{(2)} \cdot e^\mu}; e^\mu = 1 \quad \forall \mu \in [1, 3]. \quad (17)$$

**Выводы.** Создана гибридная парадигма моделирования ЛС МЛП, ассимилирующая достоинства теорий цепей и поля, но свободная от их недостатков. Построена ГМ ЛС МЛП, не имеющая дефектов предыдущих версий модели. Этим решена задача настоящей части исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / В. А. Дзензерский, В. И. Омеляненко, С. В. Васильев, В. И. Матин, С. А. Сергеев – К. : Наук. думка, 2001. – 479 с.
2. Бочаров В. И. Транспорт на сверхпроводящих магнитах / В. И. Бочаров, И. С. Салли, В. А. Дзензерский – Ростов-на-Дону.: Изд-во РГУ, 1988 – 152 с.
3. Takahashi T. Suspension characteristics of magnetically suspended high-speed trains / T. Takahashi, K. Okuyama // Hitachi Review – 1972. – 21, № 8. – P. 59 – 66.
4. Takano I. Characteristics of magnetic levitation for high-speed trains / I. Takano // Proc. 4-th Int. Cryog. Eng. Conf. – Eindhoven, 1972. – P. 188 – 190.
2. Электрические машины (специальный курс) / Г. А. Сипайлов, Е. В. Кононенко, К. А. Хорьков – М.: Высш. шк., 1987. - 287 с.
3. Львович А. Ю. Электромеханические системы / А. Ю. Львович – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 296 с.
4. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин / И. П. Копылов – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Л. А. Бессонов – М.: Высш. шк., 1996. – 578 с.
6. Арменский Е. В. Единая теория электрических машин / Е. В. Арменский, И. В. Кузина – М.: Изд-во Московск. ин-та электрон. машиностроен., 1975. – 256 с.
7. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике / Г. Крон – М., Л. : Госэнергоиздат, 1955. – 275 с.
8. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ / П. К. Рашевский – М.: Наука, 1967. – 644 с.
9. Панфилов В. А. Электрические измерения / В. А. Панфилов – М.: Издат. дом «Академия», 2006. – 288 с.
10. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Е. Корн – М.: Наука, 1973. – 831 с.
11. Бирюков В. А. Магнитное поле прямоугольной катушки с током / В. А. Бирюков, В. А. Данилов // Журнал технической физики. – 1961. – Т. XXXI, № 4. – С. 428 – 435.

## ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МАТРИЧНІ МОДЕЛІ

*Прокудін Г.С., Чунайленко О.А., Прокудін О.Г., Дудник О.С., Пилипенко Ю.В.*

*Національний транспортний університет*

(м. Київ, Україна)

**Вступ.** Рішення сітьових транспортних задач безпосередньо на транспортній мережі не дозволяє здійснювати алгоритмізацію та подальшу автоматизацію пошуку оптимального плану перевезень на базі сучасної комп'ютерної техніки. Більш доцільним є представлення транспортної мережі у матричному вигляді, що дозволяє здійснити алгоритмізацію пошуку оптимального рішення. Такий підхід дозволить значно спростити процедуру рішення і зняти обмеження на типи розв'язуваних сітьових транспортних задач.

**Актуальність досліджень.** Більш доцільним є представлення транспортної мережі у матричному вигляді – транспортної таблиці (ТТ), що дозволяє здійснити алгоритмізацію пошуку оптимального рішення. В роботі запропонована модифікація загальновідомого алгоритму Дейкстри [1].

**Постановка задачі.** Для вирішення сітьової транспортної задачі (ТЗ), її, в першу чергу, необхідно привести до класичного матричного вигляду – ТТ, який має багато стандартних методів знаходження оптимальних планів перевезень [1,2]. Зробити це можна лише одним шляхом: знайти «найкоротші» шляхи від кожного постачальника до кожного споживача вантажу, та вважати їх єдиними можливими довжинами, які дорівнюють сумарній довжині усього шляху від відповідного постачальника до відповідного споживача.

**Результати досліджень.** На перший погляд ця задача достатньо проста, але зрозуміло, що на «найкращій» маршрут можуть впливати багато факторів. Наприклад, до цих факторів можуть відноситися: час проходження маршруту з врахуванням обмеження швидкості; очікувана тривалість поїздки з врахуванням дорожніх умов та щільності руху; затримки, визнані проїздом через місто або об'їздом міст; число міст, які необхідно відвідати, наприклад в цілях доставки товару; обмеження на пропускні здатності усіх або окремих ділянок транспортної мережі та інші. Будемо вирішати задачу пошуку найкращого маршруту в розумінні найкоротшої відстані. В термінах мережі задача зводиться до відшукування найкоротшого шляху між двома заданими вершинами.

Розмірність мережевої ТЗ у матричному вигляді значно збільшується і стає рівною:

$$(m+n+p) \cdot (m+n+p), \quad (1)$$

де  $m$  – кількість постачальників;  $n$  – кількість споживачів;  $p$  – кількість проміжних транспортних вузлів.

Саме через це суттєво ускладнюється пошук оптимального плану перевезень за рахунок значного збільшення обсягу обчислювальних операцій. Вищезазначений недолік матричного представлення мережевої ТЗ змушує шукати шляхи до зменшення розмірності її матричного представлення. Це особливо актуально при розв'язуванні мережевих ТЗ великої розмірності.

Звичайно, для зменшення розмірності транспортної таблиці мережевої ТЗ можна застосувати відомі методи декомпозиції ТЗ на певну кількість підзадач [3], але це потребує додаткових попередніх зусиль як на саму декомпозицію ТЗ на окремі ТЗ меншої розмірності, так і на подальший їх синтез в єдине ціле. Це дає можливість значно зменшити матричну форму мережевої ТЗ без суттєвих змін в її представленні.

Досить ефективним засобом спрощення мережевої ТЗ і приведення її до класичної форми матричної ТЗ є попереднє застосування алгоритмів пошуку найкоротших відстаней між транспортними вузлами (ТВ) мережевої ТЗ і прийняття гіпотези про те, що перевезення в мережі транспортних кореспонденцій між будь-якими не зв'язаними ТВ здійснюватимуться не інакше, як найкоротшими («найдешевшими») шляхами через проміжні ТВ. У разі такого припущення ці транспортні таблиці набуватимуть класичного

вигляду з відповідними відстанями (або найдешевшими вартостями перевезення одиниці вантажу) від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го споживача.

Задача про найкоротші шляхи належить до фундаментальних задач комбінаторної оптимізації на графах, оскільки більшість таких задач можна звести до відшукування найкоротшого шляху на мережі. Існують різні типи задач про найкоротший шлях: між двома заданими вершинами; між даною вершиною та всіма іншими вершинами мережі; між кожною парою вершин у мережі; між двома заданими вершинами для шляхів, які проходять через одну або декілька заданих вершин; перший, другий, третій і т. д. найкоротші шляхи у мережі.

На сьогодні таких алгоритмів розроблено досить багато, але практично на увагу заслуговують лише декілька з них, зокрема відомий алгоритм *Дейкстри* [4]. За допомогою цього алгоритму шукають на графі «найдешевший» шлях від певної завчасно визначеної вершини  $V_0$  (джерела) до вказаної вершини  $V_k$ . При цьому він бере до уваги вартість та довжину шляху й оновлює вузли, якщо до них знайдені більш кращі шляхи. Єдина умова при роботі алгоритму *Дейкстри* – позитивні ціни шляхів, що повністю відповідає нашим умовам. В роботі пропонується певна модифікація зазначеного алгоритму, яка полягає у включенні до нього впорядкованої системи перебору вершин-постачальників ( $m$ ), з одного боку, та вершин-споживачів ( $n$ ), із другого. Тобто додаємо ще один цикл – цикл перебору усіх постачальників, як вершину  $V_0$ , та усіх споживачів, як вершину  $V_k$ . Завдяки цьому можна знайти найкоротші шляхи від кожного постачальника до кожного споживача і безпосередньо визначити вартісні характеристики перевезень вантажу.

Потім застосувавши до отриманої матриці найкоротших маршрутів один із стандартних методів знаходження оптимальних планів перевезень (симплексний, метод потенціалів, метод диференціальних рент) [3,5], можна одержати оптимальний план перевезень, у якому вже враховано проходження вантажів через проміжні вузли графу мережевої ТЗ.

**Висновки.** Розв'язання сітьових транспортних задач, особливо великої розмірності, безпосередньо на транспортній мережі не дозволяє здійснювати алгоритмізацію та подальшу автоматизацію пошуку оптимального плану перевезень на базі сучасної комп'ютерної техніки.

Більш доцільним є представлення транспортної мережі у матричному вигляді, що дозволяє здійснити алгоритмізацію пошуку оптимального рішення. В роботі запропонована модифікація існуючого алгоритму Дейкстри, що дозволяє значно спростити процедуру рішення і зняти обмеження на типи вирішуваних сітьових транспортних задач.

Використання запропонованого підходу до знаходження оптимальних планів перевезення вантажів на транспортних мережах великої розмірності (наприклад транспортної системі України з 602 транспортними вузлами) показав його універсальність, ефективність і працездатність.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ящук О.В. Оптимізація перевезень на транспортній мережі з обмеженнями на пропускні спроможності комунікацій / О.В. Ящук, Г.С. Прокудін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ. – 2004. – № 68. – С. 185 – 194.
2. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, Монографія. – 2006. – 224 с.
3. Прокудін Г.С. Організація перевезень вантажів на транспортній мережі з обмеженнями на пропускні здатності її вузлів і комунікацій / Г.С. Прокудін // Вісник НТУ та ТАУ, Частина 2, № 15. – К.: НТУ, 2007. – С. 152 – 161.
4. Прокудін Г. С. Модифікація методу Дейкстри стосовно розв'язання сітьових транспортних задач / Г.С. Прокудін // Вісник ТАУ, УТУ. – 2002. – № 7. – С. 195 – 198.
5. Прокудін Г.С. Комп'ютерні технології статистичного аналізу на транспорті : навчальний посібник / Г.С. Прокудін, В.Д. Данчук, О.І. Цуканов, Н.М. Цимбал. – К. : НТУ, 2013. – 280 с.



## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АЭРОДИНАМИКИ J-ЛОПАСТИ РОТОРА ДАРЬЕ

**Тарасов С.В., Редчиц Д.А.**

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины*  
(Украина);

**Моисеенко С.В.**

*Херсонский национальный технический университет*  
(Украина)

**Тарасов А.С.**

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины*  
(Украина)

За последнее десятилетие большое распространение получили вертикально-осевые (ВО) ветроэнергетические установки (ВЭУ). В их конструкциях используются хорошо известные роторы Савониуса, Дарье и их комбинации. Ротор Савониуса работает за счет силы лобового сопротивления в отличие от ротора Дарье, использующего действие подъемной силы.

Дальнейший прогресс в совершенствовании ВО ВЭУ может быть связан с внедрением аэродинамических профилей нового типа. Новая форма профиля, так называемый J-профиль, получается, если у стандартного профиля вырезать часть несущей поверхности (рис. 1). Предполагается, что данная форма профиля позволяет работать лопасти ротора Дарье, как за счет подъемной силы, так и за счет силы лобового сопротивления. Применение J-профиля лопасти может повысить эффективность работы ВЭУ в целом, избежать возникновения «мертвых зон» и снизить минимальную скорость ветра необходимую ротору Дарье для самозапуска и работы.

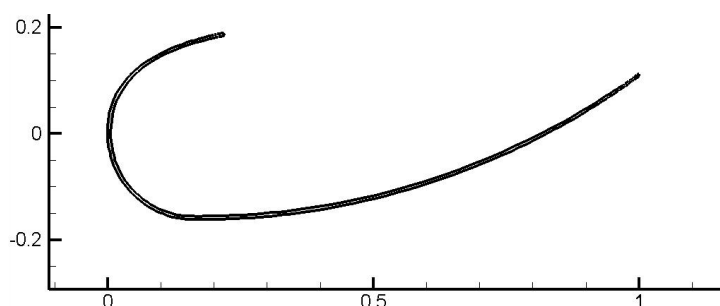


Рисунок 1 – Геометрия J-профиля

В сравнении с классическими, сверхкритическими и многоэлементными профилями J-профиль представляет собой новое семейство профилей, аэродинамические свойства которого фактически не изучены.

В настоящее время отсутствуют результаты численного моделирования этого класса течений. Имеются отдельные разрозненные данные по применению J-профиля в качестве лопасти в экспериментальных ВО ВЭУ. Однако это скорее эвристический подход, чем продуманная техническая конструкция.

Целью настоящей работы является систематическое исследование аэродинамики J-профиля ротора Дарье на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса несжимаемой жидкости. Рассматривается турбулентное обтекание данного профиля для произвольного угла атаки (круговая продувка).

Для моделирования турбулентности используется два подхода. Первый, основанный на моделировании на базе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS), с использованием дифференциальной однопараметрической модели Spalart-Allmaras, адаптированной к тензору скоростей деформаций (SALSA), а второй –

гибридный подход, основанный на моделировании отсоединенных вихрей с задержкой (DDES).

Результаты вычислительных экспериментов для нулевого угла атаки показали, что подход, основанный на моделировании крупных вихрей с задержкой (DDES), лучше воспроизводит нестационарные физические особенности, возникающие при обтекании J-профиля (рис. 2 а, б). Во внутренней полости J-профиля формируется каскад вихрей, которые взаимодействуют между собой и вихрями, сходящими с острой кромки. Образуется нестационарная отрывная область, из которой периодически выбрасываются вихревые структуры в область основного течения.

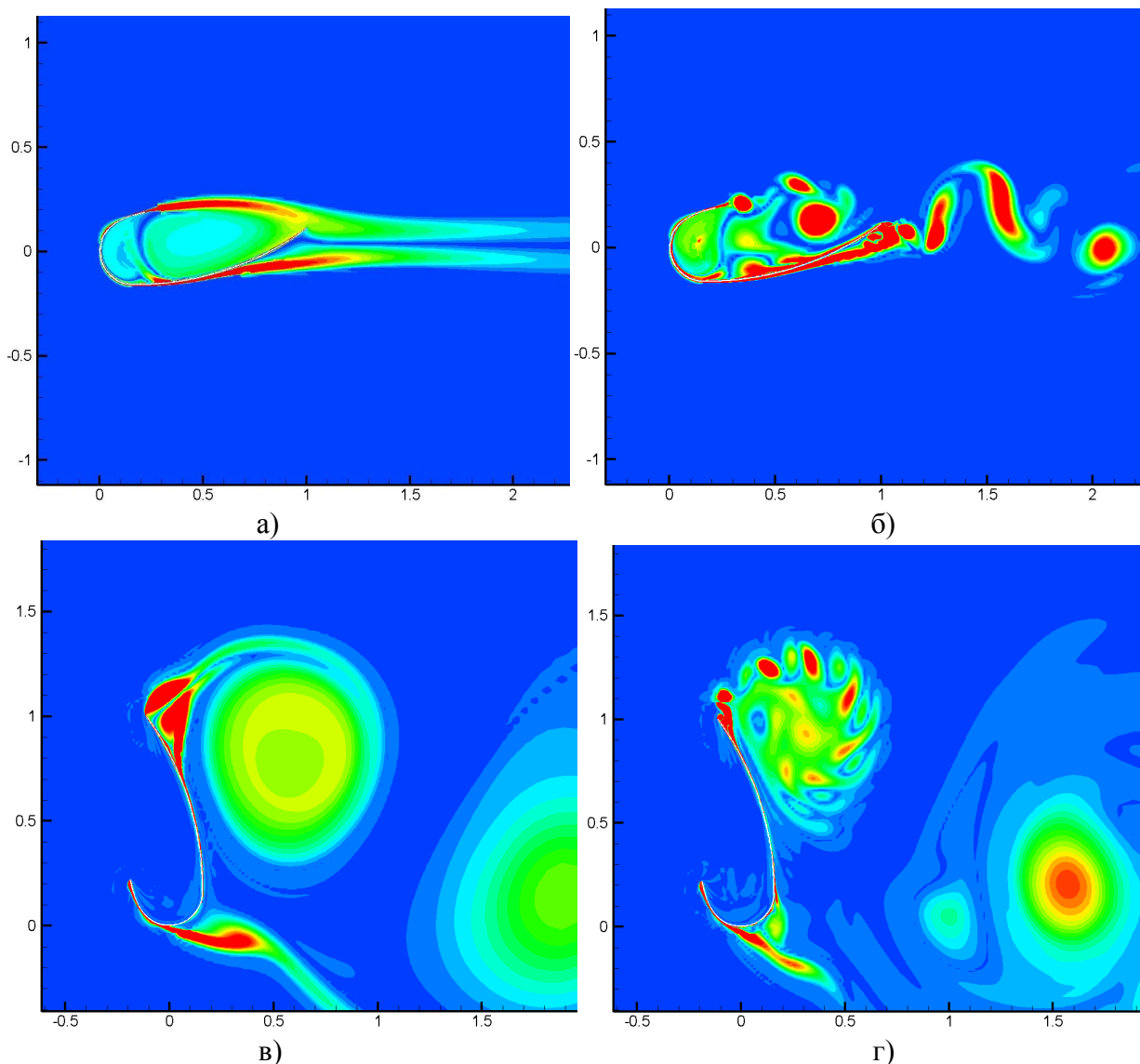
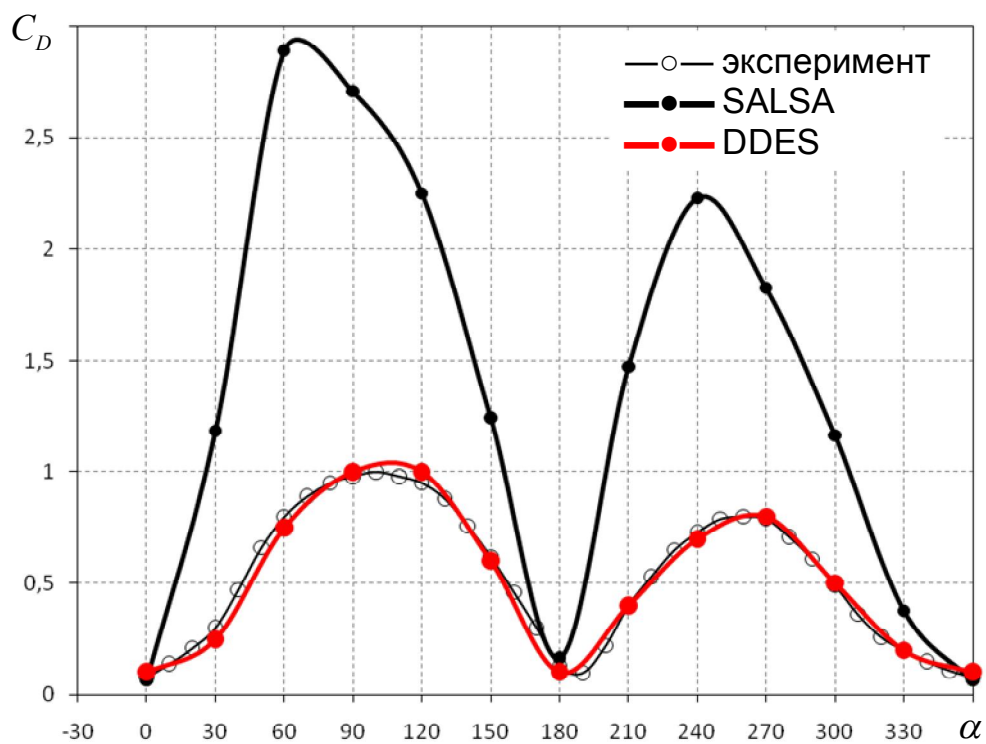


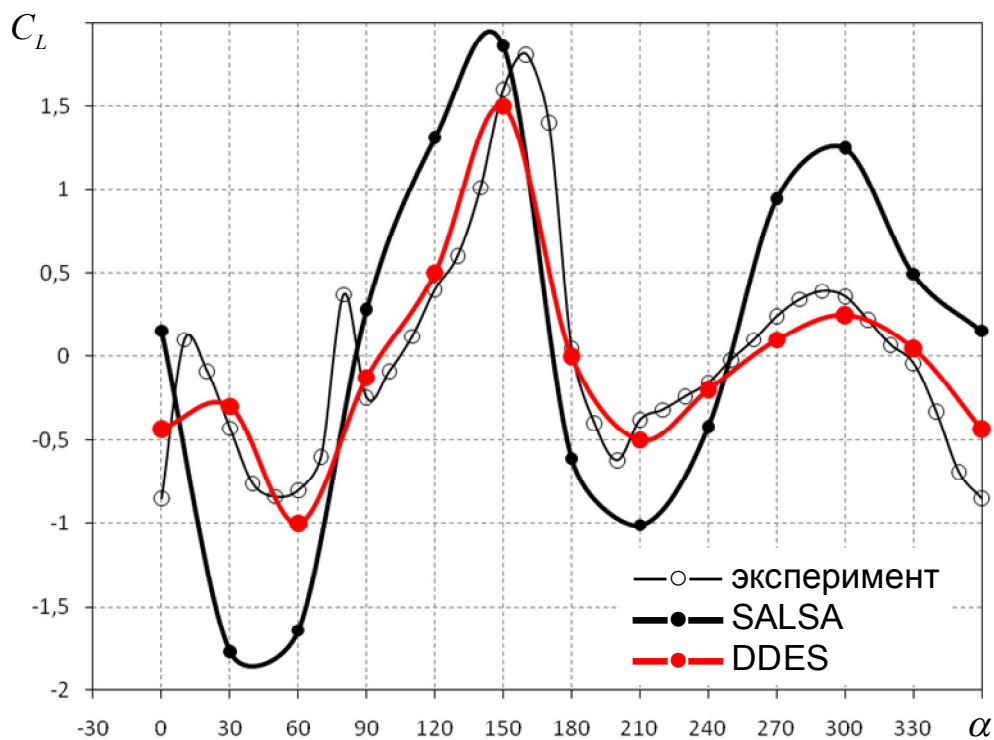
Рисунок 2 – Турбулентное обтекание J-профиля при углах атаки  $0^\circ$  (а, б) и  $90^\circ$  (б, г) моделями турбулентности SALSA (а, в) и DDES (б, г)

Существенные нестационарные явления наблюдаются при больших углах атаки профиля, хотя применяемые подходы дают несколько разную численную реконструкцию структуры потока (рис. 2 в, г). Так использование модели SALSA приводит к массивному отрыву с формированием в верхней части профиля одного крупного вихря, сопоставимого по размерам с хордой профиля. Наличие массивных вихрей в подветренной области профиля связано со слабым восстановлением давления в этой области, что дает завышенные значения коэффициента лобового сопротивления. В то же время применение DDES подхода приводит к формированию несколько меньшей зоны отрыва с серией мелких вихрей большей интенсивности. Такая картина обтекания представляется более

реалистичной, обеспечивает лучшее согласование с экспериментальными данными (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов лобового сопротивления (а) и подъемной силы (б) J-профиля от угла атаки

## АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СУДНА

*Рябенский В.М.*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала С.И. Макарова*

*(г. Николаев, Украина);*

*Короленко А.В., Иванов А.А., Авраменко Н.Н.*

*Херсонская государственная морская академия*

*(Украина)*

**Введение.** Характеристики судового электрооборудования при эксплуатации в динамике значительно отличаются от различных судовых условий работы электроэнергетической системы. Основной вклад при этом вносит реактивная энергия.

**Актуальность исследований.** Современные суда оснащены системами электродвижения на основе гребных электрических установок (ГЭУ) с винторулевой колонкой (ВРК). Такие пропульсивные комплексы обеспечивают высокую маневренность при различных режимах движения судна и получают электропитание от единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС). Однако, при различных режимах маневрирования судна, происходит уменьшение коэффициента мощности и увеличение содержания высших гармоник в потребляемом токе за счет появления реактивной мощности, что оказывает влияние на снижение надежности работы потребителей, увеличение потерь электроэнергии. Двигатели винторулевых колонок питаются от сети через преобразователи частоты, которые при широком диапазоне регулирования генерируют значительную реактивную мощность. Мощности двигателей ВРК в несколько раз меньше мощности синхронных генераторов. Поэтому, в динамических режимах их работы генерируемая преобразователями частоты реактивная мощность приводит к значительным колебаниям напряжений сети, которые не могут быть скомпенсированы возбуждением синхронных генераторов. В силу значительных колебаний напряжений возможно появление аварийных ситуаций в электроэнергетике судна, приводящих к отключению отдельных потребителей. Компенсация реактивной мощности и фильтрация возникающих высших гармоник токов является актуальной проблемой и обуславливается поиском новых средств, обеспечивающих высокое качество электроэнергии.

**Постановка задачи.** Провести анализ и мониторинг появления реактивной мощности на судне с электродвижением с помощью интегрированной автоматизированной системы контроля судовой электроэнергетической установки судна.

**Результаты исследований.** Увеличение выработки реактивной мощности в режиме наибольших активных нагрузок, за счет снижения генерации активной мощности, экономически нецелесообразно. Эффективнее, вместо снижения активной мощности генераторов электростанций, применять для выработки реактивной мощности компенсирующие устройства [1, 2]. Решение этой проблемы возможно лишь путем установки быстродействующих систем компенсации реактивной мощности, эквивалентных по быстродействию электроприводам рулевых колонок.

Реактивная составляющая обязательна при работе многих установок, т. е. она не может быть исключена полностью. Поэтому целесообразно применять средства, предназначенные для уменьшения ее потребления из питающей сети. Совместная работа компенсирующих устройств с сетью ведет к уменьшению потребления из нее реактивной составляющей тока [3]

Применению устройств компенсации реактивной мощности должен предшествовать тщательный технико-экономический анализ в связи с высокой стоимостью и достаточной сложностью этих устройств [4].

На современных судах при использовании современных технологий, а в частности

(IAS – Integrated Automation System) интегрированная автоматизированная система контроля судовой электроэнергетической установкой судна появляется возможность записи истории многочисленных параметров мониторинга судовой электроэнергетической системы.

При возникновении всевозможных неполадок или сбоев системы всегда можно отследить на момент поломки, какие параметры системы вышли из своего рабочего диапазона и проанализировать вследствие чего это случилось.

При помощи мониторинга возможно за какой-то промежуток времени (истории) просмотреть как стабильно работала система, были ли какие-либо сбои или возмущающие факторы при работе системы. Либо же проанализировать причину поломки. Такой анализ позволяет квалифицированно проводить поиск неисправностей, и даже при использовании статистики работы системы избежать поломки.

С помощью установленной на судне системы мониторинга удалось установить связь между появлением аварийных режимов и колебаниями реактивной мощности. (аварийные режимы обусловлены отключением отдельных потребителей оснащенных защитой от повышения или понижения напряжения). В работе использовалась современная система мониторинга (IAS «Hoglund») сейсмического судна с электродвижением и высоковольтной системой генерирования и распределения электроэнергии (рис. 1).



Рисунок 1 – Выявление реактивной составляющей с помощью IAS «Hoglund»

Анализ рис.1 с помощью IAS «Hoglund» показал, что реактивная составляющая возникает при работе 3 генератора. Для предотвращения влияния реактивной мощности на потребители была разработана судовая автоматизированная электроэнергетическая система, состоящая из двух цепей – высоковольтной (4 кВ) и низковольтной (450 В), вырабатывающей напряжение отдельными генераторами и позволяющей устранить влияние реактивной энергии на низковольтные потребители.

#### Выводы.

1. Для снижения активной мощности генераторов в последнее время активно используются реактивные компенсаторы.
2. Для устранения влияния возникающей реактивной мощности возможно использовать отдельные цепи – высоковольтные и низковольтные, контролируемой интегрированной автоматизированной системой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зимин Е. Н., Кацевич В. Л., Козырев С. К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.
2. Жежеленко И. В., Рабинович М. Л., Божко В. М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 160 с.
3. Красник В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 136 с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. В. М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.

## СИНТЕЗ ПІД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-РЕГУЛЯТОРІВ У СИСТЕМАХ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВА СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Сіманенков А.Л.

Херсонська державна морська академія  
(Україна)

**Вступ.** В суднових енергетичних установках (СЕУ) передача теплоти частіше за все відбувається у трубчатих або пластинчатих теплообмінних апаратах [1, 2]. Для таких апаратів характерно, що теплова ємність зі сторони потоку який нагрівається та зі сторони гріючого агента розподілена рівномірно упродовж всієї довжини теплообмінника.

Для отримання частотних характеристик навіть розімкнутої системи потрібно провести дуже ємнісні розрахунки. У випадку багатоходових теплообмінників або таких, де відбувається різка зміна швидкостей чи інших фізичних властивостей потоку, динамічні характеристики визначаються лише за допомогою спеціалізованих комп'ютерних алгоритмів. Проте можна відзначити, що аналітичний опис динаміки теплообмінних апаратів супроводжується складними розрахунками, але процес автоматичного регулювання представляє собою доволі просту процедуру, за виключенням випадків, коли необхідно отримати високу точність регулювання. Такі задачі властиві, наприклад, при регулюванні в'язкості палива суднових двигунів внутрішнього згоряння (СДВЗ) з електронним керуванням упорскування палива типу RT-flex [1, 2, 4, 10].

**Актуальність дослідження.** В суднових системах підготовки палива широко застосовують автоматичні системи управління (АСУ), які реалізовані з використанням ПІ, ПІД-регуляторів [3, 6 - 8]. Використання графоаналітичних методів розрахунку налаштувань ПІД-регуляторів та якість перехідних процесів, зазвичай, оцінюється лінійним інтегральним критерієм. Але таке оцінювання може бути використане лише для монотонних та знакопостійних процесів. Обмеження на запас стійкості САР у такому випадку може гарантувати затухаючі перехідні процеси, де оцінювання процесу, з достатньою точністю, виконується на основі лінійного інтегрального критерію. Проте, це не виключає використання його коливальної характеристики, а задача знаходження мінімального лінійного інтегрального критерію вирішується аналітично.

Використання модульного або квадратичного інтегрального критерію якості перехідних процесів з обмеженням запасу стійкості буває надлишковим. При цьому існують випадки, коли потрібно реалізувати високу точність ідентифікації об'єкта управління (предикатор Смітта) [4, 5]. Тому обмеження на запас стійкості повинно бути задано явно або отримано з підінтегральної функції.

**Постановка задачі.** Для виконання порівняльного аналізу роботи систем автоматичного регулювання (САР) з ПІД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>, ПІД<sup>2</sup>-регуляторами та САР з керуючим пристроєм, ПІД-регулятором та компенсатором, а також знаходження оптимальних параметрів налаштування багато-параметричного регулятора та керуючого пристрою, що включає ПІД-регулятор з компенсатором, використано комп'ютерне середовище «Matlab» [99].

Для оптимізації параметрів алгоритмів керування, що аналізуються, значення цільових функцій були визначені з використанням імітаційної цифрової моделі системи регулювання з перетворенням за методом Рунге-Кутти 2-го порядку. При цьому, моделювання системи регулювання зведено до моделювання аперіодичних ланок, а використання методу Рунге-Кутти значно знизило чутливість моделі до інтервалу дискретності.

В якості цільової функції використано площу перехідного процесу у вигляді інтегралу за модулем відхилення величини регулювання  $I_{M,\lambda} = \int |y(t)| dt$  при одиничному ступеневому впливі  $\lambda(t) = 1$  по каналу регулюючого органу. Такий вигляд цільової

функції в залежності від інтегралу має екстремальний характер, і таким чином робить стійкою процедуру пошуку оптимальних параметрів налаштувань. Для забезпечення заданого запасу стійкості використаний частотний показник коливальності  $M_{\text{доп}}$ , визначений у вигляді максимального значення амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) замкнутої системи на частоті резонансу  $A_{\text{зс}}(\omega_p)$ .

Рівняння для АЧХ замкнутої системи з багато-параметричним регулятором  $A_{\text{зс,рМ}}(\omega_p)$  та для пристрою керування з компенсатором  $A_{\text{зс,нк}}(\omega_p)$  має вигляд:

$$A_{\text{зс,рМ}}(\omega_p) = \left| \frac{W_{\text{рМ}}(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_{\text{рМ}}(j\omega) \cdot W_o(j\omega)} \right|, \quad (7)$$

$$A_{\text{зс,нк}}(\omega_p) = \left| \frac{W_{\text{нк}}(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_{\text{нк}}(j\omega) \cdot W_o(j\omega)} \right|.$$

Критерій оптимальності за звичайного налаштування регулятора без врахування зміни параметрів об'єкта запишемо у вигляді:

$$F_{\text{opt}} = \begin{cases} I_{M,\lambda} \cdot \left\langle 1 + \left| M_{\text{доп}} - A_{\text{зс}}(\omega_p) \right| \right\rangle, \\ \text{якщо, } A_{\text{зс}}(\omega_p) \triangleright M_{\text{доп}}, \\ I_{M,\lambda}, \text{ якщо, } A_{\text{зс}}(\omega_p) \leq M_{\text{доп}}. \end{cases} \quad (8)$$

Критерій робастного налаштування, що додатково враховує граничний показник коливальності для САР з варіативною передавальною функцією об'єкта регулювання:

$$F_{\text{opt}}^{\text{раб}} = \begin{cases} I_{M,\lambda} \cdot \left\langle 1 + \left| M_{\text{доп}} - A_{\text{зс}}(\omega_p) \right| + \left| M_{\text{доп}}^{\text{раб}} - A_{\text{зс}}^{\text{раб}}(\omega_p) \right| \right\rangle, \\ \text{якщо, } A_{\text{зс}}(\omega_p) \triangleright M_{\text{доп}} \text{ та } A_{\text{зс}}^{\text{раб}}(\omega_p) \triangleright M_{\text{доп}}^{\text{раб}}, \\ I_{M,\lambda}, \text{ якщо, } A_{\text{зс}}(\omega_p) \leq M_{\text{доп}} \text{ та } A_{\text{зс}}^{\text{раб}}(\omega_p) \leq M_{\text{доп}}^{\text{раб}}. \end{cases} \quad (9)$$

де  $\omega_p^{\text{раб}}$  - резонансна частота у САР з варіативними параметрами об'єкта;  $M_{\text{доп}}^{\text{раб}}$  - допустиме значення показника коливальності у САР з варіативними параметрами при відповідній йому частоті  $\omega_p^{\text{раб}}$ .

Для моделювання було використано наступну передавальну функцію об'єкта регулювання:

$$W_0(s) = K \cdot \frac{e^{\tau \cdot s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)^3}, \quad (10)$$

де  $K_o = 3,32$ ;  $\tau = 30$  с ( $\tau_{\text{раб}} = 42$  с);  $T_1 = 55$  с;  $T_2 = 22$  с.

Обмеження на показник коливальності транспортного запізнювання, а також параметри налаштування ПД-регулятора з компенсатором -  $M_{\text{доп}} \leq 1,618$ .

Результати досліджень. Якість САР з ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-регулятором за інтегральним показником  $I_{M,\lambda}$  покращується у 1,6 разів у порівнянні з ПДД<sup>2</sup>-регулятором та у 3 рази у порівнянні з ПД-регулятором. Збільшення часу запізнювання  $\tau$  на 40% до  $\tau_{\text{раб}}$  за такого налаштування істотно знижує стійкість системи регулювання, де показник коливальності САР з ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-регулятором збільшується в 3,2 рази, з ПДД<sup>2</sup>-регулятором в 1,9 рази, а з ПД-регулятором в 1,4 рази. Також погіршуються якісні показники  $I_{M,\lambda}$ , які збільшуються у САР з ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-регулятором в 2,5 рази, з ПДД<sup>2</sup>-регулятором в 1,8 рази, а з ПД-регулятором в 1,3 рази.

За дотримання заданого запасу стійкості системи управління, де виконуються умови  $M_{\text{доп}} \leq 1,617$ ,  $M_{\text{доп}}^{\text{раб}} \leq 1,617$ , показник якості регулювання зменшується для ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-регулятора в 1,4 рази, для ПДД<sup>2</sup>-регулятора в 1,25 рази та для ПД-регулятора в



1,12 рази. Різниця між перехідними процесами при звичайних налаштуваннях регулятора для відповідних  $\tau$  та  $\tau_{вар}$  помітно зменшується, як за звичайних налаштувань регулятора, так і при аналогічних варіативних налаштуваннях.

Висновки. Подальше вивчення та розвинення напрямку використання ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>, ПДД<sup>2</sup>-регуляторів у судових системах автоматичного управління є актуальним, насамперед у системах підготовки палива судової дизельної енергетичної установки. Оскільки, процес регулювання ПДД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>, ПДД<sup>2</sup>-регуляторів за інтегральним та диференціальним показниками якісно покращується у порівнянні з ПІД-регулятором, що є вагомим чинником у процесі регулювання в'язкості та температури палива.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сыромятников В. Ф. Наладка автоматики судовых энергетических установок. / В. Ф. Сыромятников.: Справочник. – Л.: Судостроение, 1989. - 352 с.
2. Сыромятников В. Ф. Основы автоматики и комплексная автоматизация судовых пароэнергетических установок. / В. Ф. Сыромятников. Учебник. – М.: Транспорт, 1983. – 312 с.
3. Ротач, В.Я. Расширение границ действия теории автоматического управления теплоэнергетическими процессами / В.Я. Ротач // Тепло- энергетика. – 2009. – № 10. – С. 25–31.
4. Штейнберг Ш. Е. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования. /Ш. Е. Штейнберг, Л. П. Сережин, И. Е. Залуцкий и др. // Промышленные АСУ и контроллеры. Научтехлитиздат, 2004. –№7. –С 1-7.
5. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для ВУЗов. / Под ред. Е. Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
6. Ротач В.Я. Теория автоматического управления; Учебник для вузов/ В. Я. Ротач - 2-е изд., перераб. и доп. – М.:МЭИ, 2004. – 400 с.
7. Ротач В. Я. К расчету оптимальных параметров ПИД регуляторов по экспертным критериям / В. Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. Научтехлитиздат, 2006. -№02. –С 22-29.
8. Денисенко В. ПИД регуляторы: принцип построения и модификации. <http://www.cta.ru/cms/f/342946.pdf>
9. Attaway S. MATLAB: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. 4th Ed. –Butterwonh-Heinemann, 2017. – 598 p.
10. RT-flex Operation & Practical Training Course. <http://dieselturbo.man.eu>

## ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ЗАХИЩЕНІЙ АКВАТОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПІДВОДНОГО АПАРАТА З КЕРУВАННЯМ ЧЕРЕЗ РАДІОБУЙ

Сірівчук А.С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)

**Вступ.** Моніторинг підводної обстановки на захищеній акваторії має за мету спостереження за підводним середовищем з метою виявлення неправомірних дій – несанкціонований доступ до захищених акваторій, незаконна підводна діяльність тощо.

Причому підводний напрямок є сьогодні одним із самих незахищених від можливого нападу терористів. Особливу небезпеку представляють підводні бойові плавці, здатні потай наблизитися до будь-якого об'єкта й нанести по ньому удар[1].

Дальність дії технічних засобів виявлення окремих підводних порушників, заснованих на різних методах, може бути досить різна. Наприклад, для магнітометричних і квазістаціонарних електромагнітних засобів вона становить, як правило, одиниці метрів. Для гідроакустичних засобів (ГАЗ) вона досягає десятків - сотень метрів. Однак функціонування ГАЗ поблизу берега, особливо на мілководді, сильно піддане різним перешкодам (шум прибою, відбиття від неоднородностей дна й ін.). Підвищення завадостійкості ГАЗ у цих умовах вимагає розв'язку ряду складних технічних завдань[1].

**Викладення основного матеріалу.** В наш час найбільш перспективними носіями вимірювального обладнання є телекеровані (прив'язні) та автономні підводні апарати.

Прив'язні підводні апарати (ППА) зв'язані з судном-носієм (СН) гнучким кабель-тросом (КТ), по якому забезпечується електроживлення та передача сигналів керування. Основними перевагами таких апаратів є необмежений час роботи та керування в режимі реального часу. До недоліків відносять обмеження робочої зони з-за кінцевої довжини КТ та складність керування, що обумовлена негативним впливом кабель-тросу [2].

Автономні підводні апарати (АПА) мають бортове джерело живлення і керуються програмно чи за допомогою гідроакустичного каналу зв'язку. Перевагами АПА є значно більша у порівнянні з ППА робоча зона, відносна простота керування. Основними недоліками АПА є неможливість передачі відеозображення у реальному часі, обмежений час роботи під водою та відносно висока вартість.

У роботі для застосування мілководних прибережних зонах пропонується використовувати АПА з оперативним керуванням через радіобуй зв'язку (РБ), який буксирується підводним апаратом за допомогою кабель-буксиру (КБ), рис. 1.

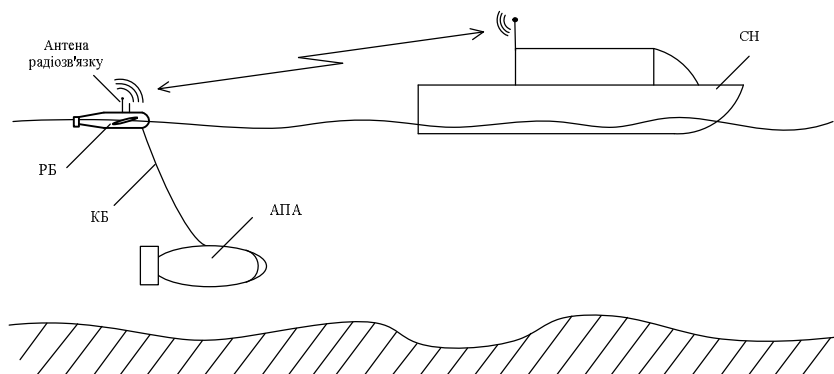


Рис 1 – Технологія роботи підводного апарата

Перевагами такої підводної технології у порівнянні з застосуванням «класичних» ППА і АПА є значно менша залежність від гнучкого зв'язку у воді – кабелю з-за малої глибини, повна незалежність від СН, більша робоча зона і, головне, наявність оперативного двохстороннього радіозв'язку з центром охорони акваторії.

Такий тип АПА з РБ має значно меншу вартість за рахунок малої робочої глибини та можливості оперативного ручного керування і передачі інформації в режимі реального часу.

Одним з показників, що впливають на заданий рух підводного апарата є час обстеження сектору гідроакустичного обладнання ( $t_s$ ) та відстань між шарами сканування простору ( $\delta$ ).

Для сканування товщі води без сліпих зон необхідно визначити базову площу прямокутної форми, яку апарат повинен просканувати. Оскільки підводний апарат є автономним то необхідно забезпечити його роботу з мінімальними затратами енергії. Оскільки робоча зона гідролокатора кругового огляду є коло з радіусом  $R$  то найбільшу площу чотирикутника має квадрат з стороною  $a$ . Для сектора що є половиною кола відповідно половина квадрата (рис 2). Таким чином ефективна площа сканування та її ширина визначається за формулами:

$$S = \frac{a^2}{2} = R^2; \quad (1)$$

$$a = \sqrt{2}R. \quad (2)$$

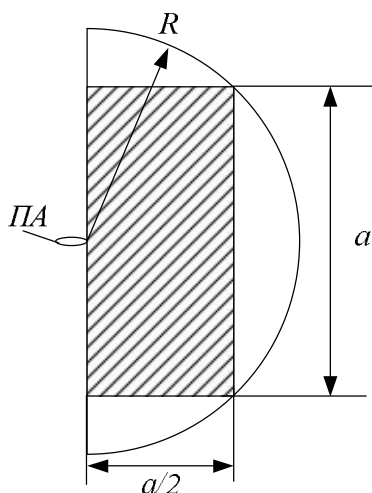


Рисунок 2 – Ефективна площа сканування сонара

Після визначення розмірів ефективної робочої зони та при заданих параметрах глибини  $H$  та відстані між повторними шарами сканування  $\delta$ , при скануванні товщі води, можна визначити маршову та вертикальні швидкості руху апарата (рис 3).

Період між зануренням та підняття апарата не повинен перевищувати довжину ефективної площі сканування, для відсутності «білих плям» при скануванні. Таким чином основні показники швидкості підводного апарата залежать від ефективності скануючого обладнання і визначаються за формулами:

$$t_p = \frac{2H}{\delta} \cdot t_s; \quad (3)$$

$$V_x = \frac{a}{2 \cdot t_p}; \quad (4)$$

$$V_y = \frac{2H}{t_p}. \quad (5)$$

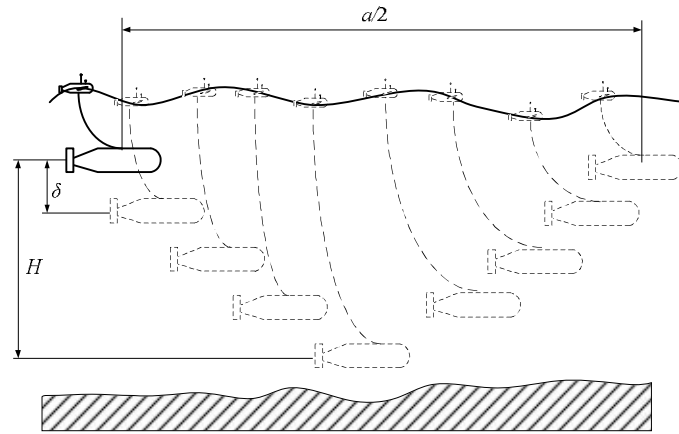


Рисунок 3 – Технологія сканування товщі води

Для проектування підводного апарата даного типу також є важливим необхідним параметром є розмір робочої зони ( $A \times B$ ) (рис. 4). Обстеження апаратом акваторії передбачається повздовжніми галсами.

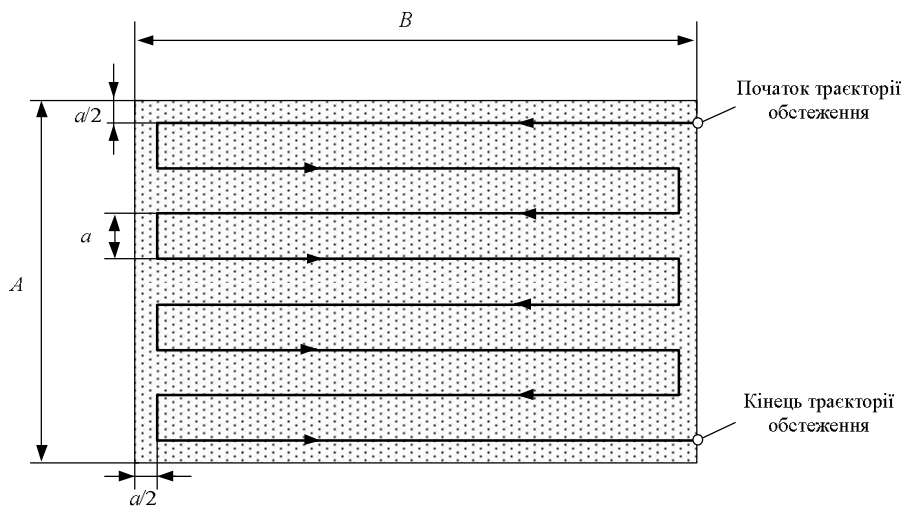


Рисунок 4 – Проходження робочої зони підводного апарата

При проходженні повздовжніми галсами відстань між ними задається шириною ефективної площі сканування  $a$ , також від країв зони сканування відступається довжина зони ефективного сканування  $a/2$ , оскільки вона просканується під час підходу апарата до краю галса. Але слід відзначити, що на початку та кінці маршруту обстеження необхідно проходити до краю зони обстеження. Таким чином пройдений шлях підводним апаратом та час для проведення сканування площі води визначаються за формулами:

$$L = (n_g \cdot n_B + 2 \cdot (n_g - 1) + 2) l_{a/2}; \quad (6)$$

$$t_{\Sigma} = (n_g \cdot n_B + 2 \cdot (n_g - 1) + 2) t_p; \quad (7)$$

де:  $n_g = A/a$  – кількість галсів;  $n_B = 2(B-a)/a$  – кількість циклів сканування товщі води на

одному галсі;  $l_{a/2} = 2 \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{a}{4}\right)^2}$  – довжина шляху одного циклу вимірювань.

Залежність шляху та часу роботи в залежності від ефективною дальності сканування прийме вигляд:

$$L = \left( \frac{A}{a} \cdot \frac{2(B-a)}{a} + 2 \cdot \frac{A-a}{a} + 2 \right) \left( 2 \cdot \sqrt{H^2 + \left( \frac{a}{4} \right)^2} \right); \quad (8)$$

$$t_{\Sigma} = \left( \frac{A}{a} \cdot \frac{2(B-a)}{a} + 2 \cdot \frac{A-a}{a} + 2 \right) t_p. \quad (9)$$

**Висновок.** Представлена технологія моніторингу захищеної акваторії є перспективною при невеликих глибинах і може працювати на великій площі. Представлено розрахунки швидкостей руху підводного апарата, а також залежність шляху та часу роботи від дальності дії гідроакустичного обладнання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Щербаков, Г.Н. Защита важных объектов от подводного терроризма / Г.Н. Щербаков, Ю.А. Шлыков, А.В. Бровин [Электронный ресурс] // Специальная Техника .– 2008. – № 2. – Режим доступа: <http://www.bnti.ru/aprintit.asp?aid=966>
2. Шамарин А. Ю. Мониторинг подводной обстановки в прибрежной зоне и пути его усовершенствования [Текст] /А.Ю. Шамарин // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану): Зб. наук. пр. – Запоріжжя: НТЦ ПАС НАН України, 2006. – № 3. – С. 75-77.
3. Андерсон М. Э. Методы и средства защиты от подводных диверсантов [Электронный ресурс] / Андерсон М. Э., пер. М.Л. Антокольский. – Режим доступа: <http://www.akvilona.ru/news/anti-frogman.htm>
4. Федяев, С. Л. Система активной защиты объектов особой важности, имеющих выход к акватория [Электронный ресурс]/ С. Л. Федяев, В. С. Миткевич, С. А. Козлов, П. А. Маркевич/ Спецтехника и связь.– №2 .–2012.– 26-33с.–Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sistema-aktivnoy-zaschity-obektov-osoboy-vazhnosti-imeyuschih-vyход-k-akvatoriyam>
5. Сиденко, К.С. Защита портов и одиночных судов с помощью необитаемых подводных аппаратов [Электронный ресурс] / К.С. Сиденко, С.А. Голобоков // Ж. Морской Флот .– 2008 .– № 5, – стр. 28. .– Режим доступа : <http://www.morflot.ru/archives/articles1811file.pdf>
6. Сірвчук А. С., Розробка системи інформаційного обміну підводного апарата з керуванням по радіоканалу[Текст]// А. С. Сірвчук// Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК 2016.– 72-75 сс

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ ГАЗА

Скоб Ю. А., Бондаренко Ю. В., Томина И. С.

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»  
(г. Харьков, Украина)

Современные транспортные предприятия связаны с использованием взрывоопасных газов (водорода, метана, пропана и др.). Техногенные аварии обычно сопровождаются внезапным выбросом или утечке последних в атмосферу, формированием взрывоопасных газоздушных смесей с последующим их взрывом и пожаром. В результате таких аварий происходит образование и распространение волны сжатия в атмосфере, ударно-импульсное воздействие которой представляет опасность для здоровья обслуживающего персонала (рис. 1).

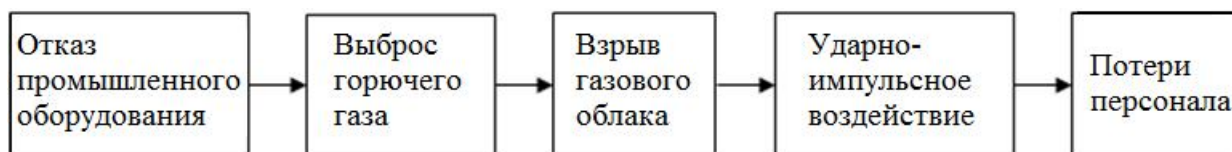


Рисунок 1 – Схема развития техногенной аварии

В инженерной практике часто для оценки масштаба воздействия ударной волны на человека применяют детерминированный подход, основанный на сравнении величины одного из поражающих факторов (максимального избыточного давления) с пороговыми значениями, которые соответствуют определенному виду поражения. Однако более полным является вероятностный подход на основе обоих барических поражающих факторов: максимального избыточного давления  $\Delta P_{\phi}$  и импульса фазы сжатия ударной волны  $I_{+}$ . Оценка риска поражения обслуживающего персонала, населения и имущества при техногенной аварии является одним из основных этапов анализа опасности и оценки суммарного риска функционирования техногенного объекта (наряду с идентификацией опасных объектов предприятия, исследования эксплуатационных опасностей, оценкой вероятности возникновения и развития аварии), на основе которых можно сделать выводы о приемлемости риска и оценить эффективность систем защиты и действий персонала [1].

Прогноз и анализ воздействия техногенной аварии основан на математическом моделировании движения многокомпонентного газа в приземном слое атмосферы с учетом химического взаимодействия [2].

Решение системы фундаментальных уравнений газовой динамики для смеси, дополненной законами сохранения массы примесей в интегральной форме, получено явным методом С. К. Годунова [3]. Математическая модель реализована в виде подсистемы исследовательского программного комплекса «Fire» [4]. Для ускорения процесса расчета использовались встроенные инструменты распараллеливания языка программирования C# для циклических вычислений [5].

Риск для отдельного сценария техногенной аварии  $R$  зависит от статистической вероятности возникновения аварии  $P_a$  и моделируемой условной вероятности  $P$  поражения человека

$$R = P_a \cdot P \quad (1)$$

В результате математического моделирования взрыва горючей газовой примеси в приземном слое атмосферы атмосфере можно получить функции изменения во времени и пространстве давления  $P_1$  смеси и по ним определить пространственно-временное

распределение основных поражающих факторов: максимального избыточного давления  $\Delta P_\phi$  во фронте взрывной ударной волны

$$\Delta P_\phi = P_1 - P_0, \quad (2)$$

где  $P_1, P_0$  – это текущее и атмосферное давления в расчетной точке пространства, и импульса фазы сжатия  $I_+$  во фронте ударной волны

$$I_+ = \int_{\tau_a}^{\tau_a + \tau_+} \Delta P_\phi dt, \quad (3)$$

где  $\tau_a, \tau_+$  – время начала и протяженности фазы сжатия ударной волны.

На основании этих функций определяются пробит-функция для поражающего фактора ударной волны и условная вероятность поражения как основная характеристика опасности воздействия ударной волны на обслуживающий персонал.

Условная вероятность  $P$  поражения человека, находящегося под воздействием взрывной ударной волны зависит от пробит-функции  $P_r$  – верхнего предела определенного интеграла нормального закона распределения с математическим ожиданием 5 и дисперсией 1

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{P_r} e^{-\frac{1}{2}(t-5)^2} dt. \quad (4)$$

Пробит-функцию для летального исхода обслуживающего персонала вследствие воздействия ударной взрывной волны можно определить по формуле

$$P_r = 5 - 2,44 \cdot \ln \left[ 7,38 / \Delta P_\phi + 1,9 \cdot 10^3 / (\Delta P_\phi \cdot I_+) \right]. \quad (5)$$

Обычно в инженерной практике эксперты для оценки вероятности поражения персонала (4) по значению пробит-функции визуальнo пользуются таблицей значений интеграла (табл. 1).

Таблица 1 – Значения пробит-функции и вероятности поражения

$P, \%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,25	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,82
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,06	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для автоматизации вычислительного процесса таблица заменяется обобщенным кусочно-кубическим эрмитовым сплайном Ю. К. Чернышева [7]. Данный сплайн обладает характеристиками, позволяющими ликвидировать осцилляции аппроксимируемой функции в промежутках.

Для оценки эффективности защитного сооружения от взрыва рассмотрим типичную станцию для заправки водородом транспортных средств [2]. Станция содержит криогенную емкость для хранения жидкого водорода ( $5,7 \text{ м}^3$ ), которая снабжает цилиндры высокого давления (44,8 МПа) для хранения сжатого газообразного водорода, предназначенного для заправки транспорта. Объем каждого цилиндра составляет  $0,51 \text{ м}^3$ .

Предположим, что один из раздаточных цилиндров высокого давления мгновенно разрушается, что приводит к выбросу сжатого водорода, расширению его до атмосферного давления 101325 Па с подмешиванием чистого воздуха до образования полусферического стехиометрического облака радиусом 2 м у земли с температурой окружающей среды 293 К (рис. 2). Рассмотрим мгновенный взрыв сформировавшегося облака водорода с образованием в контрольном объеме продуктов сгорания со следующими параметрами: температурой 3450 К, давлением 901325 Па, молярной массой 0,02441 кг/моль и коэффициентом адиабаты 1,24.

Для анализа эффективности защитных мероприятий избыточное давление контролировалось в нескольких критических точках у земли: P0 – в непосредственной близости у защитного сооружения, P1 и P2 – на некотором удалении от него (рис. 2).

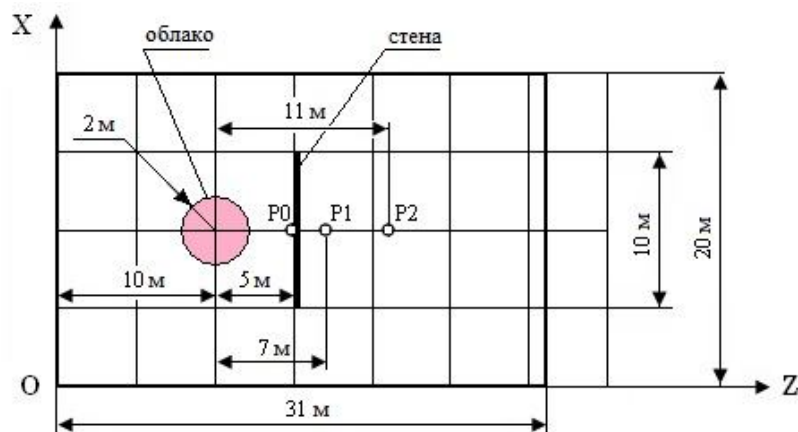


Рисунок 2 – Схема расположения облака водорода, защитного сооружения и контрольных точек

Вариант 0 (отсутствие защитных устройств) соответствует наиболее пессимистическому сценарию, когда контрольные точки максимально открыты воздействию ударной взрывной волны по сравнению с вариантом 1 (защиты с помощью стены), что отражено на рис. 3. Естественно, что избыточное давление для случая 0 меньше значения для варианта 1 в контрольной точке P0, так как преграда отсутствует, но превышает значения избыточного давления в контрольных точках P1 и P2 из-за отсутствия защиты.

Установка защитной сплошной бетонной стены шириной 10 м, толщиной 0,2 м и высотой 2 м приводит к перестроению потока: существенно увеличивается избыточное давление перед стеной в точке P0, но при этом наблюдается его снижение в точках P1 и P2 – местах возможного расположения персонала (рис. 3).

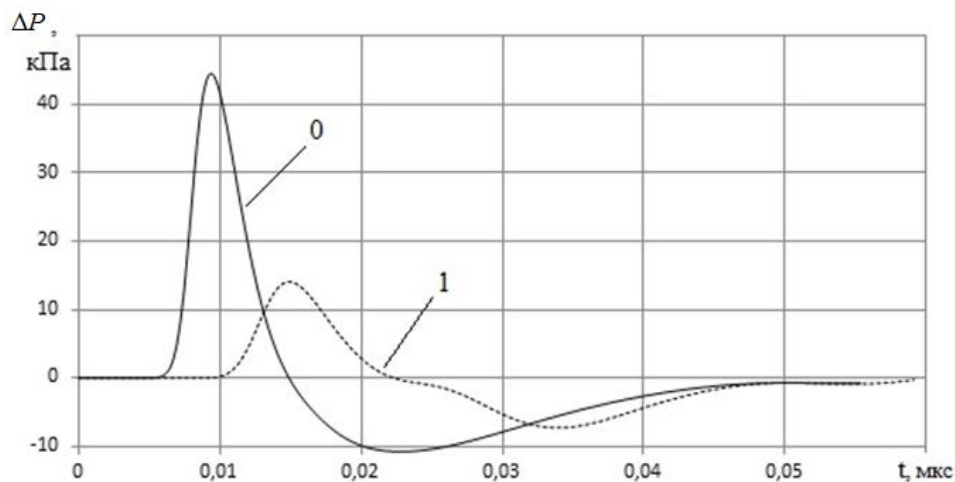


Рисунок 3 – Избыточное давление в точке P1 (0-1 – варианты устройств)



Таблица 1 – Значения пробит-функции и вероятности поражения

Варианты защиты	Условная вероятность поражения, %		
	Точка P0	Точка P1	Точка P2
0 (без защиты)	37,45	12,84	1,17
1 (стена)	97,46	0,10	0,0

**Выводы.** В докладе предложена вычислительная технология оценки условной вероятности последствий воздействия поражающих факторов ударной волны, которая формируется в результате взрыва горючего газа при техногенной аварии на транспортном предприятии на основе трехмерной модели движения многокомпонентной газовой смеси в приземном слое атмосферы.

Рассмотрены физические процессы взрыва полусферического облака водорода, которое образуется в результате мгновенного разрушения баллона высокого давления на заправочной станции. Используется трехмерная модель мгновенного взрыва газовой смеси на базе уравнений Эйлера, которые решаются методом Годунова. Проведен сравнительный анализ эффективности защитного мероприятия (сплошной стены), которое смягчает последствия воздействия избыточного давления ударной волны на персонал. На основании контроля изменения избыточного давления, импульса и условной вероятности поражения в критических точках можно сделать выводы о том, что сплошная стена значительно снижает вероятность поражения персонала и является эффективным средством защиты. Применение такого типа устройств позволяет повысить уровень безопасности функционирования обслуживающего персонала и оборудования предприятия, использующего водород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов и др. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.
2. Numerical Modeling of Hydrogen Release, Mixture и Dispersion in Atmosphere [Электронный ресурс] / Е. А. Granovskiy, V. A. Lyfar, Yu. A. Skob, M. L. Ugryumov // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 11 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/110021.pdf>. – 3.02.2017 г.
3. Численное решение многомерных задач газовой динамики [Текст] / С. К. Годунов, А. В. Забродин, М. Я. Иванов и др. – М.: Наука, 1976. – 400 с.
4. Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30079 (Україна). Комп'ютерна програма «Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE»» [Текст] / Ю. А. Скоб, М. Л. Угрюмов, К. П. Коробчинський. – Дата реєстрації 28.08.2009.
5. Скоб, Ю. А. Технология параллельного расчета нестационарных задач газовой динамики [Текст] / Ю. А. Скоб // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. трудов. Вып. 50. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. – С. 61-67.
6. Метод расчета тепловых нагрузок в пространстве от излучения пламени произвольной формы / Ю. А. Скоб, С. А. Вамболь, В. А. Лыфарь, М. Л. Угрюмов // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. – Харьков: НУГЗУ, 2014. – Вып. 35. – С. 194 – 200.
7. Чернышев, Ю. К. Выпуклые векторные сплайны в применении к профилированию лопаток ГТД [Текст] / Ю. К. Чернышев // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. научн. трудов. Вып. 21. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. – С. 16-18.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ТОКСИЧНОГО ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ

Скоб Ю.А., Евтушенко Д.В., Рудык В.Н.

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»  
(г. Харьков, Украина)

Технологические процессы предприятий транспорта включают использование, транспортировку и хранение отравляющих химических веществ (ОХВ) в сжиженном состоянии [1]. Нарушение правил эксплуатации оборудования приводит к его отказам, которые сопровождаются выбросом в атмосферу ОХВ с образованием токсичных облаков [2]. Одним из наиболее опасных видов техногенной аварии является разрушение емкости хранения сжиженного газа (СГ) с образованием пятна пролива [3]. Концентрация ОХВ в атмосфере характеризует отклонение от нормального состава воздуха и является опасным параметром.

Экспозиция обслуживающего персонала промышленного объекта определенным концентрациям ОХВ формирует поражающий фактор – ингаляционную токсодозу. Превышение пороговых значений токсодозы приводит к социальным последствиям – отравлению различной степени тяжести и человеческим жертвам. Поэтому определение риска предприятия для такого рода аварии является важной и актуальной инженерно-практической задачей.

Оценка последствий техногенной аварии включает в себя определение вероятности поражения обслуживающего персонала, который может быть подвергнут воздействию ОХВ, на основе математического моделирования рассеяния токсичной примеси в атмосфере [4] (рис. 1). Полученные в результате моделирования пространственно-временные поля опасного параметра – массовой концентрации токсичной примеси  $Q$  позволяют определить величину основного поражающего фактора – ингаляционную токсодозу  $D$  и вероятность поражения  $P$  обслуживающего персонала [5].

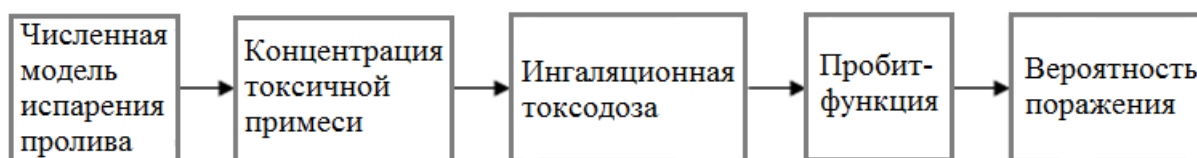


Рисунок 1 – Схема вероятностной оценки последствий аварии

Прогноз и анализ воздействия техногенной аварии на персонал основан на математическом моделировании движения многокомпонентного газа в приземном слое атмосферы. Для решения системы фундаментальных уравнений газовой динамики для смеси, дополненной законами сохранения массы примесей в интегральной форме, используется явный конечно-разностный метод С. К. Годунова [6]. Математическая модель реализована в виде подсистемы исследовательского программного комплекса «Fire» [7].

Ингаляционная токсодоза  $D$  зависит от массовой концентрации токсичной примеси  $Q$  и времени экспозиции  $\tau$ ,

$$D = \int_0^{\tau_2} Q^n d\tau, \quad (1)$$

где  $n$  – табличный коэффициент (табл. 1) для каждого ОХВ.

Условная вероятность  $P$  поражения человека, находящегося под воздействием ингаляционной смертельной токсодозы ОХВ зависит от пробит-функции  $P_r$  – верхнего предела определенного интеграла нормального закона распределения с математическим ожиданием 5 и дисперсией 1

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\text{Pr}} e^{-\frac{1}{2}(t-5)^2} dt. \quad (2)$$

Пробит-функция для токсического поражения в общем случае определяется по формуле

$$P_r = a + b \cdot \ln(D), \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – табличные полуэмпирические коэффициенты (табл. 1) [8].

Таблица 1 – Токсические свойства некоторых ОХВ

<i>Вещество</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>Молярная масса</i>
Аммиак	-35,9	1,85	2	17,0
Сероводород	-31,42	3,008	1,43	34,1
Хлор	-8,29	0,92	2	70,9
Сероуглерод	-46,62	4,2	1	76,1
Формальдегид	-12,24	1,3	2	30,0
Фосген	-19,27	3,686	1	98,9
Фтор	-10,34	1	2	38,0
Окись углерода	-37,98	3,7	1	28,0
Окись этилена	-6,21	1	1	44,0
Бензол	-109,8	5,3	2	78,0

В процессе принятия решения о состоянии безопасности на предприятии эксперты обычно для оценки вероятности (3) поражения персонала, находящегося под воздействием ОХВ, по значению пробит-функции могут воспользоваться таблицей значений интеграла (табл. 2) [8].

Таблица 2 – Значения пробит-функции и вероятности поражения

<i>P, %</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,25	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,82
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,06	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для автоматизации вычислительного процесса таблица заменяется обобщенным кусочно-кубическим эрмитовым сплайном Ю. К. Чернышева [9], реализованным в виде подсистемы [10].

Риск для рассматриваемого сценария техногенной аварии  $R$  зависит от статистической вероятности возникновения аварии  $P_a$  и моделируемой условной вероятности  $P$  летального поражения человека

$$R = P_a \cdot P. \quad (4)$$

Тестирование разработанной информационной технологии и анализ эффективности алгоритма проводились на примере испарения хлора (токсичного тяжелого газа) с пятна пролива в форме круга радиусом 8 м с координатами центра  $x=16$  м,  $z=16$  м в расчетной области с габаритами  $50 \times 10 \times 50$  м и вариантом по количеству ячеек вдоль координатных осей  $50 \times 10 \times 50$ . Ветер набегаёт со скоростью 10 м/с под углом  $45^\circ$  к оси OZ.

Считалось, что испарение начиналось с момента времени  $t_1=0$  с и принудительно прекращалось по истечению  $t_2=4$  с, например, с помощью заливки пятна пролива специальной пеной. Время окончания расчета было принято 11 с, чтобы дать газоздушному облаку возможность покинуть пределы расчетной области.

Температура испаряющейся примеси соответствовала данным вскипания хлора 259 К, молярная масса примеси 0,0709 кг/моль.

В процессе рассеяния у земли облако существенно меняет форму и размеры в соответствии с течением газовой смеси. Максимальную зону облако занимает в расчетной области до времени  $t_2 = 4$  с, после которого испарение прекращается (в соответствующих ячейках пятна выставляются граничные условия «непротекания») и облако, теряя максимальную концентрацию из-за рассеивания, постепенно покидает расчетную зону (рис. 2).

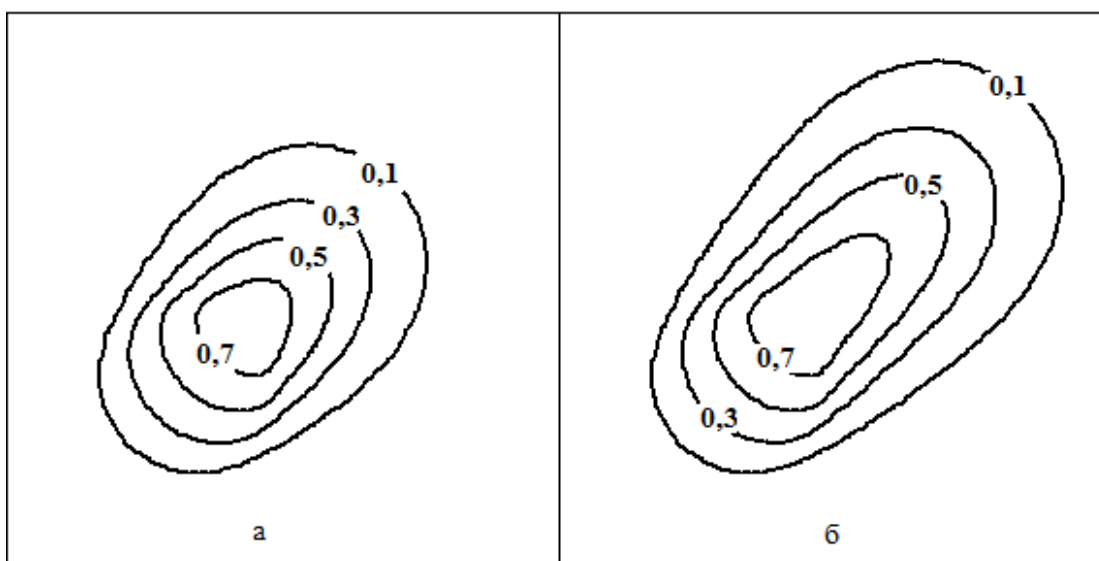


Рисунок 2 – Поля массовой концентрации токсичной примеси в разные моменты времени  $t$  после начала испарения: а –  $t = 2$  с; б –  $t = 3$  с

Поля массовой концентрации хлора можно рассматривать как распределение опасного параметра токсичного газа. Эти данные используются для расчета токсодозы, как поражающего фактора, пробит-функции для хлора и, соответственно, вероятности летального исхода для человека при ингаляции данного токсичного вещества (рис. 3).

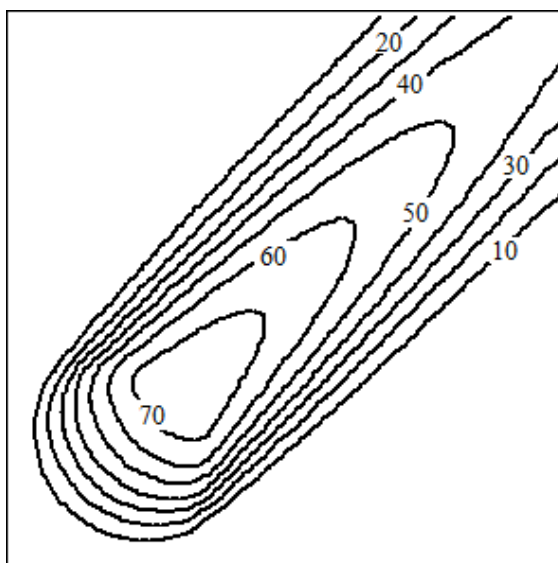


Рисунок 3 – Поле условной вероятности летального исхода в момент времени  $t=11$  с после начала испарения

**Выводы.** Разработана математическая модель процесса испарения с переменной интенсивностью сжиженного токсического газа с пятна пролива, образовавшегося в результате разрушения емкости хранения, и его рассеяния в приземном слое атмосферы. Модель позволяет получать пространственно-временные распределения массовой концентрации токсичного газа и ингаляционной токсодозы, которые необходимы для определения полей вероятности поражения обслуживающего персонала на основе пробит-анализа.

Разработана вычислительная технология оценки вероятности поражения по значению пробит-функции с использованием обобщенного кусочно-кубического эрмитового сплайна вместо табличной функции для интеграла вероятности. Технология позволяет осуществлять автоматизированный анализ и прогноз во времени и пространстве условной вероятности поражения персонала, который подвергается воздействию токсичного газа, как показателя безопасности техногенного объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Brauer, R. L. Safety and Health for Engineers [Text] / R. L. Brauer. – New Jersey : Wiley, 2015. – 742 p.
2. Hughes, Ph. Introduction to Health and Safety at Work: The Handbook for the NEBOSH National General Certificate [Text] / Ph. Hughes, E. Ferrett. – Kidlington, Oxford : Butterworth-Heinemann, 2011. – 608 p.
3. Nolan, Dennis P. Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles: for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities [Text] / Dennis P. Nolan. – Burlington : Gulf Professional Publishing, Elsevier, 2011. – 351 p.
4. Assael, M. J. Fires, Explosions, and Toxic Gas Dispersions: Effects Calculation and Risk Analysis [Text] / M. J. Assael, K. E. Kakosimos. – New York : CRC Press, 2010. – 349 p.
5. Numerical Modeling of Hydrogen Release, Mixture и Dispersion in Atmosphere [Электронный ресурс] [Text] / E. A. Granovskiy, V. A. Lyfar, Yu. A. Skob, M. L. Ugryumov // 1-st International Conference on Hydrogen Safety. – Pisa (Italy). – 2005. – 11 p. – Режим доступа: <http://conference.ing.unipi.it/ichs2005/Papers/110021.pdf>. – 3.02.2017 г.
6. Toro, E. F. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics: A Practical Introduction [Text] / E. F. Toro. – Berlin : Springer, 2009. – 724 p.
7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30079 (Україна). Комп'ютерна програма «Комп'ютерна інтерактивна система інженерного аналізу та прогнозу руху хімічно реагуючих газоповітряних сумішей в задачах промислової аеродинаміки та екології атмосфери «FIRE»» [Текст] / Ю. О. Скоб, М. Л. Угрюмов, К. П. Коробчинський. – Дата реєстрації 28.08.2009.
8. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ. Методика «ТОКСИ», редакция 3.1 [Текст] / М.: ФГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2005. – 67 с.
9. Чернышев, Ю. К. Выпуклые векторные сплайны в применении к профилированию лопаток ГТД [Текст] / Ю. К. Чернышев // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. научн. трудов. Вып. 21. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. – С. 16-18.
10. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 69555 (Україна). Комп'ютерна програма «Компьютерная система поддержки принятия решений «ProbitSafety» для оценки безопасности во время техногенной аварии на промышленном предприятии» [Текст] / Ю. О. Скоб, Д. В. Євтушенко, Ю. В. Бондаренко, О. С. Тищенко – Дата реєстрації 03.01.2017.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Соколов А.Е., Соколова О.В.

Херсонский национальный технический университет  
(Україна)

**Введение.** Задачи оптимального управления сложными системами требуют решения задач многокритериальной (векторной) оптимизации. При этом особенностью организационной системы является выпуклость частных функций цели, что используется для решения задачи векторной оптимизации.

Современное состояние проблемы векторной оптимизации можно охарактеризовать следующим образом. Задача совместной оптимизации нескольких частных функций цели чаще всего относят к многопараметрической оптимизации [1]:

$$\mathbf{x}^* \rightarrow \min \mathbf{f}(\mathbf{x}). \quad (1)$$

Эту задачу называют еще задачей многокритериальной или векторной оптимизации, подчеркивая, что разговор идет об оптимизации в функции цели, которую можно считать вектором. Действительно, из частных функций цели можно сформировать вектор, где компонентами являются частные функции цели. Также задачу можно назвать многокритериальной, поскольку функцию цели можно назвать критерием, хотя понятие «критерий» имеет вполне определенный смысл в моделировании, теории автоматического управления и теории принятия решения.

Задачу многокритериальной оптимизации можно сформулировать так – необходимо найти вектор  $\mathbf{x}^*$  доставляющий минимум сразу всем компонентам вектора цели. Так как  $\dim \mathbf{x} = n$ , а  $\dim \mathbf{f} = m$ , условие стационарности в виде матричного уравнения [2, 3]:

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{0}, \quad (2)$$

порождает матрицу градиентов

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

размерностью  $n$  на  $m$ . Решение системы уравнений (3) позволяет найти частные оптимумы, но не дает возможности найти оптимум для векторной функции цели, так как отсутствует информация об  $m$  связях между компонентами вектора функции цели. Следовательно, для определения точки оптимума необходимо иметь ещё  $m$  связей.

Методы решения задач векторной оптимизации различаются способами организации дополнительных связей [3].

Так метод главного критерия подразумевает ранжирование важности критериев или целей, но решить, какой критерий главный, необходимо лицу, принимающему решение (ЛПР):

$$\mathbf{x}^* \rightarrow \min f_k(\mathbf{x}) = \alpha_k. \quad (4)$$

Метод формирования единой целевой функции использует полиномиальные модели вида:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i(x);$$

$$\alpha_i > 0, \quad i = \overline{1, k},$$

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$$
(5)

Весовые коэффициенты  $\alpha_i$  определяют чувствительность единой функции цели  $f$  к изменению частных функций цели  $f_i$ :

$$\alpha_i = \frac{\partial f}{\partial f_i}, \alpha_i > 0, \quad i = \overline{1, k}.$$
(6)

Поэтому коэффициенты  $\alpha_i$  являются нормированными множителями Лагранжа в задаче (5):

$$\mathbf{x}^* \rightarrow \min f(\mathbf{x}),$$

$$f_i(x) - c_i = 0, \quad i = \overline{1, k},$$
(7)

с функцией Лагранжа:

$$L(x, \lambda) = \lambda_0 f(\mathbf{x}) - \sum_{i=1}^k \lambda_i (f_i(\mathbf{x}) - c_i).$$
(8)

Эти рассуждения приводят к задаче Лагранжа с минимизацией влияния ограничений [3]. При этом, естественно, возможно назначение весов  $\alpha_i$ , «основываясь на условиях задачи».

Возможно так же использование полиномиальных моделей вида:

$$f(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^k f_i^{\alpha_i}(x);$$

$$f_i > 0, \quad i = \overline{1, k}.$$
(9)

При наличии структурных связей и обратных связей выгодно использовать полиномиальную модель

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^p C_j \prod_{i=1}^k f_i^{\alpha_{ij}}(x);$$

$$f_i > 0, \quad i = \overline{1, k},$$

$$C_j \geq 0, \quad j = \overline{1, p}.$$
(10)

Данный подход называется сигномиальной оптимизацией и базируется на методе геометрического программирования.

Минимаксные методы основываются на формировании «контрольных показателей»:

$$f_i(\mathbf{x}) \leq t_i, \quad i = \overline{1, k};$$

$$g_i(x) = 0, \quad i = \overline{1, m};$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = \overline{m+1, l},$$
(11)

что обеспечивает неотрицательность разности  $t_i - f_i(x)$  для всех допустимых  $x$ .

В таком случае можно, в поисках сильного оптимума, перейти от метрики  $C_0$  к минимуму максимального отклонения:

$$\mathbf{x}^* \rightarrow \min \max(t_i - f_i(\mathbf{x})), \quad i = \overline{1, k}.$$
(12)

Метод Парето основан на использовании определения экстремума или его необходимом условии.

В задаче

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &\rightarrow \min f_i(\mathbf{x}), \quad i = \overline{1, k}; \\ g_i(x) &= 0, \quad i = \overline{1, m}; \\ g_i(x) &\leq 0, \quad i = \overline{m+1, l} \end{aligned} \quad (13)$$

введем дополнительные ограничения:

$$\begin{aligned} f_i(\mathbf{x}) &\leq f(x_d), \quad i = \overline{1, s}; \\ f_i(x) &< f(x_d), \quad i = \overline{s+1, k}. \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом, переходим к задаче

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &\rightarrow \min f_i(\mathbf{x}), \quad i = \overline{1, k}; \\ g_i &\leq 0, \quad \overline{1, l}; \\ f_i(x) - f(x_d) &\leq 0, \quad i = \overline{1, k} \end{aligned} \quad (15)$$

Что приводит к задаче Лагранжа с функцией Лагранжа [3]

$$\mathbf{L}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}) = \lambda_0 \mathbf{f}(x) - \boldsymbol{\lambda} \mathbf{g} - \boldsymbol{\lambda} (\mathbf{f}(\mathbf{x}) - \mathbf{f}(x_d)), \quad (16)$$

где  $\boldsymbol{\lambda}$  – матрица множителей Лагранжа – коэффициентов чувствительности функции цели к ограничениям:

$$\boldsymbol{\lambda} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial f_k} \\ \frac{\partial f_1}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial f_k} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_k}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial f_k}{\partial f_k} \\ \frac{\partial f_k}{\partial f_1} & \dots & \frac{\partial f_k}{\partial f_k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \lambda_{12} & \dots \lambda_{1k} \\ \dots & 1 & \dots \\ \lambda_{k1} & \lambda_{k2} & \dots 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

При этом условие  $\lambda_{ij} = 0$  определяет нахождение оптимума внутри области. В таком случае к допустимым точкам относим точки, для которых выполняются условия строгого неравенства. Выполнение неравенства опишем как выполнение предпочтения. Перебор допустимых точек приводит к локальному оптимуму, который называется эффективным решением или Парето – оптимальным решением. Если одно или несколько ограничений не удастся перевести в строгие, то решение называется слабо эффективным. Метод Парето сводится к процедуре выбора решения с минимальным взаимным влиянием частных целей, или анализу матрицы  $\boldsymbol{\lambda}$  в задаче (16).

**Выводы.** Таким образом, можно сделать вывод, что современные методы решения задач векторной оптимизации можно рассматривать как варианты решения задачи Лагранжа, что позволяет ставить задачу строгого обоснования критерия оптимальности в задаче векторной оптимизации. Целью дальнейших исследований является анализ и уточнение критерия оптимальности в выпуклой задаче векторной оптимизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Подиновский В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский., В. Д. Ногин. – М. : Физматлит, 2007. – 256 с.
2. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М. : Физматлит, 2005. – 176 с.
3. Лутманов С. В. Курс лекций по методам оптимизации / С. В. Лутманов. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 368 с.
4. Аттетков А.В. Методы оптимизации / А. В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин : учеб. для студ. вузов. – М. : Изд-во МГТУ, 2001. – 315 с.



## МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ЧАСТИНИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*Степанчиков Д.М.*

*Херсонський національний технічний університет*

*(Україна)*

**Вступ.** Сьогодні у світі йдуть пошуки оптимальних варіантів енергозабезпечення. Передумовою вибору є нагальна необхідність зменшення споживання імпортованих енергоресурсів, у першу чергу – природного газу. За показником енергоемності ВВП України в декілька разів перевищує показники розвинених країн Західної і Східної Європи. Тому, підвищення рівня енергоефективності, впровадження альтернативних енергозощаджуючих технологій є необхідним для України для зміцнення національної енергетичної безпеки, і є однією з пріоритетних цілей державної політики. Серед багатьох видів відновлювальних джерел енергії особливе місце займає енергія вітру, яка має свої специфічні властивості: доступність з одного боку і непостійність, обумовлену ймовірнісним характером вітрового потоку з іншого. За прогнозами до 2030 року енергія вітру може забезпечити 2110 ГВт і дати ~20% глобальної електрики, скоротивши викиди CO<sub>2</sub> більше, ніж на 3,3 млрд.т. щорічно [1].

**Актуальність дослідження.** На сьогодні актуальним питанням є аналіз вітроенергетичних установок (ВЕУ) з метою розробки технічних рішень, направлених на підвищення коефіцієнту корисної дії і зниження порогу мінімальної швидкості вітру для номінального режиму її роботи і, тим самим, розширення території для можливого використання ВЕУ. Сучасна ВЕУ являє собою складний комплекс механічного, електротехнічного й електронного обладнання, що взаємодіє одне з одним у процесі виробництва, перетворення, накопичення і передавання електроенергії споживачам. Тому, з метою підвищення ефективності використання ВЕУ необхідно розвивати методи досліджень як кожного елемента зокрема, так і їх взаємодії як системи.

**Постановка задачі.** На сучасному етапі розвитку науки і техніки електротехнічні системи, побудовані на відновлювальних джерелах енергії, складаються з великої кількості взаємопов'язаних елементів і підсистем. Для дослідження таких систем необхідне застосування достатньо потужного математичного апарату. З розвитком програмного забезпечення для наукових розрахунків та збільшення потужності засобів обчислювальної техніки, для наукових досліджень на комп'ютерах все частіше використовують спеціалізовані програми для математичних розрахунків, наприклад, Matlab/Simulink [2]. Такі програми дозволяють швидко реалізувати математичні моделі, використовуючи прийоми модельно-орієнтованого програмування. Основною задачею дослідження є розробка і аналіз комп'ютерної моделі аеродинамічної складової ВЕУ горизонтально-осьового типу.

**Результати дослідження.** Кінетична енергія вітру перетворюється вітродвигуном у механічну енергію і далі ця енергія за допомогою генератора перетворюється в електричну. У механічну енергію вітродвигун може перетворити лише частину повної енергії повітряного потоку, який проходить крізь переріз вітроколеса. Ця частина оцінюється коефіцієнтом використання енергії вітру (коефіцієнтом потужності)  $C_p$ . Коефіцієнт  $C_p$  – один з головних параметрів вітротурбіни, він визначає середнє вироблення електроенергії на ВЕУ. Максимально можливе значення коефіцієнту потужності для трьохлопатної ВЕУ, дорівнює  $C_{pmax} = 0,502$ .

Коефіцієнт потужності знаходиться у суттєвій нелінійній залежності від двох інших важливих параметрів ВЕУ: коефіцієнту швидкохідності  $\lambda$ , який визначається як відношення окружної швидкості кінців лопатей до швидкості вітру  $v$  і кута повороту лопаті  $\beta$ .

Для трьохлопотної горизонтально-осьової вітротурбіни пропелерного типу ця залежність апроксимується рівнянням [3]

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_c} - c_3 \beta - c_4 \right) \exp\left(-\frac{c_5}{\lambda_c}\right) + c_6 \lambda_c \quad (1)$$

$$\frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (2)$$

де

Константи  $c_1 \div c_6$  дорівнюють:  $c_1 = 0,5176$ ;  $c_2 = 116$ ;  $c_3 = 0,4$ ;  $c_4 = 5$ ;  $c_5 = 21$  та  $c_6 = 0,0068$ .

Коефіцієнт потужності, як функція швидкохідності при різних кутах повороту лопаті показано на рис.1. Функція  $C_p(\lambda, \beta)$  має максимум, положення якого залежить від кута повороту  $\beta$  і відповідає номінальному значенню швидкохідності  $\lambda_{ном}$ .

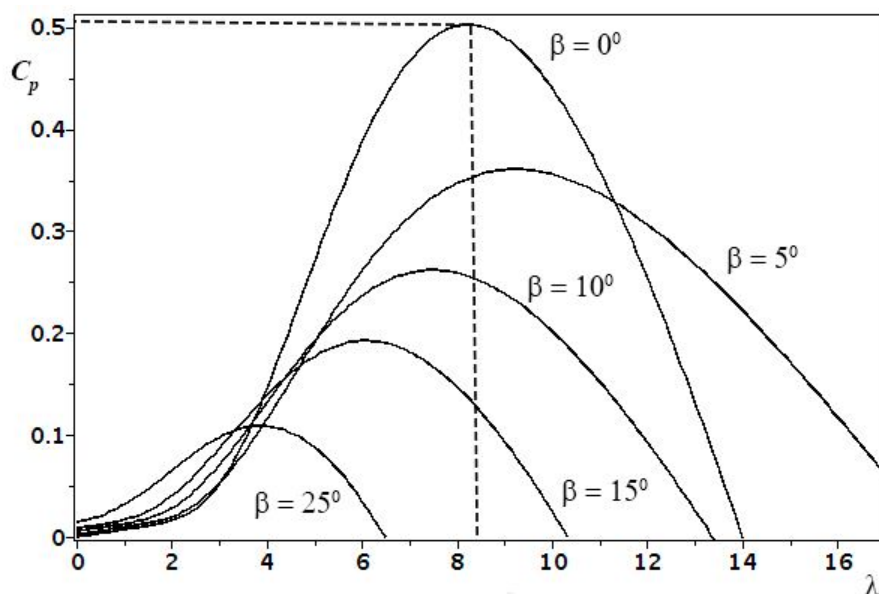


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту потужності від швидкохідності для різних кутів повороту лопатей

Механічна потужність і механічний момент які виробляє горизонтально-осьова вітротурбіна, визначаються за формулами [4]

$$P_m = C_p(\lambda, \beta) \frac{\rho S}{2} v^3 \quad (3)$$

$$M = \frac{C_p(\lambda, \beta) \pi \rho}{\lambda} R^3 v^2 \quad (4)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $S$  – площа, яку охоплюють лопаті при обертанні,  $v$  – швидкість вітру,  $R$  – радіус вітроколеса.

На підставі математичних рівнянь (1-4), які описують динаміку роботи аеродинамічної частини ВЕУ, було створено модель ВЕУ у програмі Matlab з використанням елементів бібліотеки Simulink (рис.2). Вихідна потужність вітротурбіни, яка описується рівнянням (3) може бути нормалізована у відносних одиницях номінальної потужності і рівняння запишеться у вигляді

$$P_{m\_відн} = k_p C_{p\_відн}(\lambda, \beta) v_{відн}^3 \quad (5)$$

де  $C_{p\_відн}(\lambda, \beta)$  – відносний коефіцієнт потужності, в одиницях  $C_{p_{max}}$  ( $C_{p_{max}} = 0,502$ ;  $\lambda_{ном} = 8,245$ );  $v_{відн}$  – відносна швидкість вітру, в одиницях базової швидкості вітру  $v_{base}$ ;  $k_p$  – коефіцієнт підсилення потужності,  $k_p \leq 1$ .

Модель має три вхідних параметри: 1) кутову швидкість генератора  $\omega$  у відн.од. номінальної кутової швидкості, 2) кут повороту лопаті  $\beta$  у градусах, 3) швидкість вітру  $v$  у

м/с і три вихідних: 1) обертальний момент на валу генератора  $M_{відн}$  у відн.од., 2) вихідну потужність  $P_{m\_відн}$ , 3) відносний коефіцієнт потужності  $C_{p\_відн}(\lambda, \beta)$ .

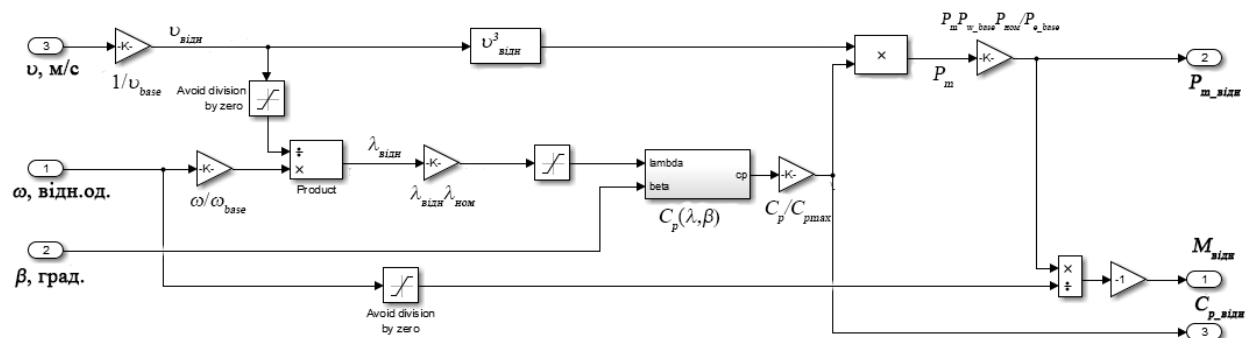


Рисунок 2 – Модель аеродинамічної частини вітротурбіни, реалізована у Simulink/Matlab

Робоча точка, при якій потужність, що виробляється ВЕУ буде максимальною, для кожної швидкості вітру має своє положення. Сукупність таких точок утворює криву, яка має назву характеристика оптимального режиму (ХОР) (рис.3). Причому ХОР не відповідає максимуму обертального моменту ротору, а знаходиться праворуч від нього. Основна мета регулювання – приведення вітроустановки у цю точку.

**Висновки.** Розглянуто основні аспекти імітаційного моделювання, як одного з найефективніших напрямків в області дослідження складних динамічних нелінійних систем. Засоби графічного (візуального) програмування дозволяють проводити опис системи у природній для користувача, переважно графічній формі, автоматично переводити цей опис на мову комп'ютера і подавати результати моделювання знову у графічній формі. Трудомісткість і час розробки моделі та проведення обчислювальних експериментів в таких середовищах скорочуються у десятки разів у порівнянні з традиційним способом.

На підставі математичних рівнянь, які описують динаміку роботи аеродинамічної частини ВЕУ, створено модель ВЕУ у програмі Matlab з використанням елементів бібліотеки Simulink. Отримано характеристики потужності для досліджуваної вітротурбіни.

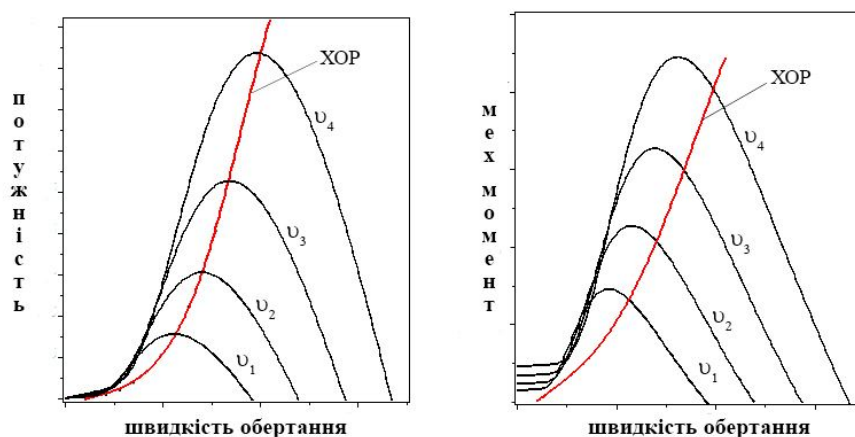


Рисунок 3 – Характеристика оптимального режиму роботи ВЕУ для різних швидкостей вітру  $v_1 < v_2 < v_3 < v_4$ .

Проведено моделювання електричної частини вітроенергетичної установки. Електрична частина ВЕУ складається з асинхронного генератора, трифазної лінії електропередачі, трьох трифазних трансформаторів з двома обмотками кожен, трифазної взаємної індуктивності, трифазного джерела напруги, яке можна програмувати, статичного синхронного компенсатора (СТАТКОМ)

### ЛІТЕРАТУРА

1. Скрипник А. В. Вітроенергетичні установки як альтернатива енергоощаджуючих технологій та енергозабезпечення / А.В. Скрипник, О.В. Сабіщенко // Енергетика і автоматика. – 2014. – №3. – С. 134-140.
2. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем в среде Matlab/Simulink / В.В. Васильев, Л.А. Симак, А.М. Рыбникова. – Учебное пособие. – Киев: НАН Украины, 2008. – 91 с.
3. Lamchich M. Matlab Simulink as Simulation Tool for Wind Generation Systems Based on Doubly Fed Induction Machines / M. Lamchich, N. Lachguer. – 2012. – <http://dx.doi.org/10.5772/48774>.
4. Суббота А.М. Система управления ветроэнергетической установкой / А.М. Суббота, И.Ю. Дыбская, А.В. Заболотный // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. - №3(37). – С.61-67.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ В ПРОЦЕСІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНОГО ДИЗЕЛЕВОЗА

*Таран І.О., Клименко І.Ю.*

*Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»*

*(м. Днепр, Україна)*

**Вступ.** Поліпшення ефективності функціонування рейкового транспорту шахт досягається за рахунок використання сучасних дизелевозів, обладнаних гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ). Але підвищення швидкостей руху шахтних поїздів з дизелевозами в якості локомотивів загострює питання збереження безпеки в режимі гальмування. У зв'язку з цим виникає необхідність модифікації існуючих і розробки перспективних трансмісій для вітчизняних дизелевозів.

**Актуальність досліджень.** Сучасні безступінчасті ГОМТ являють собою складні технічні системи зі змінною структурою, що характеризуються як в статиці, так і в динаміці величезним числом конструктивних і робочих параметрів. Наукове обґрунтування і розрахунково-теоретичні методики застосування в шахтному тяговому транспорті безступінчастих ГОМТ розглядалися в роботах [1 – 2].

Відомо [3], що конструкції ГОМТ розвиваються у бік зменшення числа фрикційних багатодискових муфт, а також гальмівних механізмів, відповідно зменшення кількості піддіапазонів і складних механічних частин.

Незважаючи на достатню розповсюдженість ГОМТ в сучасному машинобудуванні, гальмуванню дизелевозів з безступінчастими ГОМТ, а також структурному аналізу трансмісій в процесі гальмування увага вчених практично не приділялась, тому підвищення технічного рівня та гальмівної ефективності дизелевозів з ГОМТ є актуальним науково-практичним питанням.

**Постановка задачі.** Моделювання процесу гальмування можливе з використанням наступних способів реалізації:

- при кінематичному від'єднанні двигуна від коліс (в подальшому даний спосіб реалізації будемо позначати №1);
- при збереженні кінематичного зв'язку двигуна з колесами:
- зниження швидкості за рахунок гідрооб'ємної передачі (ГОП) та гальмівної системи при збереженні кінематичного зв'язку двигуна з колесами (спосіб реалізації №2);
- зниження швидкості за рахунок ГОП при збереженні кінематичного зв'язку двигуна з колесами (спосіб реалізації №3), гальмівні механізми утворюють момент, рівний 0;
- зниження швидкості за рахунок гальмівної системи при збереженні кінематичного зв'язку двигуна з колесами (спосіб реалізації №4).

Робота присвячена розгляду першого варіанту (при кінематичному від'єднанні двигуна від коліс) при роботі на транспортному діапазоні.

**Мета роботи** – дослідження процесу гальмування шахтного дизелевоза з ГОМТ, що працює за схемою «диференціал на вході», при кінематичному від'єднанні двигуна від коліс при роботі на тяговому діапазоні.

**Матеріали досліджень.** Розподіл кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ в процесі гальмування суттєво залежить від:

- типу трансмісії (розглядається схема ГОМТ з диференціалом на вході – ГОМТ №1 (рис. 1));
- початкової швидкості (гальмування дизелевоза розпочинається зі швидкості  $V_{\max}$  та  $0,5 \cdot V_{\max}$ ; для ГОМТ №1  $V_{\max}$  на тяговому діапазоні руху дорівнює 10,02 км/год);
- сили тяги на гаку (при русі на тяговому діапазоні розглянемо два варіанти навантаження:  $n=8$  та  $n=2$  завантажених вагонетки);

- кута підйому та спуску (еквівалентні 50 ‰);
- способу реалізації процесу гальмування.

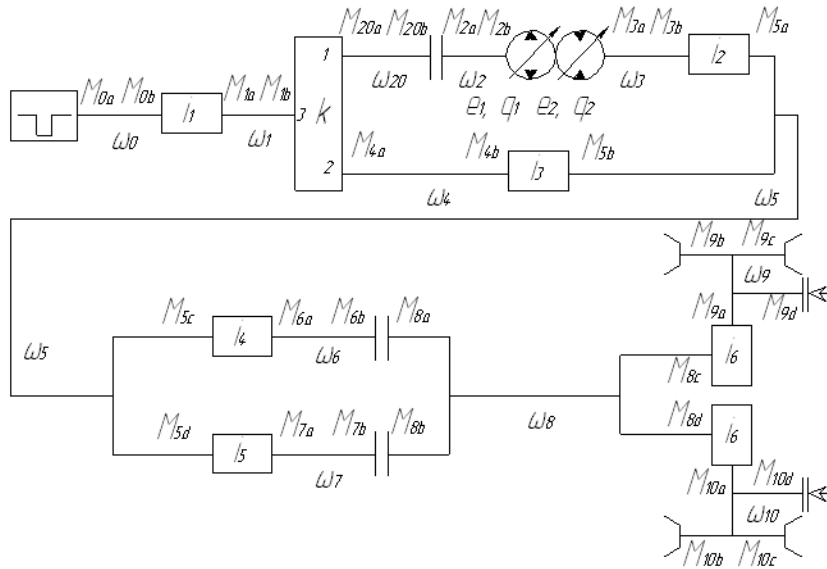


Рисунок 1 – Фізична модель ГОМТ №1:

$\omega_i$  – кутова швидкість ланки трансмісії;  $i_j$  – передавальне відношення;  $k$  – внутрішнє передавальне відношення планетарного ряду;  $e_1, e_2$  – параметри регулювання гідромашин ГОП;  $q_1, q_2$  – максимальна продуктивність гідромашин;  $M_{nm}$  – моменти на ланках ГОМТ;  $n$  – індекси, що відповідають номеру кутової швидкості ланки;  $m$  – індекси-букви, що відповідають моментам на кінцях ланок

Виконаємо моделювання процесу гальмування при кінематичному від’єднанні двигуна від коліс при максимально можливих гальмівних моментах на колесах та 2-х різноманітних законах зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ . Перший закон  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  буде характеризуватися зміною параметрів регулювання гідромашин ГОП відповідно зміні дійсної швидкості руху дизелевоза та позначатися як  $e_{1-1Vnom}(t)$ ,  $e_{2-1Vnom}(t)$ , при другому законі параметри регулювання ГОП протягом всього процесу гальмування залишаються незмінними і відповідають тому значенню, яке вони мали на початку гальмування –  $e_{1-1Vmax}(t)$ ,  $e_{2-1Vmax}(t)$ .

В процесі дослідження гальмування слід приділити увагу кутовим швидкостям ведучого та веденого валів зчеплення, оскільки при різниці між ними більше ніж 120 рад/с (за умови обертання їх в одному напрямку), машиніст ще має можливість перервати гальмування без завдання шкоди ГОМТ.

Виконання кількісної оцінки впливу початкової швидкості гальмування та сили тяги на гаку шахтного дизелевоза на розподіл кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ, виявлення та систематизація основних закономірностей розподілу потоків потужності в замкнутому контурі ГОМТ в процесі гальмування шахтного дизелевоза, а також визначення та теоретичне обґрунтування (з точки зору динаміки процесу гальмування) перспективної ГОМТ відбувається за рахунок використання програмної реалізації, розробленої в MatLab/Simulink.

В процесі моделювання гальмування досліджуються наступні параметри:

- максимальне значення перепаду робочого тиску в ГОП  $|dP|_{max}$ , яке не повинно перевищувати для гідромашин робочим об’ємом 90 см<sup>3</sup> фірми «PSM-HYDRAYLIKS» 40,0 МПа;

- максимальне значення кутової швидкості вала гідронасоса  $|w_2|_{\max}$ , яке не повинно перевищувати 460,0 рад/с;
- максимальне значення кутової швидкості вала гідромотора  $|w_3|_{\max}$ , яке не повинно перевищувати 460,0 рад/с;
- максимальне значення кутової швидкості ведучого валу зчеплення  $|w_{20}|_{\max}$ ;
- максимальне значення потужності, що виходить з гідравлічної гілки замкнутого контуру ГОМТ –  $|N_{gk}|_{\max}$ ;
- максимальне значення потужності, що виходить з механічної гілки замкнутого контуру ГОМТ –  $|N_{mk}|_{\max}$ ;
- гальмівний шлях –  $S$ ;
- час гальмування –  $t$ .

Кутові швидкості ланок трансмісії та перепад робочого тиску в ГОП мали наступні початкові значення при русі на тяговому діапазоні:

$V=10,02$  км/год,  $w_1=210,0$  рад/с,  $w_2=-53,3$  рад/с,  $w_3=-105,8$  рад/с,  $\Delta P=13,55$  МПа,  $e_1=1$ ,  $e_2=0,4$ ;

$V=5,01$  км/год,  $w_1=210,0$  рад/с,  $w_2=-195,9$  рад/с,  $w_3=-53,05$  рад/с,  $\Delta P=21,0$  МПа,  $e_1=0,384$ ,  $e_2=1$ .

Незважаючи на те, що перепад робочого тиску в ГОП  $\Delta P$  задається як початкові дані в математичній моделі процесу гальмування, програмна реалізація одразу його уточнює відповідно умов експлуатації та з урахуванням способу реалізації процесу гальмування, саме тому значення  $\Delta P$ , що подається, як початкове, буде відрізнитися від значення, отриманого в процесі моделювання гальмування. Що стосується інших параметрів, значення, що подаються, як початкові, будуть відповідати першим значенням, отриманим в процесі моделювання гальмування.

**Результати дослідження.** Результати моделювання гальмування дизелевоза з ГОМТ №1 та способом реалізації процесу гальмування №1 у вигляді графічних залежностей наведені на рис. 2.

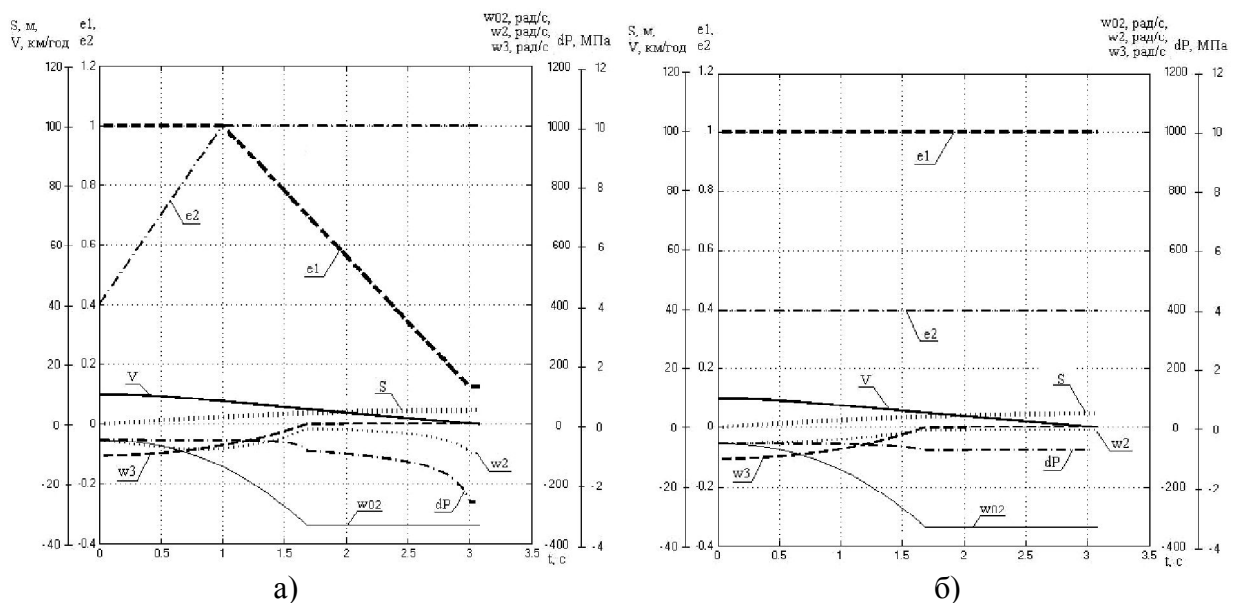


Рисунок 2 – Результати моделювання гальмування дизелевоза (спосіб реалізації №1) з ГОМТ №1 при русі на тяговому діапазоні:

а) – перший закон зміни параметрів регулювання  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  –  $e_{1-1Vnom}(t)$ ,  $e_{2-1Vnom}(t)$ ,

б) – другий закон зміни параметрів регулювання  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  –  $e_{1-1Vmax}(t)$ ,  $e_{2-1Vmax}(t)$ ,

**Висновки.** У роботі розглянуто процес гальмування шахтного дизелевоза з гідрооб'ємно-механічною трансмісією, що працює за схемою «диференціал на вході» при кінематичному від'єднанні двигуна від коліс. Виявлення та систематизація основних закономірностей розподілу потоків потужності в замкнутому контурі гідрооб'ємно-механічної трансмісії в процесі гальмування виконані з використанням розробленої в MatLab/Simulink програмної реалізації.

В процесі теоретичного дослідження процесу гальмування дизелевоза при роботі на транспортному діапазоні встановлено наступне:

1. В зв'язку з тим, що кінематичне від'єднання двигуна від коліс використовується, як правило, при екстремому гальмуванні, яке, зазвичай, закінчується повною зупинкою дизелевоза, рекомендується параметри регулювання ГОП  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  протягом всього процесу гальмування залишати незмінними –  $e_{1_{IV\max}}(t)$ ,  $e_{2_{IV\max}}(t)$ , тобто вони повинні відповідати тому значенню, яке мали на початку гальмування (при використанні  $e_{1_{IV\max}}(t)$ ,  $e_{2_{IV\max}}(t)$  замість  $e_{1_{IV\text{ном}}}(t)$ ,  $e_{2_{IV\text{ном}}}(t)$  спостерігається зниження перепаду робочого тиску в ГОП до 3,5 разів та зниження кутової швидкості валу гідронасоса до 46%).

2. Механічна гілка замкнутого контуру ГОМТ №1 завжди розвантажена, оскільки моменти на ланках “1”, “20” та “4” рівні 0, а по гідравлічній гілці передається потужність лише до ГОП і не перевищує 1,55 кВт.

3. За рахунок кінематичного розриву механічної гілки замкнутого контуру ГОМТ сила тяги на гаку шахтного дизелевоза на розподіл кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ суттєво не впливає, розбіжність останніх не перевищує 0,81%. Що стосується впливу кута підйому/спуску, то розбіжність в значеннях  $|dP|_{\max}$ ,  $|w_{20}|_{\max}$ ,  $|w_2|_{\max}$ ,  $|w_3|_{\max}$ ,  $|N_{gk}|_{\max}$  не перевищує 4,5%.

4. Прослідковується чітке зниження значень перепаду робочого тиску в ГОП до 45,2% та кутової швидкості валу гідронасоса до 72,8% при початку гальмування зі швидкості  $V_{\max}$  замість швидкості  $0,5 \cdot V_{\max}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Таран І. О. Наукове обґрунтування нових технічних рішень з удосконалення трансмісії шахтного дизелевоза / І. О. Таран // Збірник наукових праць НГУ, 2015. – Вип. 46. – С. 104 – 115.
2. Таран І.О. Комплексне дослідження зміни кінематичних та силових параметрів трансмісії шахтного дизелевоза / І.А. Таран, І.Ю. Клименко // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. №3(7). – С. 136 – 143.
3. Самородов В.Б. Оригинальная бесступенчатая гидрообъемно-механическая трансмиссия для гусеничных тракторов / В.Б. Самородов, О.И. Деркач, С.А. Шуба, И.В. Яловол // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 8 (1051). – С. 26 – 32.



## СИСТЕМА ІНВАРІАНТНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Тиганов О.С., Кравець І.О., Фісун М.Т.

Чорноморський національний університет імені П.Могили  
(м. Миколаїв, Україна)

**Вступ.** Одне з найважливіших напрямлень розвитку автоматики – розвиток систем, що забезпечують безпеку використання залізничного транспорту. Сучасне обладнання більшості залізничних переїздів дає змогу тільки попередити водіїв світловими та звуковими сигналами, перекрити дорогу за допомогою шлагбаумів. Але якщо небезпечна ситуація все ж сталася, співробітники залізниці не мають інформації про стан переїзду. Деякі переїзди обладнані аналоговими системами, для контролю стану небезпечної зони, але така система має ряд недоліків. Рішенням проблеми може стати встановлення систем відео контролю. В свою чергу відеонагляд має здійснюватися черговим, це вносить в систему ненадійний людський фактор. Отже актуальним є створення програмного модуля який без участі людини на основі даних з системи відеонагляду безпомилково та своєчасно визначить наявність небезпеки та дозволить вжити відповідних заходів для її усунення.

**Основний матеріал.** Загальна схема процесу пошуку об'єкта на зображенні має наступний вигляд.

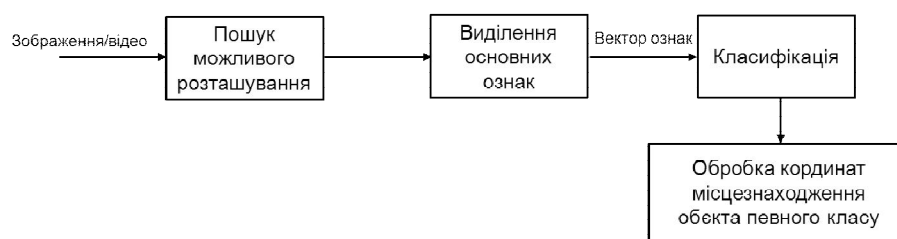


Рисунок 1 – Загальна схема процесу пошуку об'єкта на зображенні

На основі аналізу науково-технічної літератури можна виділити два основних напрямку в задачі інваріантного розпізнавання образів: часткове (інваріантність щодо повороту, зсуву, масштабу) і загальне (інваріантність щодо форми, ракурсу, текстури). Для задач часткового інваріантного розпізнавання вже зараз існує ряд математичних методів, таких як нейронні мережі, неокогнітрон, згорткові нейронні мережі вищих порядків, статистичні моделі. Основна проблема полягає в практичних складнощах реалізації таких методів. Задача загального інваріантного розпізнавання не вирішена досі. Є окремі успіхи на якість розпізнавання для обмежених класів об'єктів, як правило, обличчя осіб, дорожніх знаків, банківських чеків, які демонструють точність розпізнавання навіть вище ніж у людини.

Серед найсучасніших методів інваріантного розпізнавання об'єктів можна виділити наступні: метод Віюлі-Джонса та ознаки Хаара; метод головних компонент; неокогнітрон та згорткові нейронні мережі [1].

Перші два методи найкраще підходять для розпізнавання одного класу об'єктів, що має невелику внутрішньокласову мінливість, наприклад розпізнавання обличчя.

Метод Віюлі-Джонса [4] використовує зображення в інтегральному уявленні, що дозволяє швидко обчислювати необхідні об'єкти; використовує ознаки Хаара, за допомогою яких відбувається пошук потрібного об'єкта (в даному контексті, обличчя і його рис); використовує бустінг для вибору найбільш підходящих ознак для шуканого об'єкта на даній частині зображення; всі ознаки надходять на вхід класифікатора, який дає результат «так» або «ні»; використовуються каскади ознак для швидкого відкидання вікон, де не знайдено обличчя.

Метод головних компонент (principal component analysis)– застосовується для витягу з потрібної інформації з даних великої розмірності. При розпізнаванні об’єктів

метод PCA дозволяє відобразити великий одновимірний вектор пікселів, побудований з двовимірного зображення одного об’єкта у різних варіантах, в компактні основні компоненти простору ознак. Результат перетворення можна назвати підпростором проєкції. Підпростір розраховується шляхом визначення власних векторів коваріаційної матриці, отриманої з набору зображень об’єктів.

Неокогнітрон та згорткові нейронні мережі, які є його удосконаленням використовуються для загального інваріантного розпізнавання об’єктів.

Проведений аналітичний огляд інтелектуальних методів розпізнавання фотографічних зображень та виділення об’єкту з відеопотоку показує, що найкращі результати на сьогоднішній день дають згорткові нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі (ЗНМ) враховують просторову топологію зображення; не чутливі до спотворень зображення; мають високу швидкість навчання і роботи (особливо при використанні графічних процесорів).

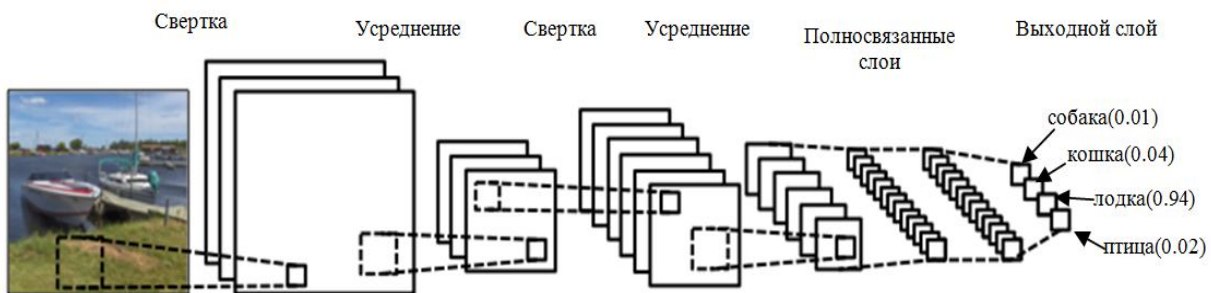


Рисунок 2 – Загальний вигляд загорткової нейронної мережі.

Архітектура ЗНМ складається з багатьох шарів. Є два основні типи шарів: згорткові (Convolutional) і підвибіркові (Subsampling), Згорткові та підвибіркові шари чергуються один з одним. Але останнім часом, є тенденція до скорочення кількості підвибіркових. Тому підвибіркових шарів часто менше ніж згорткових, або немає взагалі.

У кожному загортковому шарі є набір з декількох фільтрів(ядер згортки), які мають невелике рецептивне поле, але займають усю глибину вхідного об’єму, причому нейрони одного фільтра мають однакові ваги, що застосовуються до всіх локальних ділянок попереднього шару (тим самим здійснюючи згортку). Зображення попереднього шару як би сканується невеликим вікном і помножується на набір ваг, а результат зберігається на відповідному нейроні поточного шару. Таким чином набір площин являє собою карти ознак (feature maps) і кожна площина знаходить «свої» ознаки зображення в будь-якому місці попереднього шару. На рисунку 3. представлена схема нейронів загорткових шарів.

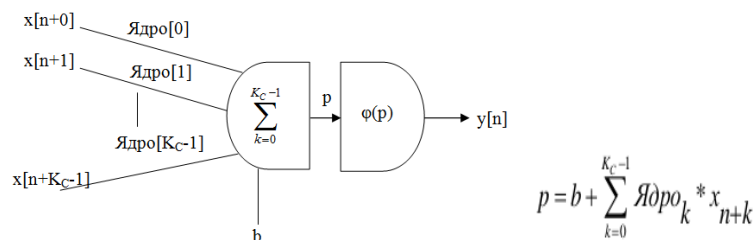


Рисунок 3 – Загальна схема нейрона згорткового шару

Кс - загальна кількість нейронів, що входять в рецептивного поля n-го нейрона згорткового шару, Ядро [k] - ваги нейрона, що налаштовуються, b-зсув n-го нейрона, причому b і Ядро [k]-одне й те ж для всієї карти згорткового шару, і виконує роль фільтру, який шукає певний фрагмент зображення.

$x[n + k]$  - вхідні дані для  $n$ -го нейрона згорткового шару,  $k = 0..K_S - 1$ . Вхідні дані  $x[n + k]$  дають зважену суму з параметрами, що налаштовуються, тобто з ядром  $[k]$ , тобто відбувається операція згортки:

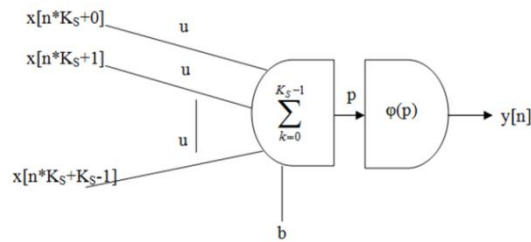


Рисунок 4 – Загальна схема нейрона підвиборочного шару

Наступний за згортчим шаром, підвиборочний шар зменшує масштаб площин даних, для облегшення виділення основних ознак в наступних шарах. Найефективнішою є «максимальна підвибірка» Остання частина згорткової мережі – це класифікатор ознак, як правило, представлений кількашаровим перцептроном або опорно-векторною машиною. Кількість нейронів шарі-класифікаторі визначається кількістю класів, до яких слід віднести вхідне зображення.

Було застосовано та порівняно два найсучасніших алгоритму згорткових нейронних мереж SSD [2,3] та YOLO[2], що мають найвищі швидкість та точність детекції.

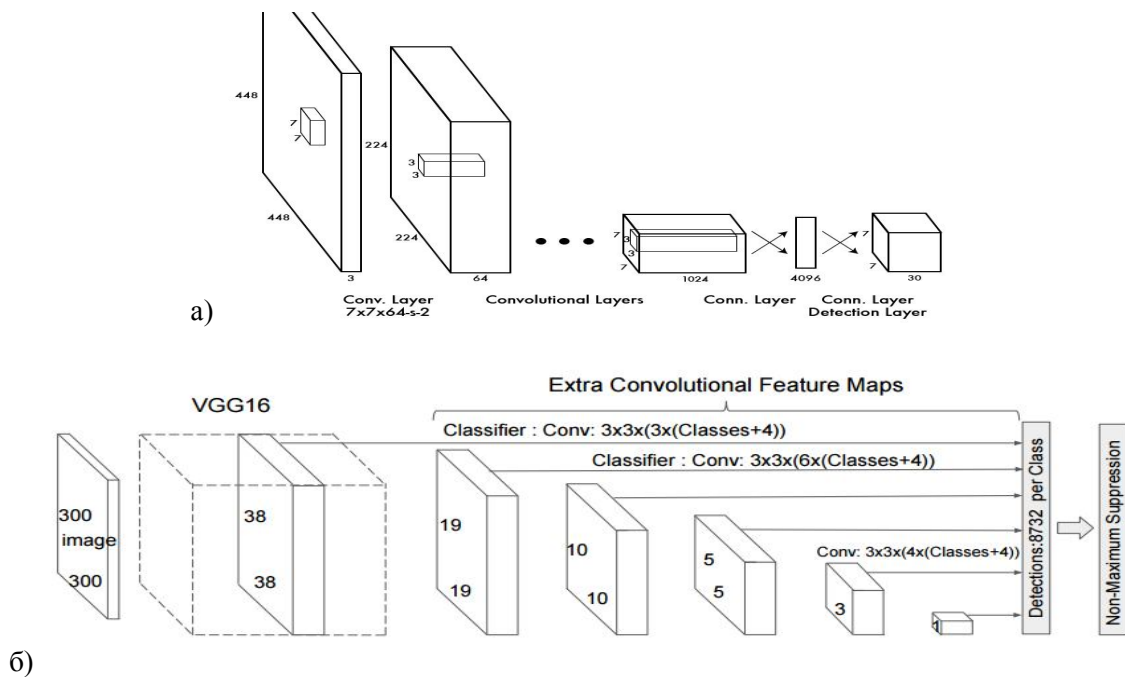


Рисунок 5 – Архітектури YOLO (а), та SSD(б) [2, 3]

YOLO дуже швидка. Під час тестування на одному з найпотужніших графічних процесорів(Nvidia Titan X GPU) базова мережа обробляє 45 кадрів за секунду. YOLO оцінює усе зображення, коли робить прогноз, на відміну від методів, що базуються на ковзаючому вікні або пропозиціях регіонів. Система поділяє зображення за допомогою сітки, та для кожної клітинки передбачає декілька обмежувальних рамок та ймовірність наявності в них об'єкту певного класу

SSD – є наступним поколінням ЗНМ для розпізнавання об'єктів, вона також розглядає зображення цілком, але розглядає сітки різних масштабів. Додавши ряд поліпшень, вдалося значно підвищити точність, порівняно з попереднім варіантом, не втративши про цьому у швидкості розпізнавання. Застосовуючи ці фільтри до різних карт ознак, отриманих з різних шарів на пізніших етапах мережі дозволяють виконувати

детекцію у різних масштабах. Це вирішує значну проблему попередніх мережі і дозволяє досягти високої точності виявлення об'єктів різних форм та розмірів на зображеннях з порівняно низькою роздільністю.

Розроблено програмний додаток для розпізнавання об'єкта на зображенні з камери системи відеоконтролю залізничного переїзду. Додаток створений на основі фреймворку Caffe, що використовує бібліотеку OpenCV для роботи з відеопотоком.

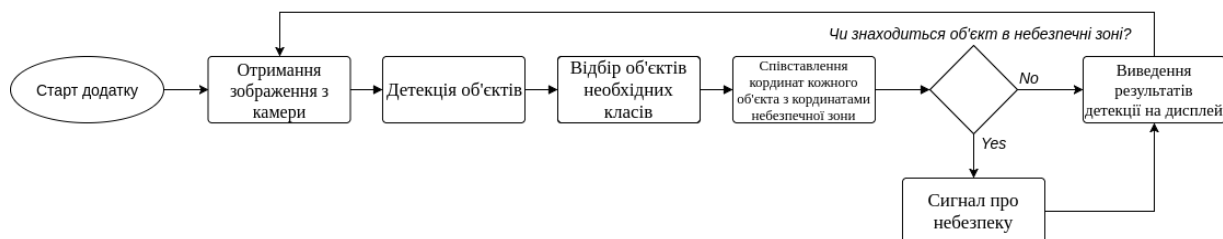


Рисунок 6 – Блок-схема розробленої системи інваріантного розпізнавання об'єктів

Процес роботи додатку можна розділити на декілька етапів. В першу чергу система отримує на вхід зображення, що, у випадку з системами реального часу, витягується з відеопотоку. В якості інструмента для цього, а також для подальшої обробки зображення та виводу результатів на екран, використано бібліотеку OpenCV. Наступним кроком, після того, як зображення отримано, є його обробка за допомогою певної архітектури згорткової нейронної мережі, тобто локалізація об'єктів. Для визначення місцезнаходження об'єкта та класу якому він належить було використано фреймворк глибокого машинного навчання Caffe, що представляє можливості для навчання та розгортання моделі нейронної мережі за підготовленою заздалегідь архітектурою. Для реалізації було обрано архітектуру SSD, яка дає найбільшу точність при прийнятній швидкості роботи навіть на відносно «слабких» конфігураціях обладнання.

**Висновки.** У результаті аналізу літератури було виявлено, що найбільш ефективним з інтелектуальних методів інваріантного розпізнавання об'єктів з відео потоку є згорткові нейронні мережі. Серед них найбільш удосконалені архітектури є YOLO та SSD. На основі архітектури SSD розроблено систему розпізнавання об'єкта на зображенні з камери системи відеоконтролю залізничного переїзду.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. Hinton. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In NIPS, 2012.
2. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. You only look once: Unified, real-time object detection. In: CVPR. (2016)
3. Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng Yang Fu, Alexander C. Berg. «SSD: SingleShotMultiBoxDetector» in European Conference on Computer Vision (ECCV), 2016.
4. Ole, H.J. Implementing the Viola-Jones face detection algorithm: Master's thesis / H.J. Ole. – DTU, 2008. [Електроний ресурс]. – Режим доступу <http://old.kv.by/index2001513402>.

## METHODOLOGY OF SOFTWARE FUNCTIONAL TESTING FOR THE SHIP'S ELECTRIC GENERATING PLANTS CONTROL SYSTEMS

*Ushkarenko O.O, Dorogan O.I.*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
(Ukraine)*

**Introduction.** The quality is one of the key issues in the top level software design for the automated control system of the marine electric generating plant. The software quality model Square is recognized to be generally accepted, it is based on series of ISO/IEC standards (25000-25099) [1]. According to this model the quality evaluation is three-level and consists in determination of required features for each software type, attributes for each feature and metrics for each attribute. Standards also specify main features for all software types: functionality, usability, efficiency, reliability, maintainability and mobility.

Several software functionality attributes can be distinguished such as suitability and precision of functions performance, interoperability with third party software and hardware automation [2]. The paper [3] provides software functionality evaluation methods and justifies testing utilization for this purpose.

The main aim of the research is to study the influence of unit testing and system testing on functionality enhancement of monitoring and control software of the ship's electric generating plant.

The requirements to be met by the software are the basis for the execution of its functionality testing. Since software is an integral part of the hardware-software system the availability of models that simulate behavior of hardware and automation object as an entity is required for its testing. The functionality testing is usually divided into several levels: unit, integration and system [4]. The test procedure consists of the execution of a sequence of actions: the definition of testing completeness criterion; the development of a complete set of test cases; the execution of a report with the information on testing results. The results of the testing execution should be metric values of functionality attributes – suitability, precision and interoperability.

As an example the automatic circuit breaker component testing is examined. Fig.1, a, shows the automata that describes component behavior in the diagram design mode. Fig.1, b, shows the automata that describes component behavior in the electric plant operation mode.

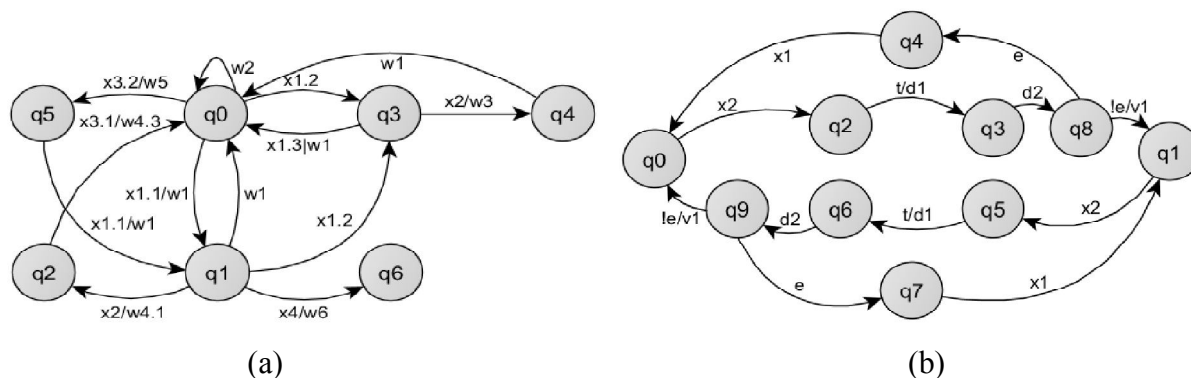


Figure 1 – Behavior of the automatic circuit breaker component

Set of states of the automata shown in fig.1, a, and fig.1, b, is

$$Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6\}$$

$q_0$  – object is created (the initial state);  $q_1$  – object is in focus (highlighted by markers);  $q_2$  – the subject is moving (condition is complex);  $q_3$  – communication with bus available;  $q_4$  – start communication with bus;  $q_5$  – end of the communication with bus;  $q_6$  – the object is removed (final state).

Set of states of the automata shown in fig.1, b, is

$$Q = \{q_0 - q_9\},$$

$q_0$  – the circuit breaker in the initial state;  $q_1$  – The circuit breaker in a state opposite to the initial,  $q_2$  – waiting for the expiry of the circuit breaker trip time;  $q_3$  – waiting for a response from the working area;  $q_4$  – waiting for the user's actions on the elimination of errors;  $q_5$  – waiting for the expiry of the return trip the circuit breaker time;  $q_6$  – waiting for a response from the working area;  $q_7$  – waiting for the user's actions on the elimination of errors;  $q_8$  – verification of the data packet with the odd change of state of the circuit breaker;  $q_9$  – verification of the data packet for even change the status of circuit breakers.

The same automata are used both for testing and for describing and coding of component behavior; the state transition verification is done by built-in compiler facilities for programs debugging. The full coverage of the automaton shown in fig.1, a, comes with the following message sequence generation

$x1.1 \rightarrow x2 \rightarrow x3.1 \rightarrow x1.2 \rightarrow x2 \rightarrow w1 \rightarrow w2 \rightarrow x3.2$   
 $\rightarrow x1.1 \rightarrow x1.2 \rightarrow x1.3 \rightarrow x1.1 \rightarrow w1 \rightarrow x1.2 \rightarrow x2$   
 $\rightarrow w1 \rightarrow x1.1 \rightarrow x4$

For automata shown in fig.1, b,

$x2 \rightarrow t \rightarrow d2 \rightarrow e \rightarrow x1 \rightarrow x2 \rightarrow t \rightarrow d2 \rightarrow !e \rightarrow$   
 $\rightarrow x2 \rightarrow t \rightarrow d2 \rightarrow e \rightarrow x1 \rightarrow x2 \rightarrow t \rightarrow d2 \rightarrow !e$

The task of the unit testing is metrics definition of functionality attributes of separate software components. The behavior in the design mode differs significantly from the behavior in the electric plant operation mode for most software components and is implemented (designed and coded) as two individual finite-state automata. The use of two automata enables to separate calculation of suitability metrics (completeness of test coverage for automaton that is simulating behavior in the diagram design mode) and interoperability metrics (for behavior in the electric plant operation mode).

Thus, the completeness of automata transition coverage is determined to be the criteria of unit testing completeness for all components; the complete set of test cases is being written using automata transition conditions. Since this test phase refers to debugging, the transition to functionality adding and performance of the next test phase only occurs if 100% of test cases are covered.

The software for the monitoring and control of the electric power plant is a discrete-event system, so finite-state automata could be used as means of the test case's development [3]. Although, the software is also a component of hardware-software system, so the R-diagram test sequence should be specified to enable the definition of functions that are subject to examination, as well as software models and tools used for this process [5].

Weighting factors are defined for the calculation of numeric values of suitability, interoperability and precision for each component and for each tool required for the Analyst work. Then attribute values are calculated via additive reduction and normalization:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{15} k_{m.n.i} \cdot k_{p.m.i} \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^{15} \alpha_i} \quad (1)$$

where  $M$  – attribute value;  $k_{m.n.i}$  – test coverage value;  $k_{p.m.i}$  – testing results;  $\alpha_i$  – metric's weighting factor.

The following attribute values were calculated for the monitoring and control software of the marine electric generating plant basing on the results of testing: suitability – 0,91; interoperability – 0,86; precision – 0,81. In analyzing of all test phases' results it can be concluded that the values of «suitability» and «interoperability» attributes can be improved by system testing strengthening, and the improvement of precision is related to changes in software functionality.

The functionality value is calculated by similar algorithm: weighting factors are given for attributes and the numeric value is calculated via reduction and normalization. When setting

factors for suitability and interoperability as 1, and for precision – as 0,8, the functionality value will be – 0,86.

Evaluation software is practicality in terms of values of its three attributes: ergonomics, clarity and efficiency of development. For each of the attributes which are allocated sub characteristics – indicators  $t$  are measured numerically. In [6], a methods of evaluating usability metrics was among the most widely used identified, peer review and survey tests.

There were  $m$  users involved in order to determine the parameters of the study. Based on the data obtained from the survey, the normalized average and the resulted statistical will be used as indicator.

$$S_j = \frac{1}{k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_{ij}}{m} \quad (2)$$

$k$  – normalization factor (maximum score – 10);  $\alpha_{ij}$  – assessment of the  $j$ -index  $i$ -th user;  $m$  – number of users surveyed.

Further, introducing weighting factors has kind of importance to the additive convolution calculates attribute values

$$A_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m_j} p_{ij}} \cdot \sum_{i=1}^{m_j} (S_{ij} \cdot p_{ij}^{(n)}) \quad (3)$$

$p_{ij}^{(n)}$  weight of  $i$ - $j$ -index of the attribute;  $S_{ij}$  – normalized average statistical value of  $i$ -index  $j$ -th attribute;  $m_j$  -number of indicators of the  $j$ -th attribute.

To visualize the results of the calculation are encouraged to use the metric radial diagram [7], with the help of which it is convenient to display the «covering» performance requirements (Fig.2).

Presentation of usability evaluation using a single number does not identify possible problem areas [8], but it allows you at different stages of development and implementation of software to determine the need for further changes to the results of the implementation.

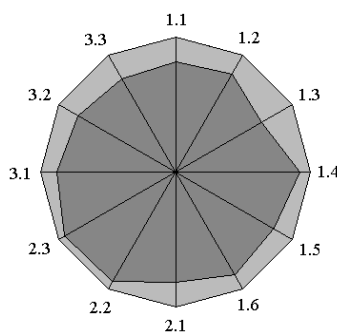


Figure 2 – «Coverage» to the practical performance requirements

The most important weights of the attributes, chosen among – the lowest calculated values

$$\min_{A_j} \max_{p_j} \langle A_j, p_j^{(a)} \rangle \quad (4)$$

and then select the smallest value from the largest weight indexes of attributes that have been selected in the previous step

$$\min_{S_{ij}} \max_{p_{ij}} \langle S_{ij}, p_{ij}^{(n)} \rangle \quad (5)$$

The result of this procedure will be having a variety of indicators, in the direction where the improvement is most important. To facilitate the calculation of minimax criteria, you can calculate the values of attributes and metrics based on the «reverse» weight, calculated as the cofactor 2 «true» weight

$$A_j^* = (2 - p_j) \cdot A_j \quad (6)$$

$$S_{ij}^* = (2 - p_{ij}) \cdot S_{ij} \quad (7)$$

Then determine the most critical indicators in order to improve software usability which will meet determination procedure lowest values supplemented by attributes, and then – among the lowest values of indicators supplemented by

$$\min_{p_{ij}} \min_{A_j} \langle A_j^*, \{S_{ij}^*\} \rangle \quad (8)$$

After calculation chart «covering» the requirements and the numerical value of practicality were obtained – 0.86. For example, the value and coating were found unsatisfactory, therefore it decided to modify the software. For that of the weights greatest attributes is chosen – 1,0, which stands for «for this software ergonomics is the most important». Further parameters of the weighting factors, which are components of ergonomics, the largest has been chosen.

**Conclusion.** The software functionality enhancement is related to the strengthening of system testing (enhancement of suitability and interoperability) and to the upgrade of interaction algorithms between hardware and software automation (improving of precision). The software reliability growth requires further studies of the system for failure situations. The software usability can be improved by upgrade of the means of specifying incorrect setting up for data exchange and by simplifying of the succession of the user moves when performing complex operations (workload management with diesel generators paralleled, data flow analysis etc.). Temporary software efficiency depends on topology and electrical power system composition as well as on the rate of traffic from software components, so the attributes should be calculated for each automated control system of the marine electric generating plant.

## REFERENCES

1. ISO/IEC 25010:2011, Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuRE) – System and software quality models, SC 7 System and Software Engineering, 2011. – P. 34.
2. Danilina T.G., Software quality evaluation with respect to international standards / T.G. Danilina // *Electronic and computer systems* : Kharkov, KHAI, 2012. №7 (59). – pp. 266-269.
3. Kuliamin V.V. Review of the techniques for constructing of covering sets / V.V. Kuliamin, A.A. Petukhov // *Programming* : Moscow, 2011. №3. – pp. 3-11.
4. Kuliamin V.V., Component-based architecture for the model-based testing / V.V. Kuliamin // *Programming* : Moscow, 2010. №5. – pp. 54-75.
5. Tarasiuk O.M. Dynamic radial metric diagrams in tasks of software quality management / O.M. Tarasiuk, V.S. Kharchenko // *Collection of studies of Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering*. – Kiev : NASU IMEE, 2003. №22. – pp. 202-205.
6. Olzoeva S.I. Rasprelennoe modelirovanie v zadachah razrabotki ASU / S.I. Olzoeva. Ulan-Udeh, 2005. – P. 209.
7. Tarasyuk O.M. Dinamicheskie radial'nye metricheskie diagrammy v zadachah upravleniya kachestvom programmnogo obespecheniya / O.M. Tarasyuk, V.S. Harchenko // *Sbornik nauchnyh trudov instituta problem modelirovaniya v ehnergetike im. G.E. Puhova*. – Kiev : NANU, 2003. №22. – pp. 202-205.
8. Pogrebnyak T.P. Otsenka kachestva interfejsov programnyh sistem: model' i ehlementy metodiki / T.P. Pogrebnyak, A.A. Orekhova // *Radioehlektronnye i komp'yuternye sistemy*. – Kharkov : KHAI, 2007. №7(41). – pp. 251-254.



**СЕКЦІЯ:**  
**ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ,  
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ОКСИФЕРОВ

*Алексенко В.Л., Сметанкин С.А., Юренин К.Ю., Гиренко А.А.*  
*Херсонская государственная морская академия*  
(Украина)

**Введение.** Разработка композитов с заранее заданными свойствами требует знания физико-механических свойств их компонент.

В частности, эпоксикомпозиты обычно армируют мелкодисперсными частицами наполнителей, поставляемыми в виде гранул, порошков или более крупных фрагментов неправильной формы. Что требует их размола и сепарации по фракциям. Поставщик, как правило, не может сообщить не только механические константы частиц материала наполнителя, но даже их плотность. Имеющиеся справочные данные отличаются разбросом и неполнотой, обусловленными происхождением и технологией производства сырья для наполнителей.

Значительный интерес для решения задач создания новых электротехнических композитных материалов с повышенными эксплуатационными и технологическими свойствами представляет использование в качестве наполнителей ферритов (оксиферов) - химических соединений оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами других металлов.

Изделия из электротехнических ферритов получают по технологиям, применяемым в порошковой металлургии, включающим прессование с последующим обжигом и, при необходимости, шлифованием в качестве финишной операции. Таким образом, материал изделия из электротехнического феррита – поликристаллический. Дефекты (дислокации) кристаллических решеток, микротрещины и хаотичное расположение кристаллов на несколько порядков снижают их прочность по сравнению с теоретической, но в результате на макроуровне свойства такого материала близки к изотропным.

Применение ферритов в нагруженных деталях ограничено из-за их низкой прочности. Они разрушаются при деформации порядка 0,03 – 0,2% и разрушение имеет типично хрупкий характер.

**Постановка задачи.** Ограничимся определением характеристик прочности и жёсткости наполнителей на базе ферритов.

В лабораторных исследованиях удобно в качестве наполнителей использовать отходы механических испытаний готовых изделий из ферритов массово выпускаемых электротехнической промышленностью. Электромагнитные свойства материалов и типоразмеры таких изделий регламентируются стандартами, а сами изделия имеют заводскую маркировку. Проблемой является определение механических констант материала.

**Состояние вопроса.** Наиболее просто податливость образца определяется в случае, когда он попадает под расчётную схему изотропного призматического или цилиндрического бруса. Испытания таких образцов материалов на растяжение и сжатие, изгиб и кручение регламентируются действующими стандартами. Одной из наиболее распространённых форм готовых изделий из ферритов являются толстостенные кольца большой кривизны (КБК).

**Экспериментальное определение модуля Юнга кругового КБК.** Задача определения напряжённо-деформированного состояния (НДС) кругового КБК при плоском изгибе по схеме, изображенной на рисунке, как и для кольца малой кривизны (КМК), статически неопределима. Ниже приведена формула податливости  $\delta = \Delta / P$  полученная авторами для кругового КБК.

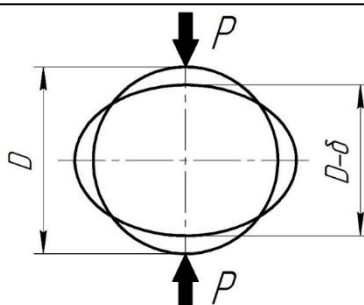


Рисунок 1 – Определение напряжённо-деформированного состояния (НДС) кругового КБК при плоском изгибе

$$\delta = \frac{1}{2EA} \left\{ \left( \frac{R_0^2}{e} - R_0 \right) \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \left( 1 - \frac{e}{R_0} \right) \right] + \pi k(1 + \mu)R_0 \right\}. \quad (1)$$

В таблице приведены результаты сравнительных расчётов ферритовых колец для схемы нагружения изображенной на рисунке, их размеры (первые четыре столбца) являются средними по результатам 16 измерений.

Таблица. Исходные данные и результаты расчёта (мм) податливости  $E\delta$  ( $\text{н}^2/\text{мм}^3$ ) ферритовых колец М 2000НМ1 – Б1183.

Наруж. радиус $R_2$	Внутр. радиус $R_1$	Радиус геом. оси $R$	Размеры попереч. сечения $b \times h$	$i^2 / R$	Эксцентриситет нейтр. слоя $e$	Радиус нейтр. слоя $R_0$	Податливость $E\delta$	
22,45	14,09	18,27	8,24×8,36	0,3188	0,3234	17,95	1	2,914
							2	2,262
							3	3,037
1 - для КБК (1);      2 - для КМК.;      3 - для КМК с учётом сжатия и сдвига.								

Податливость, рассчитанная по формуле (1) на 29 % больше найденной для КМК, предлагаемой в справочниках.

Следовательно, в рассматриваемом случае при экспериментальном определении модуля Юнга, использование формулы КМК даёт неприемлемо большую ошибку.

Учёт сжатия и кручения в рамках теории бруса малой кривизны резко уменьшает (в сторону завышения 4,2%) погрешность определения податливости, но сохраняет большую погрешность определения напряжений в опасном сечении  $\varphi = \pi/2$ .

Для КБК и КМК с параметрами, приведенными в таблице наибольшие растягивающие напряжения от нагрузки  $P$ :

$$A/P \bar{\sigma}_p = 1,087 \quad ; \quad A/P \bar{\bar{\sigma}}_p = 1,455 ,$$

Следовательно, в рассматриваемом случае теория бруса малой кривизны даёт неприемлемо большую погрешность - 34%.

Оценим деформации рассматриваемого типоразмера ферритовых колец при экспериментальном определении модуля Юнга. Приняв  $E\delta = 2,914 \text{ мм/Н}$ ,  $E \approx 2 \times 10^5 \text{ МПа}$  и  $P = 100 \text{ Н}$ , получим  $\Delta \approx 1,5 \text{ мкм}$ , что делает проблематичным достижение требуемой точности измерений при использовании в измерительной цепи механических датчиков перемещений.

**Выводы и рекомендации.** На базе технической теории стержней большой кривизны получены уточнённые формулы позволяющие:

- оценивать податливость плоского кольцевого образца, если известны его геометрические параметры и ориентировочное значение модуля Юнга, а следовательно, выполнить подбор средств измерений при планировании экспериментов;

- рассчитывать модуль Юнга материала образца по результатам экспериментального определения его податливости;
- находить предел прочности материала образца.

Выявлены проблемы:

- достижение требуемой точности измерений при использовании в измерительной цепи механических датчиков перемещений;
- оценки точности формул теории бруса большой кривизны методами теории упругости.

## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРНИХ ПЕРІОДІВ ЗАРЯДКИ, ПРОСТОЮ, ТА РОЗРЯДКИ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВЗ

*Аппазов Е.С.*

*Херсонська державна морська академія*

*(Україна);*

*Русанов С.А., Ключев О.І.*

*Херсонський національний технічний університет*

*(Україна)*

**Вступ.** Передпускова підготовка двигунів внутрішнього згоряння для умов низьких температур навколишнього середовища є не тільки задачею економії паливних ресурсів, але й задачею, що пов'язана з екологічними проблемами, проблемами комфортної експлуатації автомобіля тощо. Таким чином, проведення вказаної теплової підготовки актуально як для приватних транспортних засобів, так і в проекції на проблеми міського транспорту, транспорту на підприємствах і т.д.

Одним з розв'язків проблеми передпускової теплової підготовки ДВЗ є використання власної теплоти двигуна, що накопичується у встановлених системах утилізації теплоти, після чого утилізована теплота використовується для передпускової теплової підготовки ДВЗ. Теплота запасється робочими тілами, що зберігаються при заданій температурі у твердому або рідкому стані в спеціальних ємностях, при цьому залежно від типу процесу повернення теплоти розрізняють різні види теплоаккумуляторів [1].

**Постановка завдання.** В роботах [2–6] проведено обґрунтування етапів проектування теплоаккумуляторів фазового переходу для різних транспортних засобів з проведенням серії CFD-досліджень гідродинаміки й теплообміну двигуна з визначенням нерівномірності прогріву блоку циліндрів і голівки блоку циліндрів, необхідним часом прогріву для заданих параметрів навколишнього середовища. Одним з етапів проектування у відповідності з [6] є розрахунки робочого процесу, моделювання стадії акумулювання тепла і стадії простою. У даній роботі детально розглядається розрахункова модель вказаного етапу з отриманням чисельних даних по параметрам прогріву системи двигуна теплоакмулюючим пристроєм кожухотрубчатого типу із примусовою циркуляцією теплосприймаючого агента.

**Виклад основного матеріалу.** Для моделювання робочого процесу стадії акумулювання тепла, стадії простою та розрядки, використовується тепловий баланс системи циркуляції. Система рівнянь теплового стану для кожної ділянки має вигляд:

$$C_1 \frac{dT_1}{d\tau} + \Lambda_{11}(T_1 - T_2) + \Lambda_{12}(T_1 - T_3) + \Lambda_{13}(T_1 - T_{nc}) = P_1,$$

$$C_2 \frac{dT_2}{d\tau} + \Lambda_{21}(T_1 - T_2) + \Lambda_{22}(T_1 - T_3) + \Lambda_{23}(T_1 - T_{nc}) = P_2,$$

...,

або в матричній формі:

$$[C] \cdot \dot{\mathbf{T}} + [\Lambda] \cdot \mathbf{T} = \mathbf{P}, \quad (1)$$

де  $[C]$  – матриця теплоємностей (діагональна),  $\mathbf{T}$  – стовпець температур вузлів,  $T_{nc}$  – температура навколишнього середовища,  $[\Lambda]$  – матриця теплових провідностей,  $\mathbf{P}$  – вектор потужностей теплових джерел. Теплоємність, що відповідає теплоакмулюючій речовині, задається кусковою функцією у відповідності з методом ефективної теплоємності [6] (рис. 1, а).

Нижче представлено чисельне рішення системи (1) для моделі двигуна, теплоаккумулятора та системи циркуляції з наступними параметрами:

$n=72$  – число трубок теплообмінника-теплоакумулятора;  
 $d=0,02$  м – діаметр трубок;  
 $l=0,4$  м – довжина трубок;  
 $\rho_M=2000$  кг/м<sup>3</sup> – густина теплоакумуляючого матеріалу;  
 $V_M=9 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> – відповідний об'єм теплоакумуляючого матеріалу;  
 $m_M=18$  кг – маса теплоакумуляючого матеріалу;  
 $c_M=3000$  Дж/кг·К – теплоємність теплоакумуляючого матеріалу поза межами фазового переходу;  
 $\alpha_1=20$  Вт/м<sup>2</sup>·К – тепловіддача від матеріалу при природній конвекції (стоянка);  
 $F_M=1,8$  м<sup>2</sup> – площа теплоповерхні матеріалу;  
 $q=260 \cdot 10^3$  Дж/кг – теплота фазового переходу;  
 $\rho_T=1000$  кг/м<sup>3</sup> – густина циркулюючої рідини;  
 $V_T=11 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> – об'єм циркулюючої рідини в теплообмінному апараті;  
 $s=50$  мм – товщина ізоляції (пінопласт);  
 $m_T=11$  кг – маса циркулюючої рідини в теплообмінному апараті;  
 $c_T=3000$  Дж/кг·К – теплоємність циркулюючої рідини;  
 $K_{\Pi}=0,74$  Вт/м<sup>2</sup>·К – коефіцієнт теплопередачі через пінопласт;  
 $t_{nc} = -20$  °С – температура навколишнього середовища;  
 $F_{\text{та}}=0,46$  м<sup>2</sup> – площа кожуха теплоакумулятора;  
 $m_{\text{тд}}=18$  кг – маса циркулюючої рідини у двигуні;  
 $V_{\text{тд}}=18$  л – об'єм циркулюючої рідини у двигуні;  
 $F_{\text{дн}}=2,7$  м<sup>2</sup> – площа поверхні двигуна (зовнішня);  
 $F_{\text{дв}}=2,2$  м<sup>2</sup> – площа поверхні двигуна (внутрішня);  
 $\alpha_2=10$  Вт/м<sup>2</sup>·К – тепловіддача до навколишнього середовища;  
 $m_{\text{д}}=170$  кг – маса двигуна (що приймає участь у теплопередачі);  
 $c_{\text{д}}=550$  Дж/кг·К – середня теплоємність двигуна;  
 $t_{\phi}=78$  °С – температура фазового переходу.

Розрахунок проводився за схемою Рунге-Кутти 4-го порядку. Результати розрахунків представлено на рис. 1, б-г.

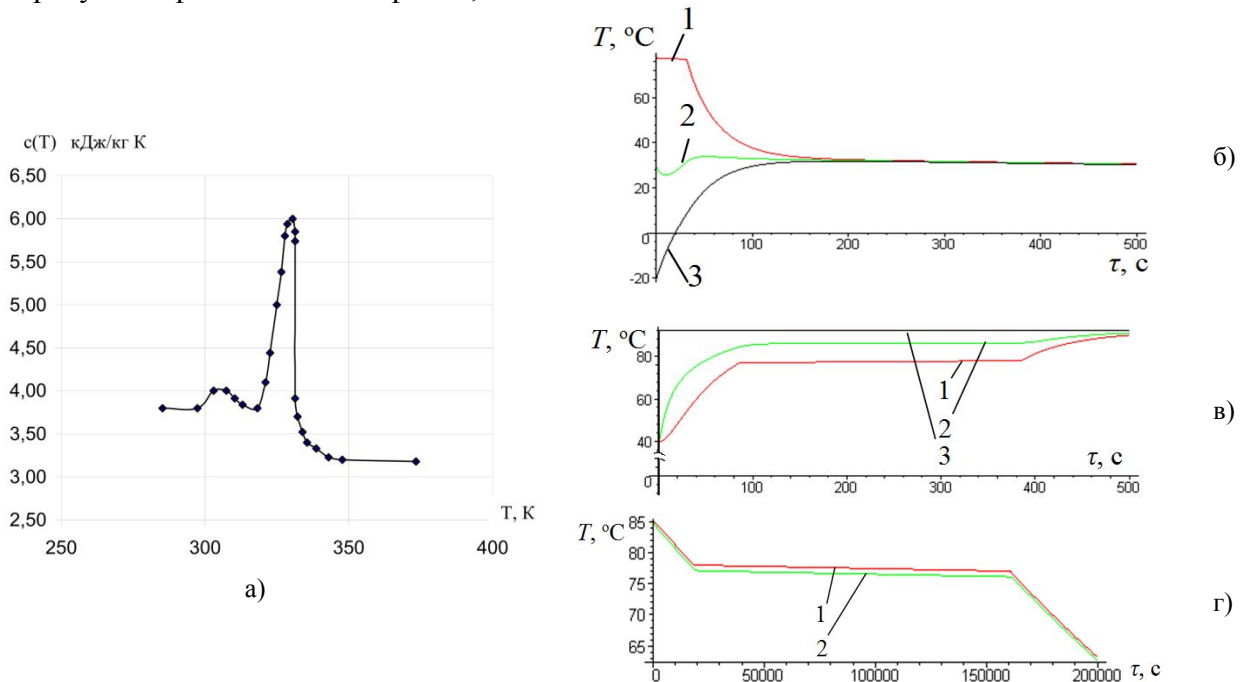


Рисунок 1 – Результати чисельних розрахунків етапів теплової підготовки ДВЗ:

а) – крива теплоємності у відповідності з методом ефективної теплоємності, б) – розрядка теплового акумулятора при стандартному режимі роботи, в) – зарядка від прогрітого двигуна, г) – простій зарядженого акумулятора. 1 – розрядка теплоакумуляючої речовини, 2 – прогрів охолоджуючої рідини, 3 – розігрів двигуна

Як видно з результатів розрахунків, система з заданими параметрами прийнятна для ефективного прогріву за задовільний проміжок часу порядку 200 с (рис. 1, б), зарядка від прогрітого двигуна становить близько 500 с (рис. 1, в), прийнятні для зарядження умови зберігаються в теплоаккумуляторі при правильно підібраній теплоізоляції впродовж 2 діб (рис. 1, г).

**Висновки.** Розрахунки теплоакмулюючої апаратури для теплової підготовки двигунів внутрішнього згорання з використанням чисельних методів усередненого прогнозування стадій зарядки, розрядки, простою при виборі компонування устаткування та стендових випробувань дозволяють оптимізувати конструктивні параметри, вибрати відповідні варіанти з множини можливих компонувань, розрахувати енерговитрати ще на ранньому етапі проектування. Такий підхід може бути розповсюджений на індивідуальні розрахунки по визначенню оптимальних компонувань теплоакмулюючого обладнання для широкого спектра автомобільної техніки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстрем В.А. - К.: «Техника», 1991. – 112 с.
2. Аппазов Э.С. Применение предпусковой тепловой подготовки для повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания // Вісник Херсонського національного технічного університету, № 1(48), 2014, С. 30-33.
3. Аппазов Е.С. Моделирование гидродинамических та тепловых процессов при передпусковой подготовке автомобильных двигателей / Е.С. Аппазов, О.И. Ключев, С.А. Русанов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науковий журнал. – Херсон: Вид-во ХДМА, 2014 – №1(10). – С. 131-136.
4. Дмитрієв Д.О., Аппазов Е.С., Русанов С.А., Ключев О.І. Моделирование процесса розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковій підготовці // Вісник Хмельницького національного університету, № 5, 2015, С. 54-58.
5. Аппазов Э.С. Решения по использованию теплоаккумуляторов на основе фазового перехода твердое тело – жидкость для предпусковой подготовки автомобильных двигателей / Э.С. Аппазов, О.И. Ключев, С.А. Русанов, К.В. Луняка // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2014. – С.52-54.
6. Аппазов Э.С. Этапы проектирования теплового аккумулятора для предпускового разогрева двигателя / Э.С. Аппазов, О.И. Ключев, С.А. Русанов, К.В. Луняка // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування / Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ВНЗ «ХДМІ», 2016. – С.107-109.

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЕЛЕКТРОЛІЗУ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДООКСИДНОГО ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА

**Басараба Ю.Б.**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

(Україна);

**Засадний Т.М.**

*Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка НАН України*

(м. Львів, Україна)

**Вступ.** Щоб задовольнити постійно зростаючий попит на енергію і знизити ризик різкої зміни клімату в найближчі роки, необхідно здійснювати перехід на альтернативні відновлювальні джерела енергії взамін викопного палива (вугілля, газу та нафти). Відновлювальні джерела енергії зазвичай відповідають більш безпечному, надійному і сталому розвитку.

Одним з таких джерел може стати водень [1, 2]. Однак виникає питання про його отримання, оскільки водень в природі існує тільки у зв'язаному стані. Найдешевшим та доступним джерелом водню є вода, запаси якої на Землі є практично у необмеженій кількості. Отримати водень з води можна шляхом електролізу [3]. Об'єднання виробництва водню за допомогою електролізу води з поновлюваними джерелами енергії [4] дає можливість збільшити потужність виробництва і управління навантаженням без будь-яких викидів парникових газів. Водень, як енергоносіє, включає таку перевагу, як гнучкість, тобто можливість легкого перетворення у інші види енергії.

Найбільш очевидний шлях – це виробництво водню з використанням живлення від поновлюваних джерел енергії, таким як вітряні турбіни і сонячні батареї з подальшим його збереженням і виробництвом електрики за допомогою паливних елементів [5] або газових турбін. Водень може, також, бути використаний в якості сировини для виробництва синтетичних видів палива, наприклад метану в процесі Сабатьє і рідкого палива шляхом синтезу Фішера-Тропша [1].

**Актуальність досліджень.** Як відомо [1], найефективнішим паливом для твердооксидної паливної комірки є водень. Тому для нормальної роботи необхідно забезпечити її необхідною кількістю цього газу достатньої чистоти. Тут постає питання отримання чистого водню. Електроліз води один з найбільш відомих і добре вивчених методів отримання водню [1]. Він забезпечує отримання чистого продукту (99,6-99,9%  $H_2$ ) і кисню в одну технологічну ступінь. Економіка процесу в основному залежить від вартості електроенергії.

Високотемпературні електролізери [5–7], які працюють за температури 1170 К мають коефіцієнт корисної дії, який наближається до 100% [1, 2]. Це дає змогу припустити, що такі електролізери у поєднанні з високотемпературними паливними елементами дозволять розв'язати ряд важливих задач в області енергетики, і, в окремому випадку, задачу створення потужних акумулюючих установок з паливним елементом замкнутого циклу. Тобто, на виході керамічної комірки, як продукт реакції – водяна пара з температурою 600°C, її за допомогою додаткової електроенергії (фото-, термоелектричні перетворювачі тощо) перетворюємо на водень та кисень за цієї ж температури, які у подальшому знову перетворюються у водяну гарячу пару і електрику і далі за цим же колом, у замкнутому об'ємі без втрати води (рис. 1).

Тому, отримання чистого водню і кисню з мінімальними затратами є актуальною темою наукових та інженерних досліджень.

**Постановка задачі.** Мета даного дослідження – теоретично обґрунтувати доцільність високотемпературного електролізу води за допомогою твердооксидних



паливних елементів і можливість створення потужних акумулюючих установок замкненого циклу з паливним елементом і електролізером.

**Результати досліджень.** Оцінимо ефективність високотемпературного електролізу водяної пари і фізичну можливість реалізації такої енергетичної установки.

У відповідності з сумарним рівнянням процесу розкладу води [1, 2]:



для отримання 1 м<sup>3</sup> (90 г) водню потрібно 805 г води і 2394 А · год кількості електрики.

Затрачена у цьому процесі електроенергія, кВт · год, дорівнює добутку кількості електрики на спад напруги на комірці електролізера  $U$  (В):

$$W_{\text{ел}} = 2,394 \cdot U. \quad (2)$$

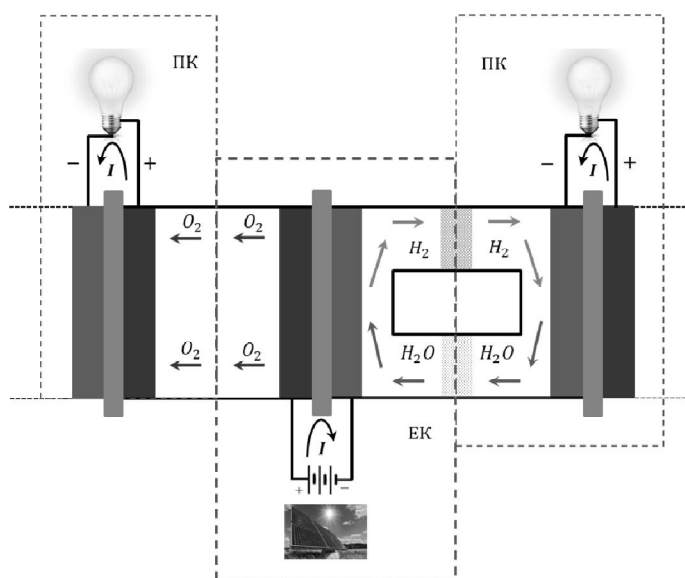


Рисунок 1 – Схема частини енергетичної установки замкненого циклу з паливним елементом і електролізером:  $EK$  – електролізерна комірка;  $ПК$  – паливна комірка

Теоретичне значення ЕРС комірки  $E_T$ , необхідної для проведення реакції розкладу води:

$$E_T = -\frac{\Delta G}{n \cdot F} = 1,23 \text{ В}, \quad (3)$$

де  $\Delta G$  – зміна вільної енергії Гібса,  $\Delta G_{298 \text{ К}} = 237190$  Дж/моль [2];  $n$  – кількість електронів, які беруть участь в електродній реакції;  $F$  – стала Фарадея. Вона відповідає тій частині енергії, яку необхідно підвести у вигляді роботи. Напруга 1,23 В необхідна теоретично для розкладу води на кисень і водень, але цей процес є ендотермічним, тому до комірки необхідно підводити теплоту, рівну:

$$Q = T\Delta S = \Delta H - \Delta G. \quad (4)$$

Інакше комірка буде охолоджуватися.

Тепловий ефект реакції розкладу води дорівнює  $\Delta H$  і є сумою роботи і теплоти, затрачених у процесі. Напругу на комірці, яка відповідає цьому тепловому ефекту:

$$E_q = \frac{\Delta H}{n \cdot F} \quad (5)$$

називають термонеутральною напругою. Вона дорівнює напрузі комірки у гіпотетичному ізобарно-ізотермічному оборотному процесі, при якому відсутні тепломасообмін з зовнішнім середовищем і уся необхідна для реакції енергія (сума необхідних теплоти і

роботи) підводяться у вигляді електроенергії. Оскільки тепловий ефект розкладу води  $\Delta H$  дуже слабо залежить від температури,  $E_q$  практично незмінюється і при електролізі води з врахуванням теплоти випаровування складає  $E'_q = 1,481$  В, а при електролізі водяної пари  $E''_q = 1,25$  В. Частина роботи, необхідна для розкладу води, по відношенню до загальних витрат енергії в електрохімічному процесі  $\eta$  дорівнює  $E_T/E_q$  і оскільки  $E_T$  для води зі збільшенням  $T$  зменшується (при атмосферному тиску  $\frac{\partial E_T}{\partial T} = -0,25$  мВ/К [2]), при підвищенні температури частка теплоти зростає і при  $T \approx 5000$  К практично уся енергія, необхідна для розкладу води, використовується у вигляді тепла ( $\eta \approx 0$ ). Залежність  $E_T$  і інших параметрів реакції від температури наведено у таблиці, де теоретичні значення  $W_T^{ел}$  і  $W_T^{тепл}$  знайдено як [2]:

$$W_T^{ел} = 2,394 \cdot E_T = 2,394 \cdot E_q \cdot \eta, \quad \text{кВт} \cdot \text{год}; \quad (6)$$

$$W_T^{тепл} = 2,394 \cdot (E_q - E_T) = 2,394 \cdot E_q \cdot (1 - \eta), \quad \text{кВт} \cdot \text{год}. \quad (7)$$

Таблиця 1 – Теоретичні значення ЕРС і витрати енергії у реакції розкладу води при  $p = 0,1$  МПа (для температур 298 і 353 К – електроліз води, для більш високих температур – пари)

Параметр реакції	T, К							
	298	353	423	473	573	773	1273	2273
$E_T, \text{В}$	1,23	1,18	1,15	1,10	1,04	0,95	0,80	0,50
$\eta$	0,83	0,80	0,92	0,88	0,83	0,76	0,64	0,40
$W_T^{ел}, \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$	2,94	2,82	2,75	2,63	2,49	2,27	1,91	1,20
$W_T^{тепл}, \text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3$	0,60	0,72	0,24	0,36	0,5	0,72	1,08	1,79

Отже, в оборотній реакції при електролізі води поряд з витратами електроенергії принципово можливе безпосереднє перетворення теплоти, яка підводиться до комірки, в хімічну енергію паливно-окислювальної суміші (водню і кисню) у кількості  $W_T^{тепл}$ .

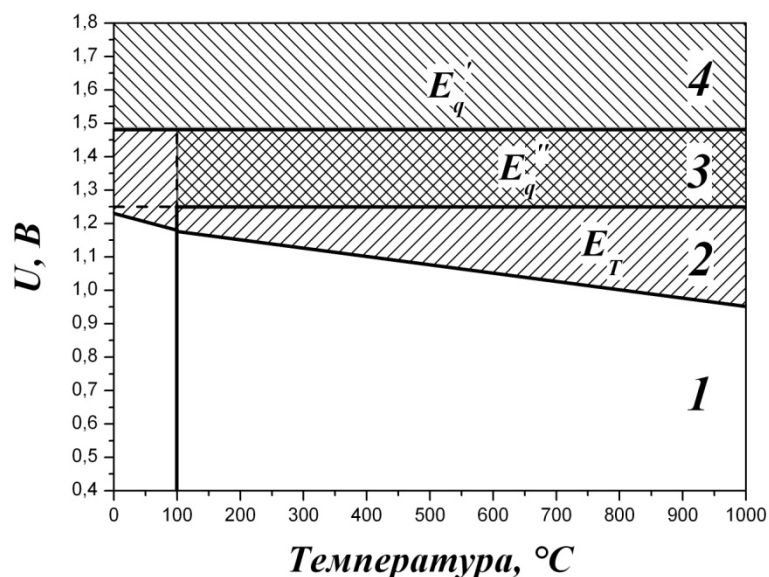


Рисунок 2 – Умови реалізації електролізу

На рис.2 показано зміну  $E_T$  і  $E_q$  в залежності від температури за атмосферного тиску. При напрузі комірки  $U < E_T$  (область 1) отримання водню з води електролізом неможливе. При  $E_T < U < E_q$  електроліз супроводжується поглинанням теплоти з зовнішнього середовища, розклад води здійснюється не тільки за рахунок підведеної електроенергії, але й за рахунок теплоти, яка підводиться до комірки (області 2 і 3) у

кількості  $Q = (E_q - U)nF$ , кВт · год · моль<sup>-1</sup>, де  $E_q = E'_q$  при електролізі води і  $E_q = E''_q$  при електролізі водяної пари. В області  $E_T \leq U \leq E''_q$  (область 2) при електролізі водяної пари теплота, яка підводиться ззовні витрачається безпосередньо на розклад молекул води, а при електролізі рідкої води – як на випаровування, так і на розклад води. В області  $E''_q \leq U \leq E'_q$  (область 3) при електролізі води теплота, яка підводиться ззовні витрачається на випаровування води, а при електролізі водяної пари теплота, яка виділяється в комірці, віддається у зовнішнє середовище. В області 2 затрати електроенергії на електроліз менші ніжчої теплоти згорання водню у кисні, а в області 3 – більші ніжчої, але менше вищої. При  $U > E'_q$  теплота, яка виділяється в комірці, віддається у зовнішнє середовище і витрати електроенергії на виробництво водню перевищують вищу теплоту згорання отриманої паливно-окислювальної суміші (область 4). Зрозуміло, що термодинамічно більш вигідно вести процес електролізу за високих температур і значеннях  $U$ , близьких до  $E_T$ , з підведенням теплоти від зовнішнього джерела.

**Висновки.** Отже, при підвищенні температури зменшується величина напруги розкладу води. В результаті, при високотемпературному електролізі досягається значна економія електроенергії, а, отже, збільшується його ефективність. Розхід енергії складає до 3 кВт · год на 1 м<sup>3</sup> водню (4,3-4,6 кВт · год за низьких температур [1]).

Оскільки робоча температура твердооксидних паливних елементів перевищує 600°C, то є можливим їх об'єднання з електролізерною коміркою, яка буде використовувати тепло, що виділяється у процесі їх роботи і формування енергетичної установки замкнутого циклу з паливним елементом і електролізером. Електроенергію для електролізу слід отримувати від відновлюваних джерел енергії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. / Д.Ю.Гамбург, В.П.Семенов, Н.Ф.Дубовкин, Л.Н.Смирнова; Под. ред. Д.Ю.Гамбурга, Н.Ф.Дубовкина.–М.: Химия, 1989.– 672 с.
2. Введение в водородную энергетику / Э. Э. Шпильрайн, С.П. Малышенко, Г.Г. Кулешов; Под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.
3. Mazloomi K., Sulaiman N., Moayed H. Electrical efficiency of electrolytic hydrogen production // Int. J. Electrochem. Sci. – 2012. – Vol. 7. – P. 3314-3326.
4. Mori M., Mržljak T., Drobnič B., Sekavčnik M. Integral characteristics of hydrogen production in alkaline electrolyzers // J. Mech. Eng. – 2013.– Vol. 59. – P. 585-594.
5. Li Q., Zheng Y., Guan W., Jin L., Xu Ch., Wang W.G. Achieving high-efficiency hydrogen production using planar solid-oxide electrolysis stacks // Int. J. Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39. – P. 10833-10842.
6. Jin L., Guan W.B., Ma X., Xu Ch., Wang W.G. Achieving hydrogen production through solid oxide electrolyzer stack by high temperature electrolysis // ECS Transactions. – 2012. – Vol. 41. – P. 103-111.
7. Reytier M., Di Iorio S., Chatroux A., Petitjean M., Cren J., De Saint Jean M., Aicart J., Mouglin J. Stack performances in high temperature steam electrolysis and co-electrolysis // Int. J. Hydrogen Energy. – 2015. – Vol. 40. – P. 11370-11377.

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ГРУНТОВУ ПОВЕРХНЮ РУХУ

Библюк Н. І., Мачуга О. С., Стиранівський О. А., Герис М. І.  
Національний лісотехнічний університет України  
(м. Львів, Україна)

**Вступ. Актуальність задачі.** Рух лісовими дорогами технологічного транспорту лісозаготівлі – харвестерів та форвадерів супроводжуються виникненням нерівномірності навантаження рушіїв лівого та правого борту, яке посилюється внаслідок наявності начіпного технологічного обладнання, локалізованого по один бік машини. Така нерівномірність може призвести до значного збільшення екологічних ризиків під час лісозаготівлі, а також зумовити передчасну втрату працездатності механізму. Зменшення вказаних негативних наслідків господарювання в гористих місцевостях є актуальною проблемою.

Розвинуто підхід, що дозволяє визначати нормальні та дотичні опорні реакції ґрунту від дискретної дії рушіїв у залежності від параметрів ухилу лісосіки, напрямку руху машини та роботи начіпного різального обладнання. Такі дані є важливими для узагальненої методики оцінки екологічних ризиків лісозаготівлі у гірських умовах, які формуються внаслідок переміщення лісозаготівельної техніки опорною поверхнею – ґрунтом у залежності від його фізико – механічних характеристик. З метою апробації отриманих результатів доцільно використовувати представлену в роботі методику натурального визначення реальних показників пошкодження довкілля лісовими машинами.

**Постановка задачі.** Узагальнимо математичну модель руху лісотransпортного засобу для випадку його руху горбкуватою лісосікою, гірською лісовозною дорогою тощо за одночасного виконання ним деяких технологічних операцій, зокрема зрубвання [1, 2]. Розглянемо тривісний колісний харвестера Н, який рухається площиною з ухилом  $\alpha$  до горизонту зі швидкістю  $v$  уздовж осі, що утворює кут  $\beta$  з висхідною лінією площини руху. Зрізання дерев виконується стрілою – маніпулятором з харвестерною (процесорною) голівкою. Напрямок стріли відведено від напрямку руху на кут  $\gamma$  (рис. 1).

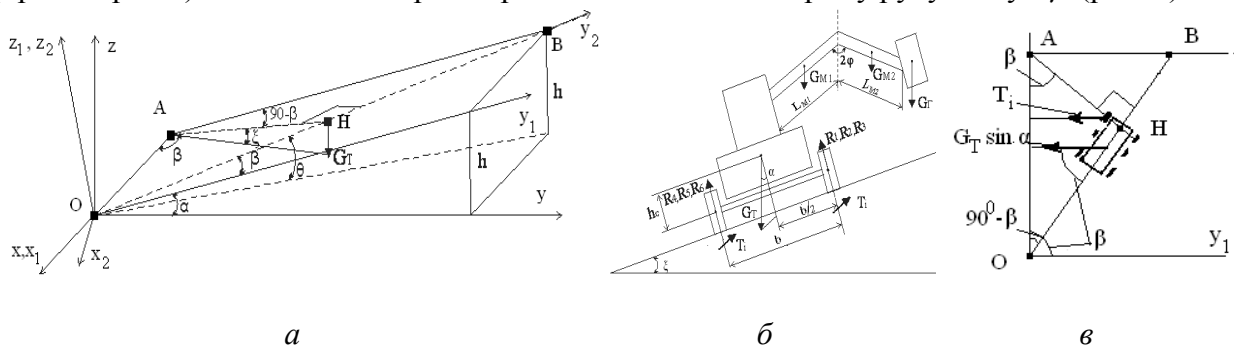


Рисунок 1 – Схема руху лісотransпортного засобу лісосікою із ухилом; а - геометричні будування для визначення положення механізму Н; б – сили, що діють на механізм в перпендикулярній до напрямку руху площині; в – сили, що діють в площині руху

Рівняння рівноваги моментів мають вигляд:

$$\left[ G_T \frac{b}{2} + G_{M1} \frac{b - l_{M1}^{np}}{2} + G_{M2} \frac{b - 2 \cdot l_{M1}^{np} - l_{M2}^{np}}{2} + G_T \left( \frac{b}{2} - l_{M1}^{np} - l_{M2}^{np} \right) \right] \cdot \cos \alpha - (R_4 + R_5 + R_6) \cdot b + (G_T \cdot (h_c + r) + G_{M1} \cdot (h_{M1} + r) + G_{M2} \cdot (h_{M2} + r) + G_T \cdot r) \cdot \sin \xi = 0, \quad (1)$$

$$\sin \theta (G_T \cdot h_c + G_{M1} \cdot h_{M1} + G_{M2} \cdot h_{M2}) - a_2 (R_2 + R_5) - a (R_3 + R_4) + \sum_{i=1}^6 T_i \cdot r \cos \beta + \quad (2)$$

$$+ \left[ G_T \cdot a_2 - \left[ G_{M1} \cdot \frac{L_{M1}}{2} + G_{M2} \left( L_{M1} + \frac{L_{M2}}{2} \right) + G_T (L_{M1} + L_{M2}) \right] \sin \varphi \cos \gamma \right] \cos \alpha + \sum_{i=1}^6 T_i \cdot r \cos \beta = 0,$$

$$\text{де } \sum_{i=1}^6 T_i = (G_T + G_{M1} + G_{M2} + G_G) \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Система рівнянь (1) - (3) побудована для визначення нормальних складових реакцій опорної поверхні – ґрунту для харвестера в робочому положенні. Аналогічні рівняння можуть бути записані для дотичних складових опорних реакцій:

$$\begin{aligned} & \frac{b}{2} \cdot \cos \beta \cdot \sum_{i=1}^3 (T_i - T_{i+3}) + \sin \beta \cdot \left( \sum_{i=2,5} T_i \cdot a_2 + \sum_{i=3,4} T_i \cdot a \right) - M_0 - G_T \cdot a_2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + \\ & + \left[ G_{M1} \cdot \frac{L_{M1}}{2} + G_{M2} \cdot \left( L_{M1} + \frac{L_{M2}}{2} \right) + (G_G + G_{CT}) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \right] \times \sin \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\beta - \gamma) = 0. \quad (4) \end{aligned}$$

Інженерні методи розв'язування системи рівнянь (1) – (4) для конкретних прикладів машин базуються на розгляданні реакції найбільш завантаженого рушія  $R_1$  і її безрозмірного значення  $R_1^0$ , віднесеного до цієї ж реакції у нейтральному положенні на ухилі. Для величини  $R_1^0$ , у випадку окремих типів харвестерів зі стовбуром, діаметр якого на висоті зрізу 62,5 см, отримано:  $R_1^0 = 1 + 8,207 \cdot \sin \gamma$ , залежність реакції  $R_1^0$  від кута  $\gamma$  для деяких харвестерів подано на рис. 2 а.

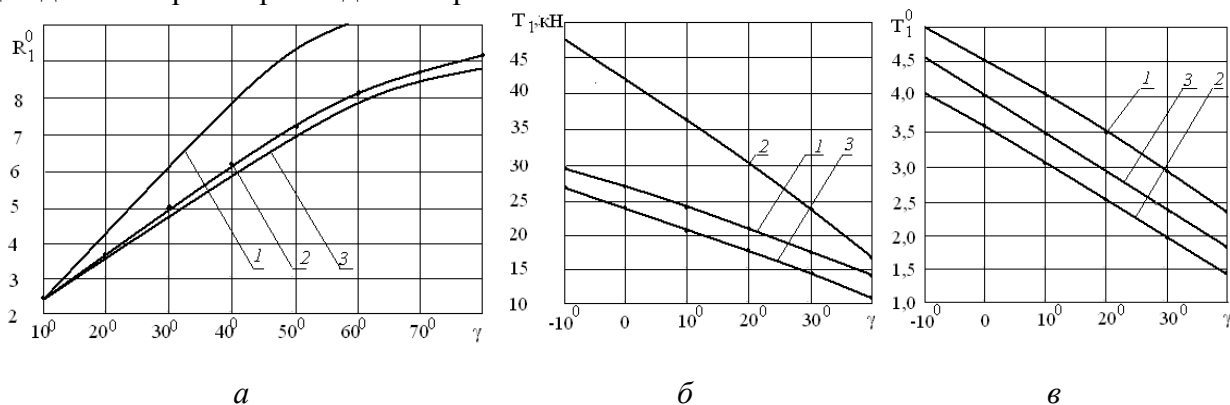


Рисунок 2 – Результати розрахунків:

*a* – залежність безрозмірної реакції  $R_1^0$  від положення маніпулятора: 1 - Timberjack 1270 D, 2 - Valmet 911.3, 3 - Амкордор 2551; залежність абсолютної – *б* та відносної – *в* дотичної складової реакції опори першого рушія від кута відхилення стріли-маніпулятора  $\gamma$  від напрямку руху харвестера лісосікою для деяких значень кутів: 1 -  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ ; 2 -  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ ; 3 -  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\beta = 20^\circ$ .

Ухил лісосіки  $\alpha$  та напрям  $\beta$  руху з одночасним виконання виробничої функції харвестера, суттєвим чином впливають на опорні реакції ґрунту на рушій, які можуть в декілька разів перевищувати такі ж величини під час статичного положення механізму на горизонтальній площині у складеному положенні. На величину найбільшої реакції впливає асиметричне навантаження від головки харвестера із затисненим стовбуром з плечем, рівним розкладеному маніпулятору. Представлений розв'язок задачі близький до реального стану за  $\gamma = 20^\circ \div 45^\circ$ , оскільки для цього діапазону застосовано певні інженерні наближення.

Графіки залежності найбільшої дотичної реакції  $T_1$  від кута  $\gamma$  для деяких значень ухилу  $\alpha$  представлено на рисунку 2 б, в. Абсолютні величини дотичних складових реакцій є порівняльними із значеннями нормальних складових, що вказує на необхідність врахування їх під час вибору типорозміру рушіїв для роботи у гірських місцевостях із забезпеченням можливості виконання механізмом операцій виробничої функції. Дотичні складові реакції опорної поверхні – ґрунту для розглядуваних машин складають 14,5 – 16,5 % від сумарної реакції та викликають 1,1 – 1,8 % довантаження рушіїв у

порівнянні із стандартними варіантами руху 3 наведених графіків визначаються також умови експлуатації розглядуваного тестового механізму без проковзування його рушіїв для конкретного типу ґрунту та ухилу поверхні руху.

**Оцінка ризиків гірської лісозаготівлі.** Зазвичай допустиме значення контактного тиску  $p_{k\max}$  є критерієм екологічної сумісності рушія технологічного транспорту лісозаготівлі з опорною поверхнею з позиції мінімізації колієутворення і ущільнення ґрунту. Екологічно безпечні умови експлуатації лісових машин визначаються відповідно до рекомендації Есвуд [3]: розрахункові залежності  $p_{k\max}$  для колісних машин  $p_{k\max} = G_1/r \cdot b$ ; для гусеничних машин  $p_{k\max} = G_1/(1,25r + l)b$ , де  $G_1$  – повна вага лісової машини, яка припадає на одне колесо (гусеницю);  $r$  – радіус колеса або опорного котка;  $l$  – довжина опорної поверхні гусениці;  $b$  – ширина колеса або гусениці. Класифікація ґрунтових умов подана в табл. 1.

Таблиця 1 – Класифікація ґрунтових умов за Есвуд

Твердість ґрунту (клас)	Параметри витримувальної здатності			Допустиме значення питомого тиску, кПа
	СІ, кПа	Е, кПа	$\tau$ , кПа	
Висока (1)	>500	>60	>60	>80
Середня (2)	300-500	20-60	20-60	60-80
Низька (3)	<300	<20	<20	40-60

Виконано дослідження залежності показника СІ від масової вологості ґрунту  $W$  (рисунок 3 а) для встановлення класу твердості типової для Українських Карпат ґрунтової супіщаної поверхні в різні періоди року

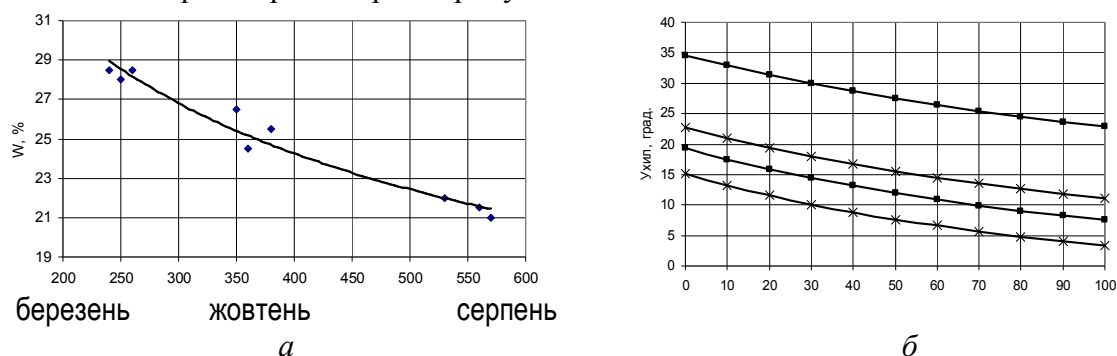


Рисунок 3 – Залежність вологості від конусного показника супіщаного ґрунту (а), залежність максимально доланого ухилу від рейсового навантаження трельовального трактора в літній період (б)

Наявність тісного кореляційного зв'язку між СІ і  $W$  свідчить, що конусний показник характеризує витримувальну здатність ґрунту із врахуванням його вологості. Найвища витримувальна здатність опорної поверхні (клас твердості – 1) спостерігається влітку (серпень) і відповідно найнижча (клас твердості 2 – 3) – в весняно-осінній період. Залежність максимального ухилу  $i_{\phi\max}$ , який може долати лісова машина за умови повного використання тягової сили і обмеження за зчпними властивостями для класу твердості 1 (літній період) лісозаготівельної діяльності подано на рисунку 3 (б).

Результати розрахунку  $p_{k\max}$  для типових лісових машин, які експлуатують в Українських Карпатах, наведено в табл. 2.

Для практичного використання рекомендацій щодо визначення допустимих з огляду ризиків ухилів місцевості  $i$  слід використовувати співвідношення [4]:  $i \leq 0,75i_{\phi\max}$ . Максимальні допустимі ухили, експлуатація на яких лісових машин не призведе до значних екологічних порушень, наведено в Таблиці 3.

Таблиця 2 – Контактний тиск типової лісової машини за її максимального навантаження

Назва лісової машини	$P_{к\max}$ кПа
Колісний трактор з навісним трелювальним обладнанням	72
Колісний трактор з причіпним модулем	107
Колісний трелювальний трактор	65
Колісний сортиментовоз	78
Гусеничний трелювальний трактор	45

Таблиця 3 – Екологічно безпечні умови експлуатації лісових машин

Рушій	Максимальний ухил місцевості, град	
	літній період	весняно-осінній період
колісний	17,1 (11,3)	12,9 (2,2)
гусеничний	26,0 (14,8)	21,6 (8,5)

Примітка: в дужках – несприятливі умови.

**Натурні обстеження та полігонні дослідження.** Для визначення реальних показників пошкоджень довкілля лісовими машинами, порівняльного екологічного оцінювання способів трелювання деревини, а також обґрунтування екологічно безпечних режимів роботи лісотransпортних засобів виконано натурні обстеження наслідків лісозаготівельної діяльності в гірських умовах Карпат та реалізовано полігонні дослідження процесів колієутворення унаслідок багаторазового проїзду колісних і гусеничних трелювальних тракторів. Об'єктами дослідження було вибрано гусеничний трелювальний трактор ТТ-4 (один із найчастіше застосовуваних у гірських умовах Карпат) і його відповідник за головними технічними параметрами колісний скідер HSM-805. Усереднені параметри пошкоджень, завданих трелювальними тракторами, визначались за методикою [5]. Геометричні параметри пошкоджень за діапазонами дано на рис. 4

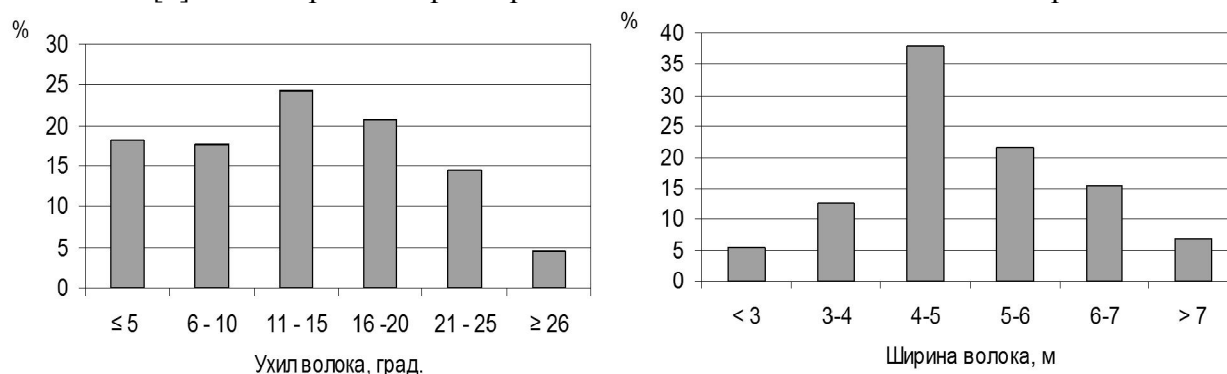


Рисунок 4 – Розподіл геометричних параметрів волоків. Ухил ділянок волоків змінюється від  $0^0$  до  $35^0$ , середнє значення  $10,2^0$  –  $13,5^0$ ; ширина волока - 1,4 до 11,8 м, середнє значення 4,9 – 5,4 м

У процесі дослідження не встановлено суттєвої різниці між геометричними параметрами (шириною) пошкоджень опорної поверхні унаслідок руху колісних і гусеничних трелювальних тракторів. Водночас виявлено, що пошкодження більшої ширини характерні для поворотів трелювальних волоків з невеликими радіусами заокруглень і спричинені головно пачкою деревини, яка трелюється.

Полігон для польових досліджень колієутворення містив прямолінійні та криволінійні ділянки із настилом з гілок та без гілок. Фотографії окремих фрагментів полігонних досліджень процесів колієутворення наведено на рисунку 4.

Як свідчать результати дослідження, глибина колії після перших 5–10 проїздів становить близько 70 % глибини колії, визначеної після 20-ти проїздів, що відповідає практично найбільшому ущільненню ґрунтових частинок. Надалі (після 20-ти проїздів) зростання глибини пошкодження ґрунтової поверхні відбувається головно за рахунок ерозійних процесів.



а



б

Рисунок 4 – Полігонні дослідження взаємодії трельовальних тракторів ТТ-4 (а), HSM-805 (б) з опорною поверхнею

На підставі аналізу вислідів досліджень впливу різних типів трельовальних машин на лісове середовище українських Карпат встановлено, що наслідками впливу лісових машин на довкілля є: геологічно-механічні, ґрунтово-гідрологічні, аеродинамічні та біоморфологічні порушення лісового середовища. Найнебезпечніші із них – геологічно механічні пошкодження опорної поверхні, які характеризуються глибиною колії та площею пошкодженої поверхні. Інтенсивність колієутворення істотно залежить від тримної здатності ґрунту, яка значною мірою обумовлена геоморфологічною структурою Карпат. Наявність настилу з гілок на 10-20 % зменшує глибину колії. Максимальна глибина колії внаслідок 5-10 проїздів колісного HSM-805 і гусеничного ТТ-4 тракторів у русі на прямій дослідній ділянці не перевищувала екологічно безпечної межі.

**Висновки.** В роботі представлено комплекс розрахункових, прогностичних та експериментальних методів оцінки впливу лісозаготівельних транспортних засобів на довкілля, зокрема на ґрунтову поверхню руху. Впровадження нової техніки на екологічно вразливих територіях, якими є лісові масиви, потребує всестороннього аналізу допустимих умов їх експлуатації, що власне і пропонується в даній роботі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Библюк Н. І. Лісотransпортні засоби: теорія: підручник / Н. І. Библюк. – Львів : Видавничий дім «Панорама», 2004. – 453 с.
2. Мачуга О. С. Особливості розрахунку націпного обладнання технологічного транспорту, експлуатованого на територіях з ухилом / О. С. Мачуга // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT - 2014): Збірка матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. (ХДМЛ, Херсон, Україна, 27 – 29 травня 2014). – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 270 – 272.
3. Owende P. M. O. Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites / P. M. O. Owende, J. Lyons, R. Haarlaa, A. Peltola, R. Spinells, J. Molano, S. M. Ward // Project ECOWOOD. Contract No. QLK5 -1999-00991, 2002. – 74 p.
4. Стиранівський О. А. Моделювання транспортного освоєння гірського лісового масиву з врахуванням потенційних екологічних ризиків / О. А. Стиранівський // Праці ЛАНУ. – 2004. – Вип. 3. - С. 133 - 138.
5. Styranivskyj O. Comparative study of wheeled and tracked skidders impact on forest ecosystem / O. Styranivskyj, M. Borys, M. Herys, Y. Gromyak. // Logging and wood processing in Central Europe: Proceedings of the International Conference. (Kostelec nad Černými lesy, 20<sup>th</sup>-2<sup>st</sup> June, 2007). - Prague, 2007. – P. 105 - 109.



## УЛУЧШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ВДОЛЬ БОКОВЫХ СТЕНОК И ИХ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

*Богдан Ю.А.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина);*

*Горбеев В.Г., Троханяк В.И., Антипов Е.А.*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
(г. Киев, Украина)*

**Введение.** В условиях энерго- и ресурсосбережения, совершенствование судовых энергетических установок в значительной мере зависит от массогабаритных и энергетических характеристик судовых теплообменных аппаратов (ТА). Проблема снижения массогабаритных характеристик судовых ТА решается путем интенсификации теплообмена и совершенствования компоновки аппарата, а проблема повышения энергетической эффективности снижением гидравлического сопротивления (мощности на прокачку) и тепловых потерь в окружающее пространство машинного отделения при этом должна обеспечиваться высокая надежность и технологичность их конструкции. Снижение тепловых потерь ТА способствует уменьшению его массы и габаритов, так как ранее теряемая теплота полезно используется и, следовательно, для обеспечения заданной мощности теплообмена необходима меньшая площадь теплообменной поверхности.

**Актуальность исследований.** В современном судостроении к безопасности, надежности и энергетической эффективности теплообменного оборудования предъявляются высокие требования. В значительной мере эти параметры зависят от применяемых теплоизоляционных материалов. Тепловая изоляция судовых ТА призвана для выполнения функций пожарной безопасности, снижения потерь тепла в окружающее пространство, поддержания требуемых технологических температур и обеспечения охраны труда машинной команды. Именно поэтому судовая изоляция тщательно проверяется на соответствие стандартам, правилам и резолюциям ИМО (International Maritime Organisation) и MED (Marine Equipment Directive), она также должна удовлетворять требованиям Конвенции SOLAS 74/78 и Классификационных обществ.

Нормальная и безопасная эксплуатация теплообменного оборудования, особенно высокотемпературного, в неизолированном виде невозможна. Согласно Правил Регистра поверхности нагревающиеся свыше 220 °С должны быть изолированы, также в местах возможного контакта (в нормальных эксплуатационных условиях) членов машинной команды с изолированным объектом температура поверхности изоляции не должна превышать 60 °С, а на рабочих местах – 45 °С. Изоляция должна прочно держаться на поверхности в условиях вибрации, воздействии агрессивных сред и возможных механических повреждений.

В настоящее время происходят существенные изменения в области производства и применения теплоизоляционных материалов энергетического оборудования, широкое применение получили микро- и нанотехнологии с их помощью создаются и внедряются новые теплоизоляционные материалы [1]. Следовательно, исследования направленные на уменьшение тепловых потерь ТА с целью повышения их энергетической эффективности весьма актуальны и заслуживают внимания.

**Постановка задачи.** Провести аналитическое исследование результатов эксперимента и компьютерного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена, которые протекают в каналах разработанного ТА новой конструкции [2]. Определить потери тепла в окружающее пространство. На основе проведенных исследований

предложить пути повышения энергоефективности и улучшения массогабаритных показателей разработанного ТА.

**Результаты исследований.** В результате численного моделирования и экспериментального исследования процессов гидродинамики и теплообмена в теплообменных аппаратах новой конструкции [3] выявлена байпасная протечка отработанных газов (ОГ) в ТА между трубными пучками и корпусом ТА.

Как видно из рисунков 1, 2 градиент температуры указывает на наличие байпасной протечки между трубным пучком и корпусом аппарата и подтверждает наличие данного явления, полученного путем компьютерного моделирования рисунок 3. Байпасная протечка ОГ в ТА сказывается на коэффициенте теплоотдачи по газовой стороне. Следовательно, снижение байпасной протечки поспособствует повышению эффективности теплоотдачи.

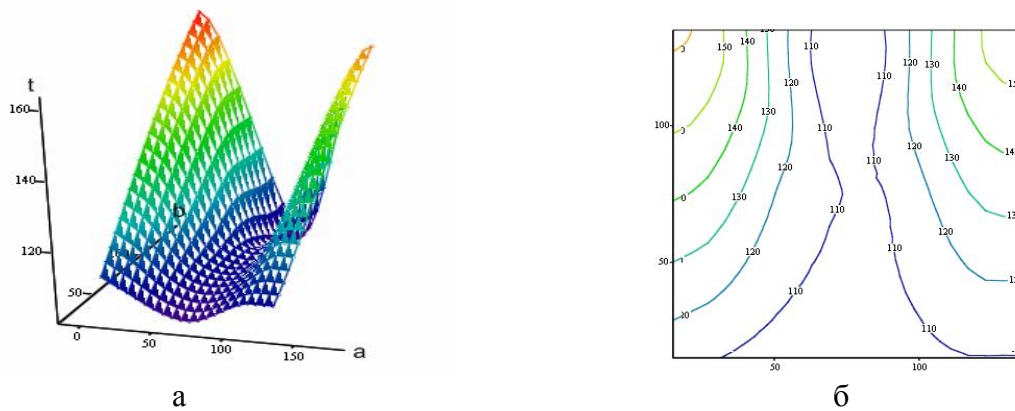


Рисунок 1 – Градиент температуры по поверхности теплообмена на входе в ТА:  
а – график поверхности градиента; б – линии уровня градиента

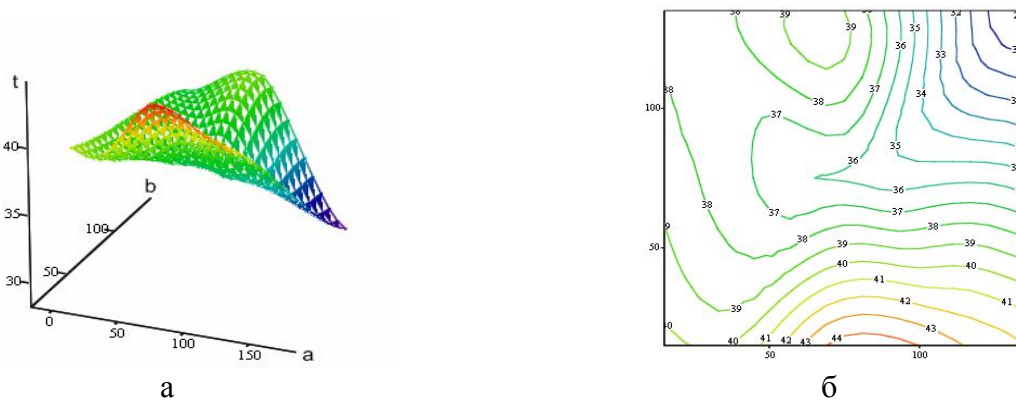


Рисунок 2 – Градиент температуры по поверхности теплообмена на выходе из ТА:  
а – график поверхности градиента; б – линии уровня градиента

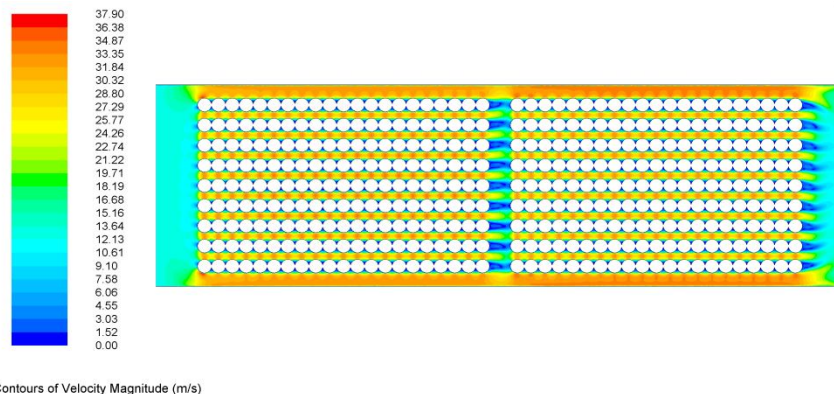


Рисунок 3 – Скорость отработанных газов в каналах пучков труб ТА, м/с

Тепловые потери  $Q$ , Вт в окружающее пространство машинного отделения с боковых поверхностей ТА рассчитывались по формуле

$$Q = kF\Delta t, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $F$  – площадь боковых стенок ТА, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – разность температур внешнего и внутреннего теплоносителя вблизи поверхности стенок ТА, °С.

Коэффициент теплопередачи рассчитывался по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи со стороны ОГ, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи со стороны пространства машинного отделения, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $\delta/\lambda$  – тепловое или термическое сопротивление стенки, м<sup>2</sup>·град/Вт;  $\delta$  – толщина стенки, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/м·град.

$$\alpha_1 = \frac{\bar{Nu}_1 \cdot \lambda_1}{l}, \quad (3)$$

где  $\bar{Nu}_1$  – критерий Нуссельта для первого теплоносителя (отработанных газов);  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности ОГ, Вт/м·град;  $l$  – длина поверхности теплообмена (характерный размер), м.

$$\alpha_2 = \frac{\bar{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{l}, \quad (4)$$

где  $\bar{Nu}_2$  – критерий Нуссельта для второго теплоносителя (воздуха);  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·град;  $l$  – длина поверхности теплообмена (характерный размер), м.

Критерии Нуссельта для отработанных газов (турбулентный режим, плоская стенка) и для воздуха машинного отделения (свободная конвекция, плоская вертикальная стенка) рассчитывались по формулам [4]

$$\bar{Nu}_1 = 0.037 \cdot Re_1^{0.8} Pr_1^{0.43} (Pr_1/Pr_{cr})^{0.25} \quad (5)$$

$$\bar{Nu}_2 = 0.63 \cdot Ra^{0.25} \quad (6)$$

где  $Re_1 = w_1 l / \nu_1$  – критерий Рейнольдса для первого теплоносителя ОГ, Вт/м<sup>2</sup>·град;  $w_1$  – скорость движения ОГ, м/с;  $l$  – длина поверхности теплообмена (характерный размер), м;  $\nu_1$  – кинематическая вязкость ОГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $Pr_1 = \mu_1 c_{p1} / \lambda_1$  – критерий Прандтля (ОГ);  $\mu_1$  – динамическая вязкость ОГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $c_{p1}$  – удельная изобарная теплоемкость ОГ, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности ОГ, Вт/м·град;  $Pr_{cr}$  – критерий Прандтля на стенке теплообмена;  $Ra = Gr \cdot Pr$  – критерий Рэлея;  $Gr = l^3 \rho^2 g \Delta t \beta / \mu^2$  – критерий Грасгофа;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорения свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – разность температур стенки теплообмена и воздуха в машинном отделении, °С;  $\beta$  – коэффициент теплового расширения воздуха, 1/°С;  $\mu$  – динамическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $Pr_2 = \mu_2 c_{p2} / \lambda_2$  – критерий Прандтля (воздух);  $\mu_2$  – динамическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $c_{p2}$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха, м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>;  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·град;  $l$  – длина поверхности теплообмена (характерный размер), м.

В результате произведенных расчетов тепловые потери в окружающее пространство машинного отделения с боковых поверхностей ТА составляет 1,5-3,5 % и

зависят от величины расхода и скорости движения первого теплоносителя отработанных газов.

**Выводы.** 1. Проведено аналитическое исследование результатов эксперимента и моделирования процессов гидродинамики и теплообмена в каналах кожухотрубного теплообменного аппарата новой конструкции. Выявлена байпасная протечка отработанных газов в ТА между трубными пучками и корпусом ТА.

2. Рассчитаны тепловые потери в окружающее пространство машинного отделения величина которых составляет 1,5-3,5 %.

3. Определены следующие пути повышения эффективности и снижения массогабаритных показателей разработанного ТА: уменьшения потерь теплоты из-за байпасной протечки ОГ за счет сужения канала между пучками трубок и боковыми стенками, как минимум к величине межтрубного канала в пучках или вовсе прекращения течения газов по этим каналам (весь поток направлен в пучки трубок); обеспечения минимальных потерь в окружающее пространство машинного отделения за счет применения усовершенствованной тепловой изоляции, возможен вариант нанесения тепловой изоляция прямо на внешнюю поверхность крайнего ряда пучков трубок, что приведет к уменьшению габаритов (на 10 %) и соответственно массы разработанного ТА (при этом постаает вопрос технологичности такой конструкции).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Долинский А. А. Теплофизические свойства низкотеплопроводных полимерных нанокompозитов для элементов энергетического оборудования / Долинский А.А., Фиалко Н.М., Динжос Р.В., Навродская Р.А. // Промышленная теплотехника. – 2015. – т. 37, №6. – С. 21-31

2. Пат. 104559 Україна, МПК F 28 D 7/00. Теплообмінний апарат / Горобець В.Г., Богдан Ю.О.; винахідники і власники Горобець В. Г., Богдан Ю. О. - № а 201303816; дата подання заявки 27.03.2013; дата публ. 10.02.2014, Бюл. № 3.

3. Горобець В.Г. Численное моделирование и экспериментальное исследование процессов гидродинамики и теплообмена в теплообменных аппаратах новой конструкции / Горобець В.Г., Богдан Ю.А., Троханяк В.И.// Промышленная теплотехника. – 2016. – т. 38, №5. – С. 5-15

4. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІЕФІРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ ДЕТАЛЕЙ ТА МЕХАНІЗМІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

*Брайло М.В., Якущенко С.В.*

*Херсонська державна морська академія (Україна);*

*Вухерер Т.*

*Маріборгський університет*

*(м. Маріборг, Словенія)*

**Вступ.** Полімерні композиційні матеріали (КМ), у тому числі на основі поліефірних смол, широко використовують як у вітчизняній, так і світовій промисловості, зокрема у транспорті. У роботах вчених П.Д. Стухляка, М.М. Братичака, Чунг До Диня, Є.В. Лебедева досліджено КМ на основі епоксидіанової смоли ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Водночас існує значна кількість смол різної природи, які відрізняються поліпшеною взаємодією з основою. Одними із таких зв'язувачів є смоли на основі поліефірів. Для створення матеріалу із поліпшеними у комплексі фізико-механічними і адгезійними властивостями практично значущим і цікавим є поєднання даних смол у одній полімерній матриці. В подальшому дані дослідження дозволять створити епоксидно-поліефірний компаунд з поліпшеними у комплексі експлуатаційними характеристиками.

**Мета роботи** – дослідити фізико-механічні властивості поліефірної матриці для подальшого застосування при ремонті деталей та механізмів морського транспорту

**Результати досліджень та їх обговорення.** На першому етапі було досліджено модуль пружності, руйнівні напруження при згинанні та ударну в'язкість матеріалів на основі поліефірної смоли ENYDYNE H 68372 TAE. Проаналізовано, що максимальні показники модуля пружності, руйнівних напружень та ударної в'язкості встановлено для матриці, зшитої твердником за вмісту  $q = 1,5$  мас.ч. Встановлено тенденцію поступового збільшення показників фізико-механічних властивостей матриці при введенні ініціатора у поліефірний зв'язувач. При цьому показники руйнівних напружень при згинанні підвищуються від  $\sigma_{z2} = 25,4$  МПа до  $\sigma_{z2} = 29,4$  МПа, модуль пружності при згинанні – від  $E = 3,1$  ГПа до  $E = 3,8$  ГПа, ударна в'язкість – від  $\alpha = 1,9$  кДж/м<sup>2</sup> до  $\alpha = 4,4$  кДж/м<sup>2</sup>. При подальшому збільшенні вмісту ініціатора до  $q = 2,0 \dots 5,0$  мас.ч. у поліефірній матриці спостерігали зниження показників фізико-механічних властивостей матеріалу: руйнівні напруження –  $\sigma_{z2} = 23,4 \dots 29,4$  МПа, модуль пружності –  $E = 3,3 \dots 3,8$  ГПа, ударна в'язкість –  $\alpha = 2,5 \dots 4,4$  кДж/м<sup>2</sup>. Зниження показників властивостей безпосередньо пов'язано з часом гелеутворення, який значно зменшився ( $\tau = 10 \dots 15$ хв). Час гелеутворення є важливим при формуванні матеріалів, який залежить від: 1) часу, затраченого на механічне суміщення з ініціатором; 2) часу заливання композиції у необхідну для тверднення форму до початку реакції термічної полімеризації. При збільшенні концентрації ініціатора до  $q = 5,0$  мас.ч. спостерігали інтенсивне виділення тепла, яке призвело до неконтрольованого різкого підвищення температури. Даний ефект призводить до миттєвого гелеутворення у матеріалі та скачкоподібного підвищення температури. Тому фізико-механічні властивості досліджуваного матеріалу значно погіршилися.

**Висновки.** Встановлено, що максимальні показники фізико-механічних властивостей серед досліджуваних матеріалів отримали при формуванні матриці на основі поліефіру ENYDYNE H 68372 TAE (100 мас.ч.), зшитої твердником Butanox-M50 ( $q = 1,5$  мас.ч.). Розроблена матриця відзначається наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні –  $\sigma_{z2} = 29,4$  МПа, модуль пружності при згинанні –  $E = 3,8$  ГПа, ударна в'язкість –  $\alpha = 4,4$  кДж/м<sup>2</sup>. Експериментально встановлено недоцільність збільшення концентрації ініціатора понад  $q = 2,0$  мас.ч., позаяк у цьому випадку спостерігали неконтрольований саморозігрівання композиції, що призводить до пришвидшення процесу полімеризації та формування матеріалу зі значними залишковими напруженнями.

## СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ ДОПОМІЖНОГО СУДНОВОГО КОТЛА

Бугрім Л.І., Білюк І.С., Фоменко А.М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала С.Й.Макарова  
(Україна)

**Вступ.** Надійна експлуатація суднових енергетичних установок можлива на базі комплексної автоматизації і належної кваліфікації обслуговуючого персоналу. Ефективність впровадження засобів автоматизації в значній мірі залежить від якості налагодження автоматичних регуляторів.

Одним з способів підвищення якості роботи систем керування судновими котлами є використання комбінованої системи автоматичного регулювання (САР) рівня води в барабані котла з додатковим імпульсом по витраті пари.

Метою дослідження є визначення параметрів налагодження регулятора рівня та передаточної функції вимірювача витрати пари, які дозволять отримати систему інваріантну відносно збурювальної дії [1].

**Матеріал і результати досліджень.** На кожному судні незалежно від типу головного двигуна завжди необхідна установка, що виробляє пару або гарячу воду для опалювання приміщень, підігрівання палива та інш. На пароплавах для цього використовують пару від головних котлів, на теплоходах установлюють парові або водогрійні допоміжні котли.

Парові котли обладнують двоімпульсними регуляторами рівня в яких вводиться, крім основного імпульсу по відхиленню рівня  $H$ , імпульс по відхиленню витрати пари  $G$ . Такий регулятор поєднує принципи регулювання по відхиленню та по навантаженню.

В роботі [2] наведена принципова схема САР рівня у допоміжному судновому котлі. Розглянемо можливість інваріантності цієї системи відносно збурювальної дії. Структурну схему інваріантної САР представлено на рис. 1.

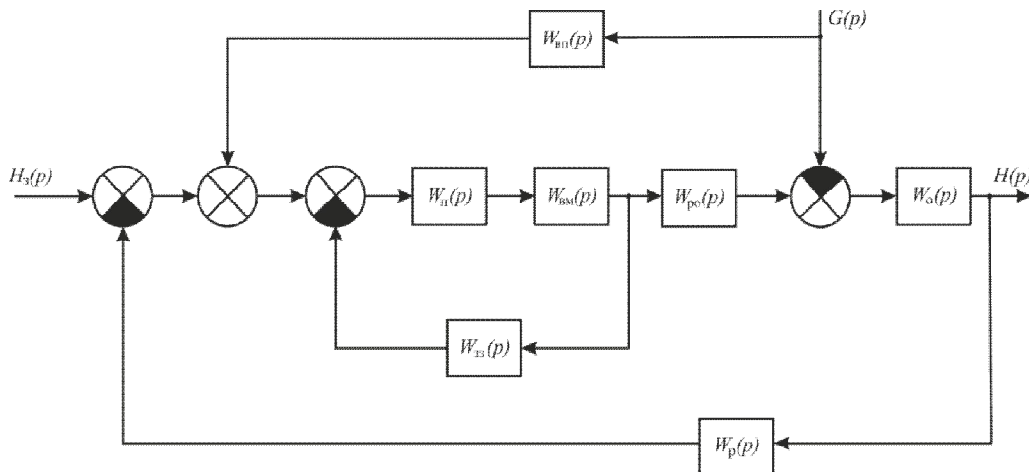


Рисунок 1 – Структурна схема САР рівня води у допоміжному судновому котлі

На рисунку 1 приведені передаточні функції:  $W_n(p)$  – підсилювача;  $W_{вм}(p)$  – виконавчого механізму;  $W_{зз}(p)$  – елементу зворотного зв'язку;  $W_{ро}(p)$  – регулюючого органу;  $W_{вп}(p)$  та  $W_p(p)$  – пристроїв вимірювання витрати пари і рівня в барабані котла, відповідно;  $W_o(p)$  – об'єкта регулювання та  $H_3(p)$  – задане значення рівня (задавальна дія);  $G(p)$  – витрата пари (збурювальна дія);  $H(p)$  – рівень води в барабані котла (регульована величина).

У роботі були отримані передаточна функція автоматичного регулятора та передаточна функцію замкнутої САР по каналу збурювальної дії.

Відповідно до умов інваріантності відносно збурювальної дії [1], було визначено передаточну функцію коригувального пристрою, що входить до складу пристрою вимірювання витрати пари. Обрано параметри налагодження коригувального пристрою.

Для дослідження синтезованої САР була створена імітаційна модель та отримано перехідні процеси за рівнем води, які довели, що обрані параметри налагодження регулятора забезпечують високу якість процесу регулювання.

**Висновки.** Отримані в роботі результати можна використовувати для практичних розрахунків систем регулювання судових та стаціонарних теплоенергетичних об'єктів та систем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Власов К.П. Теория автоматического управления: основные положения, примеры расчета [учебное пособие для вузов по направлению 220200 «Автоматизация и управление»] / Власов К.П. - [Изд. 2-е, испр. и доп.] - Харьков: Гуманитарный центр, 2013. – 539 с.
2. Толшин В.И. Автоматизация судовых энергетических установок [Учебник для вузов] / Толшин В.И., Сизых В.А. - [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: РКонсульт, 2003. –304 с.

## РОЗРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

*Букетов А.В., Браїло М.В., Сапронов О.О.,  
Кобельник О.С., Якущенко С.В., Амелін М.Ю.  
Херсонська державна морська академія  
(Україна)*

**Вступ.** Епоксидні композитні матеріали (КМ) використовують у вигляді захисних покриттів в багатьох галузях промисловості, особливо у транспортній. Широко і ефективно використовують КМ на основі епоксидіанової смоли ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78). Слід зазначити про застосування поліефірних смол у вигляді захисних покриттів або несучих конструкцій у промисловості, у тому числі і у суднобудуванні. У працях П.Д. Стухляка, О. І. Яцишина, До Динь Чунга зазначається про використання матеріалів на основі епоксидних і поліефірних смол для захисту деталей та механізмів від корозії. Актуальним є поєднання даних компонентів у одному зв'язувачі та створення на їх основі КМ з поліпшеними властивостями для підвищення надійності експлуатації деталей судових енергетичних установок.

**Мета роботи** – розробити полімерну матрицю для підвищення надійності експлуатації засобів транспорту.

**Результати досліджень та їх обговорення.** На початковому етапі було досліджено адгезійну міцність матеріалів з додаванням до епоксидного олігомери різного вмісту поліефірної смоли у діапазоні  $q = 0 \dots 200$  мас.ч. з кроком  $q = 10$  мас.ч. Встановлено, що при збільшенні вмісту поліефірної смоли у епоксидному компаунді, полімеризованому твердниками Butanox-M50 та ПЕПА, підвищуються показники адгезійної міцності матеріалів. Зокрема проаналізовано, що максимальні показники мають матеріали із вмістом поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL у кількості  $q = 100$  мас.ч. і епоксидного олігомеру ЕД-20 у кількості  $q = 100$  мас.ч. При цьому адгезійна міцність при відриві зростає з  $\sigma_a = 18,2$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\sigma_a = 66,5$  МПа, адгезійна міцність при зсуві підвищується з  $\tau = 4,8$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\tau = 12,5$  МПа. Очевидно, що при суміщенні компаунду за даних концентрацій інгредієнтів інтенсивно відбуваються процеси полімеризації з утворенням розгалужених незалежних двох- і тривимірних полімерних сіток. Тобто, вважали, що формуються міжмолекулярні хімічні зв'язки як епоксидної компоненти, зшиті твердником ПЕПА, так і поліефірної смоли, полімеризованої твердником Butanox-M50. Додатково передбачали виникнення незначної кількості хімічних зв'язків між двома сітками, що забезпечує підвищення показників адгезійної міцності розроблених композитів. Водночас, слід відмітити, що при збільшенні вмісту поліефірної смоли у епоксидному олігомері, а, відповідно, і твердника Butanox-M50, призводить до зниження показників адгезійних властивостей та підвищення залишкових напружень у матеріалах. Додатково досліджували залишкові напруження матеріалів на основі епоксидної та поліефірної смол. Встановлено, що при збільшенні вмісту поліефірної смоли до  $q = 100$  мас.ч. показники залишкових напружень зменшуються від  $\sigma_3 = 2,3$  МПа (для епоксидної матриці) до  $\sigma_3 = 1,5$  МПа. Однак, збільшення концентрації смоли Norsodyne O 12335 AL до  $q = 200$  мас.ч. призводить до підвищення напружень у матеріалах до  $\sigma_3 = 2,3$  МПа.

**Висновки.** Встановлено, що для формування покриттів з поліпшеними адгезійними властивостями необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ( $q = 100$  мас.ч.), поліефірна смола марки Norsodyne O 12335 AL ( $q = 100$  мас.ч.), твердник Butanox-M50 ( $q = 1$  мас.ч.) твердник ПЕПА ( $q = 10$  мас.ч). Температура зшивання композиції становить  $T = 393$  К. Розроблений матеріал відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві –  $\sigma_a = 66,5$  МПа, адгезійна міцність при зсуві –  $\tau = 12,5$  МПа, залишкові напруження –  $\sigma_3 = 1,5$  МПа.



## УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 1,1,1,2-ТЕТРАФТОРЭТАНА (R134a)

*Вассерман А.А., Мальчевский В.П.*  
*Одесский национальный морской университет*  
(Украина)

**Введение.** В современных холодильных установках в соответствии с известными международными соглашениями в качестве рабочих тел используются озонобезопасные фреоны и их смеси. Тетрафторэтан R134a является одним из них. Нами получено уравнение состояния для этого хладагента, которое может быть использовано для расчёта его термодинамических свойств, а также для составления уравнений состояния смесевых хладагентов.

**Актуальность исследований.** Альтернативные хладагенты (включая R134a) являются перспективными рабочими веществами, так как не оказывают разрушающего воздействия на озоновый слой атмосферы Земли.

**Постановка задачи.** Для расчёта термодинамических свойств тетрафторэтана было составлено уравнение состояния в форме безразмерной свободной энергии Гельмгольца с использованием методики [1]:

$$\Phi = \frac{A(\omega, \tau)}{RT} = \Phi^0(\omega, \tau) + \Phi^r(\omega, \tau) \quad (1)$$

где  $\Phi$  – безразмерная свободная энергия,  $A(\omega, \tau)$  – свободная энергия Гельмгольца,  $\Phi^0$  и  $\Phi^r$  – идеально-газовая и реально-газовая части свободной энергии Гельмгольца,  $\omega = \rho/\rho_{кр}$  – приведенная плотность,  $\tau = T/T_{кр}$  – приведенная температура,  $\rho_{кр}$  и  $T_{кр}$  – критические значения плотности и температуры.

Функция  $\Phi^0$  определяется на базе данных об идеально-газовой теплоёмкости, а функция  $\Phi^r$  – по данным о термических и калорических свойствах сжатого газа.

**Результаты исследований.** После составления уравнений состояния выполнено детальное сравнение рассчитанных данных с экспериментальными и опорными данными в однофазной области и в состоянии насыщения. Также выполнено сопоставление рассчитанных по уравнениям значений термодинамических свойств с данными, определёнными с помощью известной информационной системы REFPROP.

По полученным уравнениям рассчитаны таблицы значений плотности, энтальпии и энтропии в однофазной области и в состоянии насыщения, охватывающие необходимые в технических расчётах интервалы.

**Выводы.** Хладагент R134a широко используется как рабочее вещество для большинства холодильных установок. Полученное нами уравнение состояния используется также для составления уравнений состояния смесей на базе этого хладагента.

### ЛИТЕРАТУРА

1. E.W. Lemmon and R.T. Jacobsen, Int. J. Thermophys, 20: No. 3 (1999).

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ

*Гнатюк А.В., Аргун Ш.В., Киценко О.Р.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(Україна)*

**Актуальність досліджень.** На сьогоднішній день дороги є візитівкою як країни в цілому, так і кожного населеного пункту окремо. За їх якістю можна визначити рівень економічного розвитку держави. Тому останнім часом у всьому світі заявилось дуже багато різних проектів і концептів, які кардинальним чином змінюють уявлення про дороги, їх якості та функціонал [1–3].

У сфері дорожнього будівництва намітилися тенденції до активної реалізації глобальних фінансових програм, спрямованих на перетворення і поліпшення якості доріг завдяки впровадженню нових технологій і матеріалів. Сучасну дорогу вже варто сприймати як окремих елемент будівництва, бо це яскравий невід’ємний елемент всього архітектурного ансамблю місцевості, який підкреслює красу і неповторність як інтер’єру, так і екстер’єру міста [1, 4–7].

Однією з основних вимог до сучасних доріг є те, що вони повинні повністю себе обслуговувати і бути автономними. Другою вимогою є те, що вони повинні бути альтернативними і децентралізованими джерелами енергії, як для елементів дорожньої інфраструктури, так і для інших (сторонніх) споживачів електричної енергії [6–12].

Останнім досягненням сучасності стало проектування, розробка та впровадження в практику доріг нового покоління – «Розумних доріг». Вони самостійно забезпечують своє функціонування електроживлення, вимальовують розмітку в залежності від дорожніх умов, світяться в темряві, попереджають водіїв про появу небезпечних ділянок, відстежують стан трафіку, реагують на виникаючі проблеми, заряджають електромобілі під час руху тощо, тобто, оснащені комплексом останніх досягнень науки і техніки [2, 7–9].

**Постановка задачі.** Провести розробку та розрахунок панелей дорожнього покриття для системи «Розумні дороги» з аналізом кількості згенерованої та спожитої електроенергії.

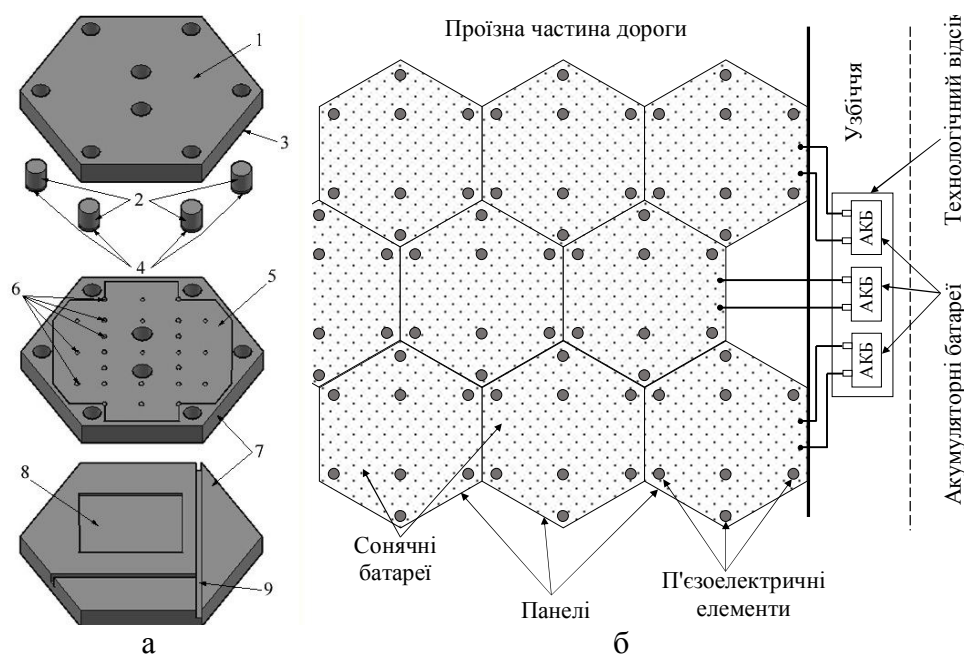
**«Розумні дороги».** У Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті на кафедрі автомобільної електроніки колективом авторів запропоновано один з варіантів конструкції панелей «Розумних доріг», (рис. 1,а – конструкція панелі, рис. 1,б – схемна реалізація дороги з даних панелей) [13–16].

Кожна панель складається з 3-х основних складових елементів. Перший – захисна верхня кришка з опорами. Цей елемент конструкції виконано з високоміцного оргскла з наклеєним з внутрішньої сторони електричним нагрівальним елементом у вигляді нагрівальних волокон. В основі опор встановлені п’єзоелектричні елементи, які в свою чергу так само здатні виробляти електрику при стисненні. Другий – блок сонячних батарей зі світлодіодами. В даному елементі світлодіоди і сонячні панелі розташовані по всій площині. Третій – основа панелі з електронними платами управління і жолобом для кабельної проводки.

Тисяча таких панелей приєднані до акумуляторної батареї (АКБ), що знаходиться в технологічному відсіку, розташованому поруч з «розумною дорогою», під узбіччям, рис. 1,б.

**Принцип роботи системи «Розумні дороги».** У світлий час доби сонячна енергія через сонячні панелі накопичується в АКБ під узбіччям дороги. Також енергія надходить від п’єзоелементів при проїзді по панелі автомобіля. У темний час доби накопичена енергія з АКБ витрачається на роботу самої панелі і на світлодіоди, які вимальовують дорожню розмітку та підсвічують (у разі необхідності) певні частини дороги. Надлишок

електричної енергії йде до інших споживачів (прилеглих до дороги споруд, будинків, підприємств, електрозаправок тощо). «Розумна дорога» здатна проводити динамічне освітлення дороги перед автомобілем. Це визначається програмним забезпеченням панелі в разі необхідності [16-19].



1 – прозора захисна кришка; 2 – опора кришки; 3 – нагрівальні волокна; 4 – п’єзоелемент; 5 – сонячна панель; 6 – світлодіоди; 7 – підкладка з склотекстоліту; 8 – відсік для плати управління; 9 – жолоб для електричних з’єднань

Рисунок 1 – Дорожні панелі «Розумні дороги»: а – конструкція; б – технічна реалізація

У опори верхньої кришки встановлені п’єзоелементи, що генерують енергію при натисканні і передають сигнал про те, що панель знаходиться під навантаженням. За величиною значення сигналу визначається маса навантаження. Тобто, при необхідності система «Розумні дороги» може відстежувати не тільки трафік на певній ділянці дороги, але й тип автомобіля, його масу і швидкість руху.

Функціонал системи «Розумні дороги» визначається наступними позиціями:

- підсвічування дороги в нічний час (динамічна світлодіодна розмітка і попереджувальні знаки);
- підігрів панелей в холодну пору року або просушування панелі (після дощу);
- сигнальна система (попередження про поломки панелі);
- визначення ваги навантаження на панель;
- визначення швидкості пересування транспортного засобу;
- зарядка електромобілів від сонячних панелей;
- генерація електроенергії;
- динамічна підсвітка дороги перед автомобілем;
- попередження про необхідність знизити швидкість у випадку, якщо датчики навантаження (п’єзоелементи) встановляють появу перешкоди на дорозі.

**Розрахунок згенерованої енергії.** На основі отриманих даних вироблення електроенергії сонячними панелями, рис. 2 (м. Харків), з урахуванням ККД панелі, що відповідає реальним умовам експлуатації, обчислимо значення вироблення енергії сонячними панелями за кожен місяць рис. 3.

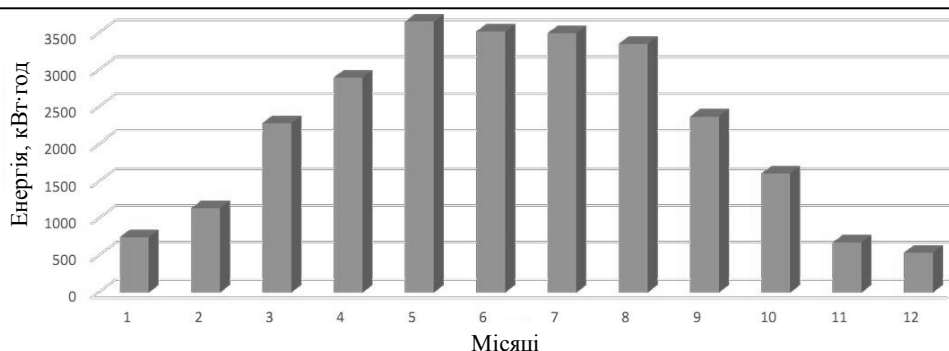


Рисунок 2 – Вироблення електроенергії сонячними панелями по місяцях для м. Харкова

В результаті виконаних розрахунків отримуємо, що ділянка дороги шириною 7,5 м, довжиною 15 м, покрита дорожніми панелями системи «Розумні дороги» за рік згенерує 17549 кВт-год електроенергії. На власні потреби (обігрів в зимові місяці і світлодіодне освітлення в темний час доби) буде витрачено 7417 кВт-год. У результаті, надлишок енергії, яка буде спрямована на потреби інших споживачів, складе 10132 кВт-год. Причому, слід зазначити, що це «чиста» або «зелена» енергія, тобто отримана без спалювання вуглеводневого палива.

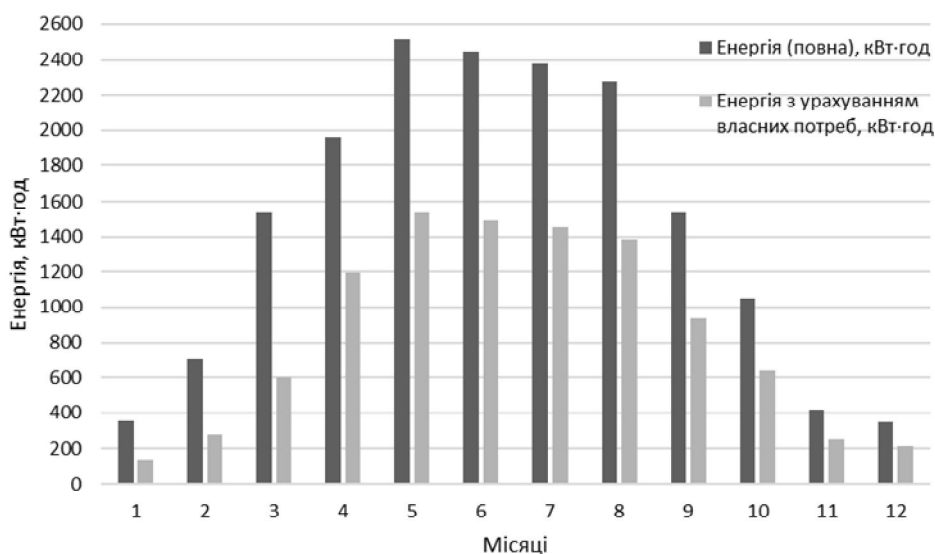


Рисунок 3 – Вироблення електроенергії сонячними елементами дорожніх панелей щомісячно

**Висновки.** У роботі проведено розрахунок панелей дорожнього покриття для системи «Розумні дороги» з аналізом кількості згенерованої та спожитої електричної енергії. Визначено, що ділянка дороги, покрита панелями системи «Розумні дороги», площею 112,5 м<sup>2</sup> (7,5x15 м) здатна згенерувати 10 кВт потужності електричної енергії за одну годину своєї роботи. У зимовий час року на власні потреби системи «Розумні дороги» (в тому числі і на обігрів для розтоплення льоду і снігу) необхідно 71,25 % згенерованої енергії. Проведені розрахунки для харківського регіону України показали, що на 1 кВт номінальної потужності дорожніми панелями системи «Розумні дороги» буде згенеровано 17549 кВт-год, при цьому зовнішнім споживачам буде надано близько 10132 кВт-год.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дороги будущего – дороги перемен // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://sibac.info/13581>.
2. Гнатов А. В. Энергосберегающие технологии на транспорте / А. В. Гнатов, Щ.В. Аргун, О.А. Ульянец // – Луцьк : Наукові нотатки, В.55. – 2016. – С. 80–86.

3. Концепт ліхтаря на сонячних батареях з функцією очищення повітря // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Predstavleno-kontsept-likhtarya-na-sonyachnykh-batareyakh-z-funktsiyeyu-ochyshchennya-povitrya/>.
4. В Великобританії испытують «дороги будущего» // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: [http://www.proenergo.net/2015/08/blog-post\\_16.html](http://www.proenergo.net/2015/08/blog-post_16.html).
5. Голландцы начинают строить «вечные» пластиковые дороги // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://bigpicture.ru/?p=696783>.
6. Угорський стартап винайшов бруківку з переробленого пластику для отримання сонячної і кінетичної енергії // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Uhorskyu-startap-vynayshov-brukivku-z-pereroblenoho-plastyku-dlya-otrymannya-sonyachnoyi-i-kinetychn/>
7. Solar Roadways // Матеріали сайту – 2012. – Режим доступу: <http://econet.ru/articles/1682-solar-roadways-kak-prevratit-dorogi-v-elektrostantsii>.
8. Уные Дороги «Solar Roadways» // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://blog.pwrg.ru/solar-roadways/>.
9. Патент США № US D 712,822 S Solar panel arrangement; опубл. 09.2014.
10. Патент РФ № 2482568, МПК (2006.01) P01L 41/113, E01F 11/00; опубл. 25.05.2013 р
11. Gnatov A. New method of car body panel external straightening. Tools of method / A. Gnatov, Sch. Argun, // International Journal of Vehicular Technology. – New York : Hindawi Publishing Corporation. – 2015. – 1 July – С. 1–7, Article ID 192958, doi:10.1155/2015/192958.
12. По дорожным солнечным панелям начали ездить первые автомобили - Франция запустила Wattway // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/1875-po-dorozhnyum-solnechnym-panelyam-nachali-ezdit-pervye-avtomobili-frantsiya-zapustila-wattway.html>.
13. Пат. 110807 України, E01C5/00, E01C11/24, E01H5/00, H02K7/00. Багатофункціональні панелі дорожнього покриття / Гнатів А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Киценко О.Р.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатів А.В., Аргун Щ.В. – № у 2016 03332; заявл. 31.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20.
14. Пат. 110808 України, E01C5/00, E01C17/00. Автоматична дорожня розмітка для керування рухом транспортних засобів / Гнатів А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Киценко О.Р.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатів А.В., Аргун Щ.В. – № у 2016 03334; заявл. 31.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20.
15. Пат. 110810 України, E01C5/00, E01C17/00, H01L31/00. Спосіб перетворення сонячної та кінетичної енергії в електричну за допомогою дорожнього покриття / Гнатів А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Киценко О.Р.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатів А.В., Аргун Щ.В. – № у 2016 03337; заявл. 31.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20.
16. Аргун Щ.В. Екологічний та енергоефективний автомобільний транспорті його інфраструктура / Щ. В. Аргун, А. В. Гнатів, О.А. Ульянець // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2016. – № (77) 2. – С. 18–27.
17. Электрообогрев всего лобового стекла автомобиля // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://www.infotransport.ru/articles.php?id=63>.
18. Сверхпрочное стекло для потребительской электроники. // Матеріали сайту – 2011. – Режим доступу: <http://www.glassnews.info/?tag=dragontrail>.
19. Пьезоэлектрический эффект // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Пьезоэлектрический\\_эффект](https://ru.wikipedia.org/wiki/Пьезоэлектрический_эффект).

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОТЛІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ

**Горячкін А.В.**

*Київська державна академія водного транспорту  
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного  
(Україна);*

**Колбасенко О.В.**

*Херсонська філія Національного університету кораблебудування  
імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)*

**Вступ.** Встановлені Додатком VI Міжнародної конвенції МАРПОЛ і вимоги Євросоюзу по відношенню викидів з суден обумовлюють екологічні і економічні проблеми як пріоритетні.

Згідно нових положень ІМО стають більш жорсткими не тільки вимоги з викидів CO<sub>2</sub> введенням з 2013 р. індекса EEDI, але і має місце планомірне підвищення вимог до вмісту оксидів сірки і азоту, а також твердих часток у викидах в атмосферу.

**Актуальність досліджень.** Проведені дослідження показують, що спалювання ВПЕ з  $W^r$  до 30 % надає можливість одночасно вирішувати завдання захисту навколишнього середовища (зменшується токсичність відпрацьованих газів) [1], підвищення надійності роботи котлів (знижуються корозійні властивості димових газів) [2], забезпечення максимально можливого енергозбереження при спалюванні важких залишкових палив (надається можливість збільшення ККД використання енергії відхідних з котла газів). Зі збільшенням вмісту води в ВПЕ до 30% знижуються наведені витрати в зв'язку зі зменшенням збитку від забруднення атмосфери, зниження обсягу стічних нафтовмісних вод. Ці витрати можуть бути частково або повністю компенсовані зниженням температури відхідних газів  $\vartheta_{\text{від}}$  підвищенням ККД котла, спроектованого для спалювання спеціально підготовленої кавітаційної ВПЕ, що можливо через істотне зниження допустимої швидкості корозії при температурах металу вище 70...80°C [2], що й було метою проведених розрахункових досліджень.

**Результати досліджень.** Дослідження швидкості НТК при спалюванні ВПЕ показують, що в області  $t_{\text{ст}} = 130...70^\circ\text{C}$  швидкість корозії менше, ніж при спалюванні необводнених палив. Зі збільшенням  $W^r$  до 30% швидкість корозії в області «кислотного піку» знижується в 3...5 разів [2], що дозволяє знизити  $\vartheta_{\text{від}}$  і компенсувати зниження ККД котлів при спалюванні ВПЕ з великим вмістом води. Зі зменшенням  $\alpha$  швидкість корозії знижується при спалюванні як обводнених, так і необводнених палив. Тому для збереження або підвищення ККД необхідно знижувати  $\alpha$ . Для оцінки впливу цих факторів були проведені розрахункові дослідження техніко-економічних показників для різних варіантів теплових схем котлів.

Зниження  $\vartheta_{\text{від}}$  до 90...110°C надає можливість підвищити ККД допоміжних котлів, а також глибину утилізації вихлопних газів ДВЗ. Проведені спеціальні розрахунки показали, що при забезпеченні граничної утилізації теплоти газів (при використанні прямої схеми в контурах високого і низького тисків, економайзера для контурів при температурних натисках в контурах  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  до 10°C). При зниженні  $\vartheta_{\text{від}}$  до 90°C паропродуктивність УК 3-х тисків може бути істотно підвищена: вона стає майже в 2 рази вище в порівнянні з котлом 1-го тиску при тих же умовах ( $\Delta t = 10^\circ\text{C}$  і кратність циркуляції  $K_{\text{ц}} = 1$ ). У цьому випадку при спалюванні ВПЕ надається можливість у ходових режимах, наприклад, танкерів забезпечити більш істотну економію паливних ресурсів. У разі використання ВПЕ в топках ДК і нафтозалишків як ВТЕР, установки УК 3-х тисків, з урахуванням додаткової економії палива при русі судна в баласті зникає необхідність у запасі палива для ДК.

При переході на спалювання ВПЕ крім установки спеціально проєктованих ДК і УК надається можливість на діючих дизельних установках забезпечити більшу глибину утилізації шляхом установки додаткових поверхонь нагріву економайзера або підігрівача води для систем гарячого водопостачання.

Зниження  $\Delta t_{ст}$  до 70...80°C надає також можливість використання теплоти конденсації парів сірчаної кислоти.

Згідно з літературних даних при спалюванні ВПЕ відбувається збільшення теплових витрат на випаровування води ВПЕ  $q_{вип}$ , перегрів пари цієї води  $q_{п}$  до температури газів і на збільшення витрати  $\Delta q_2$  з відхідними газами у порівнянні з режимом спалювання сертифікатного палива на величину  $\Delta q = q_{вип} + q_{п} + \Delta q_2$ .

Проведені експериментальні дослідження горіння ВПЕ показують, що за рахунок спеціальної кавітаційної підготовки ВПЕ можливо зкомпенсувати ці витрати при водомісткості до 30 %. Зі збільшенням водомісткості вище 30% витрати  $\Delta q_{вип}$  і  $q_{п}$  не можуть бути зкомпенсовані, що призводить до зниження корисного теплового потоку. У той же час із збільшенням вмісту води в емульсії вище 5...10% втрати теплоти  $q_3$  і  $q_4$  різко знижуються.

В результаті проведеного аналітичного дослідження отримані залежності для визначення оптимальних значень надлишку повітря  $\alpha$  і температури відхідних газів  $\vartheta_{від}$  за умови забезпечення суми зміни всіх теплових втрат  $\Delta q = 0$ .

Поліпшення теплохімічних показників процесів в газоходах котла, зниження швидкості корозії при спалюванні ВПЕ надають можливість зберегти постійним і навіть збільшити ККД котлів за рахунок одночасного або роздільного зменшення надлишку повітря  $\alpha$  і температури відхідних газів  $\vartheta_{від}$ , що підтверджується результатами розрахунків теплових втрат  $q_2, q_3, q_4, q_{вип}, q_{п}$  залежно від  $W^f$  емульсії.

Спалювання водопаливної емульсії рекомендується проводити в спеціально проєктованих під це паливо котлах з урахуванням зниження швидкості низькотемпературної сірчаноокислотної корозії (НТК), зменшення забруднення поверхонь нагріву, інтенсифікації радіаційного і конвективного теплообміну.

Підвищення ККД котла при спалюванні ВПЕ можливо через істотне зниження допустимої швидкості корозії при температурах металу вище 70...80°C.

У зв'язку з можливістю при спалюванні ВПЕ підводити до економайзера котла живильну воду з температурою 70...80°C (завдяки зниженню інтенсивності НТК) рекомендується використання в утилізаційному контурі схем котлів, які передбачають підведення води з теплового ящика прямо на вхід економайзера УК. Це дає можливість знизити температуру вихлопних газів на виході з УК з 160°C до 90...110°C, забезпечивши збільшення глибини утилізації з 35 до 60...65% залежно від сумарного  $\alpha$  в ДВЗ.

**Висновок.** Проведені дослідження показують, що спалювання ВПЕ з  $W^f$  до 30 % забезпечує можливість одночасно вирішувати завдання захисту навколишнього середовища (зменшується токсичність відпрацьованих газів), підвищення надійності роботи котлів (знижуються корозійні властивості димових газів), енергозбереження при спалюванні важких залишкових палив (надається можливість збільшення ККД котлів)

При досягнутому при експлуатації котла  $\alpha$  і  $\vartheta_{від}$  і наявній кількості води в паливі необхідна реконструкція паливної системи з метою збільшення вмісту води в емульсії до  $W^f = 30\%$  і забезпечення її кавітаційної обробки до рівня кавітації 0,2.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Горячкин А.В. Влияние содержания влаги в зоне горения на эмиссию оксидов азота и серы // Наук. Праці: Науково-методичний журнал. Т.31. Вип.18. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім.П.Могили, 2004. – С.27-38.
2. Горячкин В.Ю. Спосіб захисту металу низькотемпературних поверхонь нагріву котла від сірчаноокислотної корозії [Текст] / Горячкин В.Ю., Горячкин А.В., Акімов О.В., Іутінський В.О., Корнієнко В.С. – Патент на винахід. – 2012.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОПАЛЮВАННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ ПЕРЕД УТИЛІЗАЦІЙНИМИ КОТЛАМИ

*Горячкін В.Ю., Андреев А.А., Корнієнко В.С.*

*Херсонська філія Національного університету кораблебудування  
імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)*

**Вступ.** Системи утилізації вторинних енергоресурсів дають можливість додатково підвищити економічність суднових енергетичних установок (СКУ). Отримання додаткової енергії за рахунок утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів дозволяє економити паливо, що витрачається на СЕУ, що автоматично веде до зменшення питомих викидів шкідливих речовин в атмосферу, сприяє задоволенню більш жорстких норм ІМО, регламентуючих межі цих викидів.

У зв'язку з істотним зниженням температури вихлопних газів сучасних ДВЗ і неможливістю знизити температуру газів на виході з утилізаційного котла (УК) (через різке збільшення швидкості низькотемпературної сірчаноокислотної корозії до 1,0 мм/рік при температурі стінки нижче 130 °С при спалюванні сірчистих палив) має місце зниження паропроодуктивності УК і відповідно потужності утилізаційного турбогенератора (УТГ). Тому стоїть завдання найбільш повно використовувати надлишкову теплоту відпрацьованих газів, охолоджуючої води і наддувного повітря і шукати шляхи збільшення паропроодуктивності УК. При цьому важливо зробити оцінку різних способів збільшення паропроодуктивності УК, яка дозволить забезпечити споживачів теплотою (парою) навіть в холодній зоні плавання і повне навантаження УТГ, що дорівнює повному навантаженню суднової електростанції (СЕС) у ходовому режимі в цьому випадку витрата палива на СЕУ буде мінімальною.

**Актуальність досліджень.** При використанні сучасних високоефективних ДВЗ, незважаючи на зниження величини теплових втрат, системам утилізації теплоти (СУТ) приділяється все більша увага. Якщо на конгресі СІМАС 2004 була всього одна доповідь фірми Wartsila (Швейцарія), що була присвячена розробці СУТ, то на конгресі СІМАС 2007 було представлено вже 10 доповідей [1]. Для ДВЗ з потужністю більше 15000 кВт застосовується типова турбокомпаундна система з силовою і паровою турбінами при повному забезпеченні теплового електричного навантаження в ходовому режимі за рахунок СУТ. При потужностях ГД нижче 10000 кВт в тій же доповіді СІМАС рекомендується застосування турбокомпаундних систем з гібридними турбокомпресорами (ГТК). В цьому випадку СУТ не забезпечує теплове і електричне навантаження в ходовому режимі. Збільшення потужності СЕС при потужності головного двигуна менше 13000 кВт можливо не лише за рахунок зниження температури вихлопних газів за УК, але і при допалюванні палива перед котлом. У доповіді СІМАС 2007 [1] представлений опис когенераційної установки потужністю 6 МВт з газовими двигунами, що виробляють одночасно теплоту і електроенергію, що оснащена турбокомпаундною системою, в яку включена камера згорання перед турбіною ТК з додатковою подачею палива і повітря. Така установка при одній і тій же кількості пари, що виробляється, забезпечує вищий загальний ККД установки (70...80 % залежно від навантаження), вищий ККД вироблення електроенергії (38 %) і менший термін окупності (3...4 роки) в порівнянні з газовими турбінами середнього і малого розміру (їх параметри відповідно до 55...73 %, 28...30 % і 6...8 років). При використанні сучасних високоекономічних ДВЗ з потужністю нижче 13000 кВт не вдається за рахунок утилізації теплоти вихлопних газів забезпечити парою усі споживачі при потужності УТГ хоч би на рівні половини навантаження СЕС.

Тому **метою роботи** є оцінка впливу додатково спалюваного палива в газоході після ДВЗ на ефективність роботи СУТ при різних варіантах схем утилізації і



навантаженнях УТГ, що забезпечують половину або повне навантаження СЕС у ходовому режимі.

**Результати досліджень.** Розрахункові дослідження і порівняння ефективності різних схем утилізації для теплої і холодної зони плавання теплоти ДВЗ були виконані для СЕУ суховантажного судна, на якому в якості ГД прийнятий двигун фірми «WARTSILA» марки 7RT-flex48T- D з експлуатаційною потужністю 8350 кВт (82% від номінальної), питомою витратою палива 0,185 г/(кВт • год) при роботі на мазуті М100, коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha = 3,06$ ; температурою вихлопних газів 295 °С. Потужність СЕС в ходовому режимі становить 696 кВт, парове навантаження - 0,288 кг/с, тиск пари, отриманої в допоміжному котлі (ДК) і УК – 700 кПа.

Розрахункові дослідження енергетичних балансів теплоутилізаційних контурів (ТУК) при їх різних складах були проведені на ЕОМ. Програмне забезпечення дає можливість розраховувати теплові баланси ТУК одного і двох тисків різного компонування (в тому числі і з допалюванням палива перед УК). При дослідженні розглядалися варіанти: отримання тільки насиченої пари в УК (без пароперегрівача) і коли частина або вся пара направляєється через пароперегрівач в УТГ для отримання відповідної потужності при забезпечення всіх споживачів парою.

Дослідження роботи теплової схеми ТУК одного тиску показало, що виключається робота ДК в ходовому режимі. Потужність СЕС складає лише 36 %. Дослідження використання теплової схеми ТУК двох тисків показало, що потужність СЕС зросла до 63 %. Тому з метою забезпечення повної потужності СЕС в ходовому режимі необхідно застосувати допалювання палива перед УК. Таке рішення успішно використовується в парогазових установках [2]. Проведені дослідження [3] показали, що при спалювання водопаливних емульсій (ВПЕ) з вмістом води до 30 % зменшується інтенсивність низькотемпературної корозії до рівня 0,15 мм/рік при відсутності корозійного піку при температурах стінки конвективних поверхонь в межах 130...70 °С, що дає можливість зменшити температуру газів на виході з котла до 90...80 °С і забезпечити істотне збільшення рівня утилізації теплоти вихлопних газів. В цьому випадку потужність СЕС зростає до 88 %. Повну потужність СЕС можна отримати допалюванням 49 кг/год ВПЕ при витраті палива на ГД 1545 кг/год. У випадку допалювання палива з'являється можливість з метою підвищення ККД паросилового циклу прийняти більш високі параметри пари перед УТГ. Економія палива в порівнянні з базовим варіантом складе 270 кг/год.

**Висновки.** Збільшення витрати палива, що додатково спалюється, супроводжується безперервним підвищенням потужності парової турбіни як за рахунок енергії, що безпосередньо підводиться з паливом, так і побічно, за рахунок ефективнішого використання енергії вихлопних газів ДВЗ внаслідок збільшення ККД парового циклу і ККД УК в зв'язку зі зростанням глибини утилізації при використанні ВПЕ у ГД і при допалюванні перед УК, а також можливістю підвищення параметрів пари.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ципленкин Г.У. Турбокомпаудные системы как средство утилизации отходящего тепла силовых установок с ДВС [Текст] / Г.У. Ципленкин, Р.С. Дейч, В.И. Иовлев // Двигателестроение. – 2009. – №1.
2. Долинский А.А. Условия эффективного применения дополнительного сжигания топлива в ПГУ [Текст] / А.А. Долинский, В.Н. Клименко, П.П. Сабашук // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 2.
3. Горячкин В.Ю. Интенсивность коррозионных процессов в утилизационных котлах при сжигании водотопливных эмульсий [Текст] / В.Ю. Горячкин, В.С. Корниенко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. – 2013. – №2. – С. 101–110.

## ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС РАБОЧИХ ЛОПАТОК СУДОВЫХ ТНД В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ, ТАНКЕРОВ, ЛЕДОКОЛОВ И КОРАБЛЕЙ ВМФ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЗКИ

*Ермошкин Н.Г., Шаров Р.А., Игнатенко А.А., Лукинова В.В.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»*

*(Украина)*

**Введение.** Опыт эксплуатации различных типов судов, таких как транспортные суда, танкеры, газовозы LNG, атомные ледоколы и корабли ВМФ, в различных условиях работы дает возможность проанализировать воздействие влаги на лопатки ТНД.

Известно, что главные судовые турбины могут непосредственно работать на винт через редуктор (в ГТЗА) при переменной частоте вращения ( $n$ ) или приводить электрогенератор (в ГТА) при  $n = \text{const}$  [1]. Для ГТЗА и ГТА, находящихся в эксплуатации, можно составить обобщенные графики нагрузки по основным типам судов. Например, для ГТЗА и ГТА, находящихся в эксплуатации, можно составить обобщенные графики нагрузки по основным типам судов. Например, для ГТЗА транспортных судов [2] типичным является пик на графике нагрузки при ее величине 90-100%. Затем кривая нагрузки резко падает к области средних ходов. Далее происходит ее падение до нуля с небольшим пиком в области малых ходов. Графики нагрузки турбинных танкеров характеризуются почти постоянной мощностью  $\bar{N} = 90-95\%$ , а судов с ГТЗА [2] (рис. 1) – пиком  $\bar{N}$  по времени эксплуатации  $\tau_i/\tau_o$  (где  $\tau_i$  – время работы на режиме данной нагрузки  $N_i$ ;  $\tau_o$  – общий срок работы ГТЗА) при  $\bar{N} = 0,18-0,24$  с падением нагрузки к режимам  $\bar{N} = 0,4-0,45$  и дальнейшим снижением нагрузки ГТЗА до 1-2%  $\bar{\tau}$  в области  $\bar{N} \sim 100\%$ .

Типичные графики нагрузок влажнопаровых турбин ГТА ледоколов характеризуются многопиковой формой, изменяющейся в зависимости от ледовой обстановки. Например, в случае легкой и средней ледовой обстановки график нагрузки имеет пики при  $\bar{N} = 0,0-0,15$ ;  $0,4-0,6$  и  $0,7-0,9$ , во время тяжелой ледовой обстановки – при  $\bar{N} = 0,0-0,1$  и  $0,7-0,9$  [4].

При реализации перечисленных режимов пониженных нагрузок ГТА и ГТЗА существенно меняется эрозионное воздействие капель влажного пара на входные кромки рабочих лопаток (РЛ) последних ступеней ТНД, подверженных повышенной эрозии. Для анализа результатов эрозионного износа РЛ влажнопаровых ступеней турбин ГТА и ГТЗА ледоколов и танкеров рассмотрим одинаковые по геометрии и кинематическим характеристикам турбинные ступени при  $n = \text{const}$  и  $n = \text{var}^*$ . Рабочая лопатка ступени принята одинаковой в обоих случаях. Следовательно, на расчетной нагрузке треугольники скоростей эрозионноопасного периферийного сечения РЛ будут равны (рис. 2). В этом же случае скорость выхода пара из направляющего аппарата (НА) будет  $c_1$  в абсолютном и  $\omega_1$  в относительном движении. Скорость крупнодисперсной эрозионноопасной влаги в абсолютном движении на расчетном режиме равна  $c'_{1c}$  в относительном движении при  $n = \text{const}$  составит  $\omega'_{1c}$ . При частичной нагрузке абсолютная скорость пара на выходе из НА характеризуется вектором  $\vec{c}_{11c}$ , а в относительном движении  $\vec{\omega}_{11c}$ . Скорости эрозионноопасных капель будут равны соответственно  $c'_{11c}$  и  $\omega'_{11c}$ . Переход к частичной нагрузке приводит к росту скорости капель в относительном движении  $\omega'_{11c} > \omega'_{1c}$ . Для крупнодисперсной влаги по мере снижения нагрузки скорость капель в относительном движении при  $n = \text{const}$  все больше будет приближаться по величине к переносной скорости  $u_1$ .

Для ГТЗА изменение частоты вращения определяется соотношением  $n_i = n_0 \bar{N}^{0,33}$ . При частичной нагрузке, характеризуемой скоростью выхода пара из НА  $c_{11v} = c_{11c}$ , окружная скорость будет равна  $u_{11v} = 5,24 \cdot 10^{-3} dn_0 \bar{N}^{0,33}$ . Скорость крупнодисперсных капель в относительном движении на частичной нагрузке будет  $\omega'_{11v} < \omega'_{11c}$ .

По результатам экспериментов ЦКТИ на каплеударном стенде [5], подтвержденным рядом других исследователей, каплеударный эрозионный износ поверхности образца или детали является функцией количества воздействующей влаги, противоэрозионных свойств изнашиваемого материала и нормальной составляющей скорости соударения капель с его поверхностью. Оценка глубины эрозионного износа производится по формуле  $\Delta e_i = G'k_3 \omega_{11n}^m + \Delta e_0$ . Например, для стали 12X13 с твердостью НВ 187-200  $k_3 = 2,17 \cdot 10^{-13}$ ,  $m = 4,7$ ;  $\Delta e_0 = 0,5$  мм при испытаниях на каплях радиусом  $\xi_i = 500$  мкм.

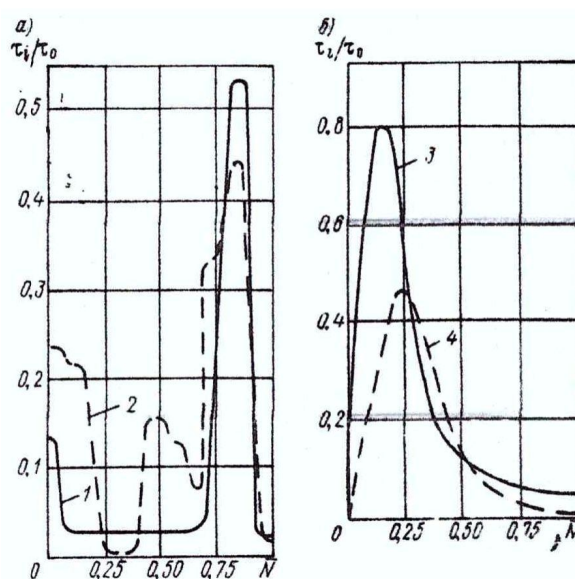


Рисунок 1 – Графики нагрузки ГТА ( $n = const$ ) – а и ГТЗА ( $n = var$ ) – б: 1 – при наличии легкой и средней ледовой обстановки; 2 – при наличии тяжелой ледовой обстановки [4]; 3, 4 – типичные кривые нагрузки двух судовых энергетических установок [2, 3]

Исследованиями, проведенными ЛПИ, выявлена сильная зависимость эрозионного износа от радиуса капель и времени капельного воздействия влаги  $\tau$ . На эродировавших деталях паровых турбин, обследованных на эрозию, в том числе на входных кромках РЛ, были выявлены три основных периода эрозионного износа во времени с различным темпом износа  $d\Delta e_i / d\tau$ . Кинетическая кривая износа деталей  $\sum_i \Delta e_i = f(\tau)$

характеризуется инкубационным, максимальным и стабилизированным периодами [6]. Указанные периоды имеют темпы износа:  $(d\Delta e_i / d\tau)_{инк} \cong 0$ ;  $(d\Delta e_i / d\tau)_{макс} \gg \gg (d\Delta e_i / d\tau)_{стаб}$ .

Приведенная выше формула ЦКТИ для оценки эрозии охватывает во времени только два первых периода – инкубационный и максимальный. Для периода стабилизированного износа входных кромок РЛ, представляющего наибольший интерес в оценке суммарного износа лопаток в процессе длительной эксплуатации и по которому проводится конечная оценка по замене лопаток из-за эрозии, зависимость  $(d\Delta e_i / d\tau)_{стаб}$  в основном определяется при сохранении прочих факторов эрозионного воздействия, величиной окружной скорости исследуемого сечения РЛ.

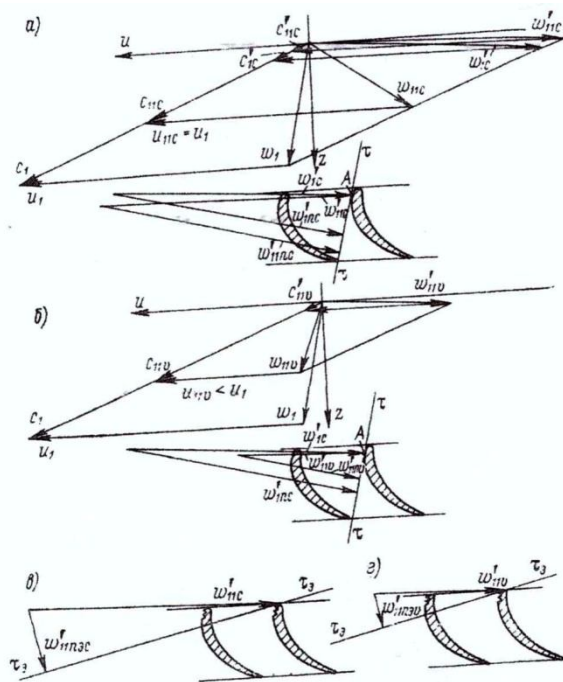


Рисунок 2 – Входные треугольники скорости пара и эрозивноопасных капель ступени ГТА (а) и ГТЗА (б) на расчетной и частичной нагрузках и величины нормальной составляющей взаимодействия капель с входной кромкой эрозийно стойкой рабочей лопатки ГТА (в) и ГТЗА (г) при работе на режиме частичной нагрузки

Рассмотрим величину  $\omega'_{1n}$  на элементарной площадке А выпуклой поверхности входной кромки (см. рис. 2), на которую приходится вся крупнодисперсная эрозийноопасная влага. Определим в указанной точке величину  $\omega'_{1n}$  при режимах частичной нагрузки для обоих рассмотренных выше случаев работы ступени  $n = \text{const}$  и  $n = \text{var}$ . Как показали расчеты, переход на режим частичной нагрузки в ступени ГТА сопровождается увеличением скорости капель в относительном движении:  $\omega'_{11c} > \omega'_{1c}$ . Нормальная составляющая скорости соударения капли в точке А также возрастает:  $\omega'_{11nc} > \omega''_{1nc}$  (рис. 2, а). в этом же случае в ГТЗА происходит уменьшение скорости капли в относительном движении из-за снижения окружной скорости  $u_{11v} < u_1 \rightarrow \omega'_{11v} < \omega'_{11c}$ . При режимах частичных загрузок в диапазоне  $\bar{N} < 0,2-0,25$  уменьшение скоростей капель в относительном движении будет еще больше. Соответственно нормальная составляющая скорости капель на площадке А уменьшится по сравнению с работой при постоянной (номинальной) частоте вращения:  $\omega'_{11nv} < \omega'_{11nc}$ .

Проанализируем возможный износ входных кромок РЛ на площадке А (рис. 2) при режимах работы  $\bar{N} < 0,25$  для лопаток из стали 12Х13. Для ступени ГТЗА скорость  $u_{11v}$  уменьшится в 0,63 раза. Изоэнтروпийный перепад на ступень и расход пара снизятся примерно в 2 раза. Следовательно, при сохранении внутреннего КПД ступени на расчетном уровне (в результате примерно неизменного отношения  $u_{41v} / C_{011}$ ) количество воздействующей капельной влаги снизится примерно в 4 раза. За счет изменения абсолютной скорости пара в ядре потока из НА и в следах лопаток НА увеличится размер максимальных капель, уменьшится их скорость в абсолютном движении.

Для ступени ГТА скорость  $u_1$  останется постоянной на всех режимах работы. При изменении изоэнтропийного перепада энтальпий ступени по сравнению с расчетным и расхода примерно в 2 раза мощность ступени несколько снизится за счет уменьшения КПД при работе на нерасчетном  $u / C_0$ . Пренебрежем изменением КПД и степени реактивности, которое по [2] будет для  $\bar{N} < 0,25$  не более 1-1,5%. Как и в случае работы ступени при

$n = \text{const}$ , количество крупнодисперсной влаги уменьшится примерно в 4 раза. Разгон капель в абсолютном движении будет почти таким же, как при  $n = \text{var}$ . В относительном движении скорость эрозионноопасных капель приблизится к величине  $u_1$ . Нормальная составляющая воздействия капель на рассматриваемой частичной нагрузке несколько увеличится по сравнению с  $\omega'_{1nc}$  на расчетном режиме.

Воспользуемся формулой ЦКТИ по оценке изменения эрозии выпуклой поверхности РЛ на площадке  $A$  для одной и той же лопатки при  $n = \text{const}$  и  $n = \text{var}$ . Предположим, что поправочные коэффициенты, учитывающие режимные факторы, работу системы влагоулавливания, полидисперсность капель и т.п., связанные с применением формулы ЦКТИ для турбинной ступени, будут меняться мало при работе ступени с постоянной и переменной частотой вращения. Тогда изменение эрозионного износа на площадке  $A$  будет равно  $\sum_i \overline{\Delta e}_i = \sum_i \Delta e_{ic} / \sum_i \Delta e_{iv} \cong (\omega'_{1nc} / \omega'_{1nv})^m$ . По оценке расчетных скоростей для РЛ, находящейся в длительной эксплуатации на последней ступени ГТА и ГТЗА, отношение  $\sum_i \overline{\Delta e}_i$  было получено равным  $\sim 6$ . Отношение суммарных эрозионных износов, взятых с кинематических кривых, построенных по данным обследования РЛ последней ступени ГТА и ГТЗА в процессе длительной эксплуатации, равно после 12 тыс. ч эксплуатации:  $\sim 4$  при  $\bar{n} = 0,44-0,5$ ;  $2,5$  для  $\bar{n} = 0,5-0,56$ ;  $\sim 2$  – при  $\bar{n} = 0,56-0,6$ .

Если принять во внимание более высокие окружные скорости ступени ГТЗА на расчетном режиме по сравнению со ступеню ГТА, а также неизбежные в эксплуатации отклонения режимов нагрузки ГТЗА от среднестатистических, регистрируемых в журнале наблюдений, то полученная величина  $\sum_i \overline{\Delta e}_i = 4$  достаточно близка к расчетной. Как и следовало ожидать, с ростом величины преимущественной нагрузки ГТЗА отношение  $\sum_i \overline{\Delta e}_i$  будет уменьшаться, т.е. абсолютные величины эрозионного износа входных кромок последней ступени ГТА и ГТЗА будут сближаться.

Одним из путей снижения эрозионного износа входных кромок периферийной части рабочих влажнопаровых ступеней является конструктивный способ защиты от эрозии [7], основанный на уменьшении величины  $\omega'_{1n}$  за счет выполнения на входной кромке ориентированных площадок. Для частичной нагрузки значения  $\omega'_{1nэ}$  ступени с эрозионно-стойкой рабочей лопаткой (ЭРЛ) ГТА значительно меньше величин  $\omega'_{1nc}$  традиционной рабочей лопатки со скругленной входной кромкой (см. рис. 2. в). Аналогичное снижение нормальной составляющей скорости взаимодействия капель с входной кромкой наблюдается для ступени ГТЗА с ЭРЛ:

$$\omega'_{nэv} < \omega'_{1nv} \text{ и } \omega'_{nэv} \ll \omega'_{1nc} \text{ (см. рис. 2, г)} \quad (1)$$

### Выводы.

1. Эрозионный износ входных кромок ступеней ТНД судовых ГТЗА, эксплуатируемых преимущественно на низких нагрузках  $N < 0,25$ , будет существенно меньше износа входных кромок РЛ аналогичной ступени ГТА, работающей на тех же нагрузках при постоянной частоте вращения.

2. В соответствии со сравнительно слабым эрозионным износом РЛ ступени ГТЗА, эксплуатируемой преимущественно на режимах частичной нагрузки, с целью предотвращения эрозии может быть выбрана меньшая поверхность входной кромки для нанесения пассивной противоэрозионной защиты. Указанный возможный меньших эрозионный износ РЛ ГТЗА должен учитываться при назначении сроков плановых

ремонтів лопаточного апарата ТНД и заказах комплектов лопаток для плановой замены, что приведет к ошутимому экономическому эффекту.

3. Для транспортных судовых ГТЗА, работающих преимущественно с коэффициентом нагрузки  $k_N = N_i / N_0 = 0,90-0,95$ , т.е. почти с расчетной частотой вращения, выбор защиты от эрозии РЛ ступеней ТНД следует производить, как для ступеней ГТА, работающих при постоянной частоте вращения.

4. Конструктивное выполнение входной кромки РЛ влажнопаровых ступеней низкого давления по принципу ЭРЛ является перспективным способом защиты от эрозии входных кромок периферийной части рабочих лопаток турбин ГТА и ГТЗА, эксплуатируемых в широком диапазоне режимов нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.И., Грицай Л.Л., Моисеев А.А. Судовые паровые и газовые турбины. М., Транспорт, 1981.
2. Курзон А.Г. Теория судовых паровых и газовых турбин. Л., Судостроение, 1970.
3. Курзон А.Г. Судовые паротурбинные установки. Тепловые схемы. Л., Судпромгиз, 1955.
4. Казак М.А., Фадеев И.П. Конструктивные и эксплуатационные особенности влажнопаровых турбин. – Энергомашиностроение, 1978, № 4.
5. Яблоник Р.М., Поддубенко В.В. Экспериментальное исследование эрозионной стойкости лопаточных материалов. – Энергомашиностроение, 1975, № 11.
6. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. М., Металлургия, 1972.
7. Исследование средств защиты рабочих лопаток паровых турбин от эрозии / М.А. Казак, Б.В. Альфер, И.П. Фадеев и др. – Судостроение, 1977, № 7.

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

*Калугин В.В., Калинин В.В., Черненко А.С.*

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова  
(Украина)*

*Селиванов С.Е.,*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

Из распространенных ныне в промышленной практике твердых катализаторов окисления и чувствительных элементов каталитических газоанализаторов, применяемых в виде частиц и нитей, широкое применение получили металлы платиновой группы и их сплавы для исследования и определения характеристик гетерогенно-каталитических реакций и беспламенного горения газоздушных смесей с примесями горючих газов (водород, аммиак, оксид углерода, диоксид серы и углеводороды).

Знание механизмов взаимовлияния на различных стадиях процессов теплообмена, адсорбции и экзотермических реакций газообразных реагентов на поверхности нити (частицы) катализатора необходимо для целенаправленного выбора режимных параметров, обеспечивающих необходимый температурный уровень и скорость беспламенного горения газоздушных смесей с примесями горючего газа на металлической нити (частице) катализатора и также скорость выхода целевого газообразного продукта [1, 2]. В частности эти исследования необходимы для разработки теплофизических основ каталитических газоанализаторов, первичный преобразователь которых, выполнен на основе нити (частицы) из металлов платиновой группы [1].

**Экспериментальная установка.** Экспериментальное исследование зависимости точек самовоспламенения и погасания от концентрации примеси водорода в воздухе на тонкой платиновой нити проводилось с помощью измерения протекающего через проволоку тока и температуры и нити. Такие измерения физически объективны, но требуют, как и все температурные измерения, строго учета всех факторов, влияющих на тепловой процесс. Для этого была создана экспериментальная установка, включающая в себя: 1) экспериментальный стенд, 2) источник водорода, 3) вспомогательное оборудование, 4) ноутбук, 5) программное обеспечение.

Экспериментальный стенд включает в себя: 1. лампу ПМТ-2 (платиновая проволока (диаметром 0,095мм и длиной 56 мм и хромель-копелевая термопара, соединенная теплопроводящей перемычкой с центральной частью платиновой нити); 2. плату источника тока – управляемый напряжением (ИТУН); 3. инструментальных усилителей; 4. микроконтроллерную плату (МП); 5. плату сопряжения (ИТУН) и (МП); 6. сенсорный экран 5»; 7. плату сопряжения экрана с МП; 8. блок питания электроники (рисунок 1).

Источник тока (рис. 1), управляемый напряжением, собран на микросхеме ОРА548 (DA1), а инструментальные усилители – на микросхеме INA2128 (DA2A и DA2B) фирмы Burr Brown.

В цепь обратной связи ОРА548 последовательно включены платиновая проволока и контрольная перемычка. Инструментальный усилитель DA2A предназначен для преобразования «плавающих» потенциалов на концах платиновой нити в их разность по отношению к нулевому потенциалу шины «земля», и имеет коэффициент преобразования, равный единице.

Инструментальный усилитель DA2B предназначен для преобразования разности потенциалов на выводах термопары к потенциалу относительно шины «земля», а его коэффициент преобразования равен 107.

В качестве блока питания использовались два импульсных 12 вольтовых источника постоянного тока 2 А, включенных по схеме со средней точкой, для обеспечения двухполярного источника питания ИТУН (+12В и – 12В) и однополярного питания 12В остальных узлов схемы.

Источник водорода состоит из: лабораторного набора для электролиза солей и регулируемого источника тока TXN-150D.

Вспомогательное оборудование состоит из лабораторного амперметра, реостата, КМОП камера ASI120MM, колеса фильтров, шнуров и кабелей.

Черно-белая камера ASI120MM совместно с колесом фильтров применялась для фотографирования светящейся от нагрева платиновой проволоки, для оценки градиента температуры по длине проволоки.

Программное обеспечение состоит из следующих элементов: 1. программа, зашитая во flash-память микроконтроллера; 2. сторонних программных продуктов для разработки программ и обработки документирования экспериментальных данных; 3. программ проектирования принципиальной схемы и печатных плат; 4. сторонних программ для загрузки, обработки фото- и видеоданных.

Тестирование проводилось для проверки работы ИТУН, для чего снималась технологическая перемычка (рис.1), и в разрыв последовательно включались лабораторный амперметр и реостат 6 Ом. После чего с микроконтроллера в ручном режиме задавались токи в ИТУН, и изменялось сопротивление реостата. При этом стабильность тока в цепи сохранялась на уровне 0.05% от номинала. Калибровка канала код ЦАП – ток ИТУН осуществлялась заданием кода на ЦАП в ручном режиме с сенсорного экрана и регистрации тока в цепи технологической перемычки амперметром.

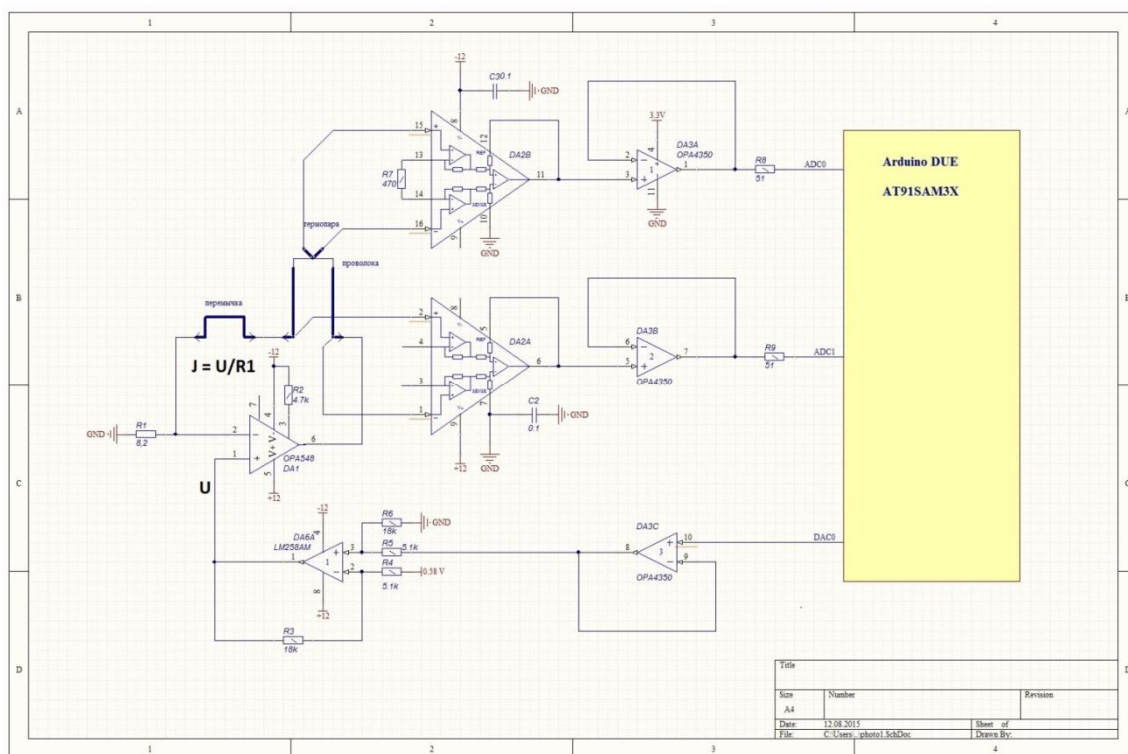


Рисунок 1 – Плата ИТУН и инструментальных усилителей (схема)

Методика измерений разрабатывалась, исходя из следующих требований:

1. изменение температуры платиновой нити проводится в результате ее нагрева постоянным током медленно по строго заданному закону;
2. определение температуры платиновой нити производится либо по измерению величины сопротивления самой нити, либо с помощью термопары, находящейся в тепловом контакте с платиновой проволокой;



3. проволока находится в воздушной или водородно-воздушной атмосфере, концентрация водорода задается от 0.09% до 2%;

4. во время измерения температур включения и выключения каталитической реакции, должны быть исключены неконтролируемые воздушные потоки.

Методика измерений заключалась в выполнении следующих действий:

1. Задание концентрации водорода, поступающего в реакционный сосуд, путем подбора силы тока, проходящего через электролит.

2. Изменение тока в цепи проволоки проводилось по линейному закону от 0.05А до 0.805А. с шагом 0.25 мА. Измерение падения напряжения на концах проволоки, или потенциала, вырабатываемого термопарой, после каждого шага приращения тока (измерение проводится после строго заданной временной задержки, введенной для исключения влияния переходных процессов). Измерение напряжения производится аналого-цифровым преобразователем с разрешением 0.8 мВ в интервале от 0 до 3276.8 мВ. Измерение одной точки проводится за время 20 мс путем усреднения по большой выборке последовательных измерений (10000), благодаря чему снижается влияние сетевых наводок. Весь массив измеренных напряжений сохраняется в памяти устройства.

3. Запись двух эталонных массивов сигналов. Первый – при линейном повышении тока протекающего в цепи платиновой проволоки в воздухе, второй – при линейном понижении тока.

4. Запись двух рабочих массивов сигналов. Аналогично предыдущему, но уже в воздухе с примесями водорода. Параллельно производится запись вспомогательных массивов сигналов: разность рабочего и соответствующего эталонного сигналов.

В случае отсутствия водорода в исследуемой атмосфере эталонные и рабочие сигналы практически одинаковые, отсчеты разностных сигналов имеют нулевые или близкие к ним значения. При наличии в исследуемой атмосфере водорода при изменении температуры платиновой проволоки появляются условия протекания экзотермической реакции, благодаря которой температура на ней дополнительно возрастает, и отсчеты разностных сигналов становятся больше нулевых. Разностные сигналы дают возможность точно определить точку включения каталитической реакции (превышение порога разностным сигналом нагревания), и точку выключения каталитической реакции при обратном достижении порога.

По точкам включения и выключения каталитических реакций (в разностных сигналах) находятся связанные с ними точки в рабочих сигналах нагревания и охлаждения, значения отсчетов в этих точках являются напряжениями на концах платиновой проволоки или разностями потенциалов термопары в эти моменты.

Для каждой концентрации проводится цикл измерений, и записываются температуры включения и выключения термокatalитической реакции. Измеренные данные выводятся в виде таблицы на экран, либо передаются в терминал внешнего компьютера.

Проведенные экспериментальные исследования сводились к получению вольтамперной характеристики нагреваемой проволоочки и определение ее средней температуры в заданных условиях (концентрация водорода в газовой смеси, скорости потока газовой смеси, сила нагревающего тока и т. д.). Были проведены серии измерений температуры по сопротивлению платиновой проволоки и с помощью термопары. Измерения гистерезисной зависимости температуры по сопротивлению термопары позволило получить зависимости, известные по литературным данным [3]. Аналогичные измерения с помощью термопары показали наличие «вспышки» по температуре при начале реакции, которая не наблюдалась измерениями по сопротивлению проволоочки по причине гораздо большей тепловой инерционности последней. Начало высокотемпературного процесса происходит в диффузионном режиме. Действительно,

высота пика практически прямо пропорциональна концентрации водорода, установившегося в лампе, что характерно для диффузионного режима.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В., Софронков А.Н. Гистерезис тепломассообмена при неизотермическом окислении примесей горючих газов в воздухе на платиновой проволоке // Физика аэродисперсных систем. – 2014. – № 51. – С. 41-52.
2. Калинчак В.В., Черненко А.С., Софронков А.Н., Селиванов С.Е., Федоренко А.В. Гистерезисные режимы беспламенного горения газоздушных смесей с примесями аммиака на платиновой нити (частице) при параллельном образовании азотсодержащих продуктов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2016. – №1. – С. 174-184.
3. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М. : Наука, 1987. – 491 с.

## ИННОВАЦИИ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЭУ

*Коваленко С.И.*

*Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»  
(г. Измаил, Украина)*

**Актуальность** проблемы использования газопоршневых двигателей (ГПД) в составе судовых энергетических установок (СЭУ) обусловлена двумя факторами: стремлением сократить потребление топлив нефтяного происхождения и необходимостью повышения экологической безопасности СЭУ. Судовые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) могут являться основным источником загрязнения атмосферы в таких локальных зонах, как порты, гидротехнические сооружения, акватории рек в черте города. Эмиссия токсичных соединений и твердых частиц с отработавшими газами регламентирована международными стандартами (Euro, IMO, TA-Luft, Tier). В ближайшие годы следует ожидать ужесточения экологических требований к поршневым ДВС, прежде всего, по содержанию в отработавших газах оксидов азота  $\text{NO}_x$ , снижение выбросов которых является одной из актуальных задач современного судового двигателестроения [1].

Проведенное сравнение табличных данных показывает, что применение в качестве топлива для ДВС природного газа обеспечивает существенное сокращение количества вредных выбросов по сравнению с использованием топлив на основе нефти: полностью исключаются выбросы серы, кардинально (на 90 %) снижаются выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), снижение выбросов парниковых газов на эквивалентную мощность составляет 25 – 30 %, что является дополнительным аргументом в пользу перевода судовых двигателей на газовое топливо в свете современных экологических требований ИМО.

Используются два принципиально различных способа перевода дизельных двигателей на питание газовым топливом [2].

1. Конвертация дизельного двигателя в двигатель внутреннего сгорания с воспламенением газозоошной смеси от искры (полное замещение топлива). Данный способ является достаточно радикальным и связан со значительным изменением конструкции базового двигателя. При этом с двигателя демонтируют дизельную топливную аппаратуру, уменьшают степень сжатия до 11 – 16 единиц, устанавливают систему зажигания, топливоподающую газовую систему. В результате двигатель работает на газовом топливе, которое имеет стоимость ниже, чем дизельное топливо. Экологические параметры отработавших газов конвертированного дизеля, как правило, выше исходного двигателя. При работе с использованием данного способа обеспечиваются номинальные мощности с незначительным снижением КПД с базовым двигателем. После выполнения конвертации двигатель уже не может больше работать на дизельном топливе.

2. Использование газодизельного режима. В газодизельном режиме в двигатель подают два топлива: основное дизельное (но в меньшем количестве, чем в базовом), дополнительное газовое (топливо для замещения). При этом основное дизельное топливо играет роль «запальной» дозы для воспламенения интегральной газозоошной топливной смеси. Существенным преимуществом газодизельного цикла является то, что мощность источника зажигания в нем значительно больше, чем в двигателе с искровым зажиганием. Кроме того, рабочая смесь поджигается не в одной точке у холодной стенки, а в центре заряда. Благодаря этому одной из важных особенностей газодизельного процесса является возможность надежной работы двигателя на обедненной рабочей смеси. При использовании данного способа сохраняется возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно. У быстроходных дизельных двигателей расход жидкого топлива, используемого для воспламенения и полного сгорания газозоошной смеси, составляет 10 – 20 % количества, расходуемого при обычном дизельном процессе. В

средне- и малооборотных двигателях требуется лишь 5 – 8 % дизельного топлива для воспламенения. В настоящее время существуют опытные модели двигателей, использующие 1 % пилотного топлива, и ведутся работы по дальнейшему уменьшению его количества. Именно такой способ воспламенения реализован фирмой Wärtsilä в двухтопливном двигателе 20DF, а также двигателях, разработанных фирмой MAN Diesel & Turbo для СЭУ [3] и получивших одобрение классификационных обществ [4].

Для двигателя 8ЧН14/14 с использованием пакета программы Diesel RK Net, был выполнен многовариантный тепловой расчет, результаты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели работы двигателя 8ЧН14/14 при использовании различных видов топлива

Показатель работы двигателя	Вид используемого топлива		
	Дизельное (ГОСТ 305-82)	Природный газ (метан CH <sub>4</sub> )	Этанол (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)
Обороты коленчатого вала, мин	1900		
Степень сжатия	16,5		
Коэффициент избытка воздуха (оптимальный)	1,7	1,0	1,0
Угол опережения впрыска / зажигания (оптимальный), оПКВ	20	15 – 25	10 – 20
Эффективная мощность, кВт	300	300	300
Эффективный крутящий момент, Н·м	1685	1511	1508
Среднее индикаторное давление, МПа	1,617	1,750	1,549
Среднее эффективное давление, МПа	1,406	1,586	1,480
Часовой расход топлива, кг/ч	60	66 (эквивалентно 95,8 м <sup>3</sup> /ч метана)	73,8
Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч)	205	220	246
Индикаторный КПД	0,440	0,443	0,433
Эффективный КПД	0,40	0,382	0,394
Механический КПД	0,875	0,860	0,860

Полученные данные свидетельствуют о том, что перевод двигателя 8ЧН14/14 на альтернативные виды топлива не приводит к существенному снижению технико-экономических показателей, а учитывая различную цену топлив, может оказаться экономически целесообразным. Дополнительный экономический эффект может быть получен в результате того, что использование газового топлива обеспечивает повышение ресурсных показателей двигателей, так как газ не смывает масляную пленку со стенок гильзы цилиндров, увеличивается срок службы масла из-за пониженного нагарообразования в камере сгорания. По имеющимся статистическим данным, собранным на автомобильном транспорте, наработки ГПД до среднего и капитального ремонта превышают соответствующие периоды для поршневых двигателей, работающих на жидких углеводородных топливах в 1,5 раза.

Для оценки экологического эффекта от перевода двигателя 8ЧН14/14 на газовое топливо в программе Diesel RK Net был рассчитан состав продуктов сгорания при использовании различных видов газового топлива и различных составов газозудной смеси. Результаты расчетов приведены в табл. 2, где  $\alpha_c$  – коэффициент избытка воздуха, обеспечивающий стехиометрический состав смеси;  $\alpha_{np}$  – коэффициент избытка воздуха

предельно обедненной смеси, при котором обеспечивается устойчивая работа двигателя;  $\alpha_{\max}$  – коэффициент избытка воздуха смеси, при котором достигается максимальное среднее индикаторное давление.

Таблица 2 – Состав продуктов сгорания при использовании в двигателе 8ЧН14/14 газового топлива

Топливо	Коэффициент избытка воздуха	Мольные доли компонентов отработавших газов						
		H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Природный газ (метан CH <sub>4</sub> )	$\alpha_c = 1,0$	–	0,229	0,656	–	–	0,114	0,0009
	$\alpha_{пр} = 1,34$	–	0,180	0,685	0,003	–	0,087	0,045
	$\alpha_{\max} = 0,90$	0,016	0,228	0,633	0,007	0,02	0,102	0,0009
Этанол (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	$\alpha_c = 1,0$	–	0,308	0,692	–	–	–	0,0003
	$\alpha_{пр} = 1,25$	–	0,258	0,715	0,002	–	–	0,0272
	$\alpha_{\max} = 0,95$	0,001	0,310	0,686	–	–	–	0,0003

Данные, полученные расчетным путем, подтверждают, что перевод судовых двигателей на газовое топливо снижает отрицательное воздействие СЭУ на окружающую среду, обеспечивая выполнение как существующих, так и перспективных экологических требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78).

Для достижения максимального энергетического и экологического эффекта необходима комплексная модернизация основных систем газопоршневых двигателей: топливоподачи, наддува, охлаждения, автоматического регулирования, обеспечение безопасности судовых энергетических установок с газопоршневыми двигателями. Сокращение затрат, связанных с внедрением газопоршневых двигателей, может быть обеспечено за счет совершенствования проектирования и эксплуатации газопоршневых двигателей и максимального использования инфраструктуры, созданной для наземного транспорта, работающего на газовом топливе.

**Результаты** численных экспериментов, стендовых испытаний ГПД и опыт, накопленный при их эксплуатации, свидетельствует о том, что использование газового топлива приводит к изменению протекания рабочего цикла, перераспределению составляющих теплового баланса, изменению температур отработавших газов и охлаждающей жидкости. Как правило, переход на газовое топливо приводит к росту температуры отработавших газов и понижению температуры охлаждающей жидкости. Именно поэтому перевод двигателя на газовое топливо не должен ограничиваться модернизацией его топливной системы [5].

Для получения максимального энерго-экологического эффекта от внедрения ГПД в СЭУ необходимо определить оптимальные для них параметры наддува и охлаждения, провести модернизацию этих систем, в том числе с использованием технических решений, приведенных в работе [6], и обеспечить автоматическое регулирование параметров охлаждения и наддува ГПД в соответствии с концепцией, изложенной в статье [7].

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**.

1. Использование ГПД в составе СЭУ целесообразно как с энергетической, так и экологической точки зрения.
2. Максимальный энергоэкологический эффект от перехода на газовое топливо возможен при комплексной модернизации систем топливоподачи, охлаждения, наддува и автоматического регулирования ГПД.
3. Определение оптимальных параметров наддува и охлаждения при переходе на газовое топливо требует дополнительных исследований.

4. Использование ГПД в составе СЭУ требует повышенного внимания к обеспечению взрыво - и пожаробезопасности.

5. Для снижения затрат, связанных с внедрением ГПД на водном транспорте, необходимо совершенствование методологии проектирования судов различного назначения (газовозы, буксиры, пассажирские) с комбинированными энергетическими установками, что позволит ускорить процесс модернизации существующих и строительства новых судов, работающих на газомоторном топливе, отвечающим всем современным требованиям. Внедрение газа на речном флоте следует рассматривать как одну из важнейших государственных задач, направленных на повышение экономической эффективности эксплуатации судов и обеспечение экологической безопасности. При этом наиболее рациональным следует считать переоборудование выпускаемых дизелей для работы на газовом топливе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев Д. М. Суда на природном газе: опыт эксплуатации и перспективы развития / Д. М. Киселев, В. К. Новиков, В. В. Попов, К. И. Федин, И. В. Маслов // Речной транспорт (XXI век). – 2013. – № 3 (62). – С. 62–64.

2. Жуков В. А. Перспективы конвертации автомобильных двигателей в судовые в аспекте экологических нормативов / В. А. Жуков, М. С. Курин // Труды 11-й Международной конференции «Актуальные проблемы современной науки». – Ч. 3. Механика и машиностроение. – Самара: Изд-во СамГТУ, 2010. – С. 41–45.

3. Жуков В. А. Модернизация системы охлаждения дизеля 8ЧН14/14 для его использования в составе судовой энергетической установки / В. А. Жуков, А. Е. Ратнов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 2. – С. 59–64.

4. Безюков О. К. Анализ перспективности газопоршневых ДВС / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Яценко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 45–51.

5. Безюков О. К. Экономические аспекты перевода флота на газомоторное топливо / О. К. Безюков, В. А. Жуков // Актуальные проблемы экономики и управления на водном транспорте: материалы науч.- практ. конф. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. – С. 31–34.

6. Безюков О. К. Газомоторное топливо на водном транспорте / О. К. Безюков, В. А. Жуков, О. И. Яценко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 6 (28). – С. 31–39.

7. Блинков А. Н. Анализ способов применения газового топлива в судовых энергетических установках / А. Н. Блинков, А. А. Власов, В. К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2011. – № 34. – С. 177–179.

## КАТАЛИТИЧЕСКАЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

*Леонов В.Е., Сердюк А.Д.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

**Введение.** В настоящее время, в обществе резко возрастает роль промышленной экологии, специализирующейся на оценке степени вреда, наносимого природе индустриализацией и интенсивным ростом потребностей населения планеты. Несомненно, одним из главных векторов загрязнения воздушного бассейна является транспорт. Только за последние 50 лет мировой автопарк увеличился более чем в 25 раз и интенсифицируется роль морского транспорта в судовых грузоперевозках.

**Актуальность исследования.** Отработанные газы судовых энергетических установок (ОГ СЭУ) содержат в своем составе более двухсот вредных токсичных компонентов, относящихся по характеру воздействия к канцерогенным, мутагенным, раздражающим, общеядовитым, а по классу опасного воздействия на человека – с первого по четвертый. Помимо химического загрязнения окружающей среды отработанные газы имеют высокую энтальпию, что в свою очередь приводит к тепловому загрязнению воздушного бассейна. В связи с вышеперечисленными фактами с позиции экологической безопасности очистка ОГ СЭУ и снижение его температуры является актуальной проблемой.

В отработанных газах содержится 0,011-0,015%  $\text{NO}_x$ , что наглядно можно увидеть так, как это придает газам желто-бурую окраску, которая практически исчезает при снижении концентрации до 0,003-0,004%. Главным фактором, определяющим синтез оксидов азота в камере сгорания СЭУ, является температура (Т), с повышением которой скорость образования  $\text{NO}_x$  (W) растет согласно уравнению:

$$W = \exp(0,009 \times T) \quad (1)$$

**Постановка задачи.** Снижение выбросов оксидов азота достигается увеличением расхода воздуха через первичную зону, но это приводит к увеличению эмиссии оксида углерода и углеводородов. Наиболее простой путь к уменьшению выбросов  $\text{NO}_x$  заключается во внесении конструктивных усовершенствований в камеру сгорания, к которым относятся изменение геометрии ее равномерного распределение воздуха по сечению, использование более совершенных способов подачи воздуха, подачи топлива в камеру сгорания. Но, несмотря на все эти усовершенствования ОГ все еще содержат вредные загрязняющие компоненты. Необходима последующая обработка ОГ с целью снижения содержания компонентов ОГ до предельно-допустимых концентраций и предельно-допустимых выбросов.

Разрабатываются и совершенствуются инженерно-технические средства защиты окружающей среды, всемерно развиваются основы для создания замкнутых, малоотходных, ресурсосберегающих и безотходных технологических циклов [1, 2].

Для того, чтобы снизить содержание вредных компонентов ОГ СЭУ до предельно-допустимых норм существуют следующие методы очистки ОГ:

1. Физические:
  - низкотемпературная конденсация;
  - мембранное разделение.
2. Физико-химические:
  - абсорбционные;
  - адсорбционные;
  - высокотемпературные – термические, пиролиз;
  - химическое превращение;

- каталитический [3-5].;
- 3. Биологические:
  - биохимическое окисление микроорганизмами;
- 4. Комбинированные

**Результаты исследований.** Исследование каталитической очистки ОГ СЭУ. Целью эксперимента является определение наиболее активного катализатора для реакции окисления оксида углерода.

**Методика проведения исследования.** Эксперименты проводились на двух оксидных катализаторах: ИКТ-12-8 и АОК-78-56 фракции 1×1 мм (табл. 1), а исследование активности катализаторов проводились в проточной установке (реактор идеального вытеснения) с неподвижным слоем катализатора.

Температура контролировалась хромель-копелевой термопарой, диапазон измерения температуры которой составляет 20-450 °С. Анализ содержания оксида углерода осуществлялся при помощи газоанализатора-хроматографа на входе в реакторный аппарат и на выходе из него. Измерения концентрации СО проводили не менее двух-трех раз. За результат измерения принимали среднее арифметическое значение.

Таблица 1 – Характеристика катализаторов ИКТ-12-8 и АОК-78-56

<i>Катализатор</i>	<i>Химический состав</i>	<i>Удельная поверхность, м<sup>2</sup>/г</i>	<i>Размер фракции, мм</i>
ИКТ-12-8 в виде гранул	CuO – 10% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 80%	170	1×1
АОК-78-56 в виде гранул	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 11% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 6% Cr(+6) не более 0,05% SiO <sub>2</sub> – 25-45%	110	1×1

**Описание лабораторной установки.** Лабораторная установка имеет блочно-модульное исполнение и состоит из пяти основных частей:

1. Системы получения оксида углерода;
2. Системы подготовки и дозирования исходной реакционной смеси;
3. Реакторного блока;
4. Системы охлаждения газа;
5. Системы конденсации и сепарации – жидкая фаза – вода и газообразная смесь монооксида углерода и диоксида углерода.

Оксид углерода, используемый в эксперименте, получали в результате разложения муравьиной кислоты в присутствии катализатора – серной кислоты, при температуре 75-100°C по реакции:



Исследования активности катализаторов в реакции окисления оксида углерода были проведены при следующих условиях:

- зерно катализатора 1×1 мм;
- объемный расход реакционной смеси 9 и 11 см<sup>3</sup>/с;
- содержание оксида углерода в воздухе 123 мг/м<sup>3</sup>;
- давление в реакторе 1000 мм.рт.ст.

Перед исследованиями каталитической активности образец катализатора нагревали в потоке воздуха до заданной температуры, а затем вместо воздуха дозировали реакционную смесь (смесь оксида углерода и воздуха).



Результаты исследований окисления оксида углерода на катализаторах ИКТ-12-8 и АОК-78-56.

В процессе испытаний определяли концентрацию оксида углерода на входе и на выходе из реактора и по полученным данным рассчитывали конверсию оксида углерода (X, %) и константу скорости химической реакции (K, мм<sup>3</sup>/с\*ммг).

1. Результаты исследований окисления оксида углерода на катализаторах ИКТ-12-8.

Масса загруженного в реактор катализатора 90 мг, размер фракции исследованного катализатора 1 мм.

Степень превращения оксида углерода изменилась от 17 % до 78 %. Результаты испытаний приведены в таблице 2 и 3.

Таблица 2 – Результаты исследований при расходе газовой смеси 9 см<sup>3</sup>/с

№	T, °C	C <sub>co</sub> (вх), мг/м <sup>3</sup>	C <sub>co</sub> (вых), мг/м <sup>3</sup>	X <sub>co</sub> , %	K*, см <sup>3</sup> /с*г	LnK
1	160	123	98	18	25,25	3,23
2	160	123	100	17	23,12	3,14
3	210	123	68	43	71,39	4,27
4	260	123	43	64	129,14	4,86

K\* – каталитическая активность катализатора

Таблица 3 – Результаты исследований при расходе газовой смеси 11 см<sup>3</sup>/с

№	T, °C	C <sub>co</sub> (вх), мг/м <sup>3</sup>	C <sub>co</sub> (вых), мг/м <sup>3</sup>	X <sub>co</sub> , %	K*, см <sup>3</sup> /с*г	LnK
1	160	123	89	28	33,76	3,56
2	160	123	90	26	31,78	3,46
3	210	123	60	51	74,83	4,32
4	260	123	34	72	132,88	4,89

2. Результаты исследований окисления оксида углерода на катализаторах АОК-78-56.

Таблица 4 – Результаты исследований при расходе газовой смеси 9 см<sup>3</sup>/с

№	T, °C	C <sub>co</sub> (вх), мг/м <sup>3</sup>	C <sub>co</sub> (вых), мг/м <sup>3</sup>	X <sub>co</sub> , %	K*, см <sup>3</sup> /с*г	LnK
1	150	123	89,00	27,78	2,18	0,78
2	150	123	87,29	29,17	2,31	0,84
3	200	123	42,79	65,28	7,10	1,96
4	250	123	27,39	77,78	10,10	2,31

Таблица 5 – Результаты исследований при расходе газовой смеси 11 см<sup>3</sup>/с

№	T, °C	C <sub>co</sub> (вх), мг/м <sup>3</sup>	C <sub>co</sub> (вых), мг/м <sup>3</sup>	X <sub>co</sub> , %	K*, см <sup>3</sup> /с*г	LnK
1	150	123	73,60	40,28	2,83	1,04
2	150	123	73,60	40,28	2,83	1,04
3	200	123	34,23	72,22	7,03	1,95
4	250	123	22,25	81,94	9,40	2,24

Каталитическая активность в реакции окисления оксида углерода на катализаторе АОК-78-56 исследован при расходе газовой смеси 9 и 11 см<sup>3</sup>/с, в интервале температур 150-250°С, при исходной концентрации оксид углерода 123 мг/м<sup>3</sup> (табл. 4, 5). Масса загруженного в реактор катализатора 1700 мг, размер фракции исследованного катализатора 1 мм.

Степень превращения оксида углерода изменялась от 28% до 82%. Результаты испытаний приведены в таблице 4 и 5.

**Выводы.** По результатам исследования окисления оксида углерода на катализаторах ИКТ-12-8 и АОК-78-56 следует выделить следующее:

1. Процесс окисления оксида углерода на катализаторах ИКТ-12-8 и АОК-78-56 имеет четкую зависимость – с увеличением температуры степень превращения СО и константа скорости химической реакции окисления СО от температуры в реакторе повышается.

2. Наиболее активным является катализатор марки ИКТ-12-8, так как при равных температурах константа скорости химической реакции катализатора ИКТ-12-8 больше, чем катализатора марки АОК-78-56.

3. Работа на катализаторе ИКТ-12-8 позволяет сэкономить массу загрузки катализатора в реакторе, так как при работе на катализаторе марки АОК-78-56, при равных условиях масса загрузки катализатора в 15 раз больше, чем с использованием катализатора ИКТ-12-8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов В. Е., Ходаковский А. В. / Экология и охрана окружающей среды: учебное пособие / В. Е. Леонов, А. В. Ходаковский; под ред. В. Е. Леонова. – Херсон : ХГМА, 2016. – 348 с.: ил.81.

2. Леонов В. Е., Усова Н. В., Данилов А. П. / Очистка отработанных газов энергосиловых установок / В. Е. Леонов, Н. В. Усова, А. П. Данилов // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2007. - № 1. - С. 77-79. - Библиогр.: 2 назв. - рус.

3. Леонов В. Е., Бродский С. Я., Евстафьев В. А., Кафаров В. В., Четкин В. А. / Системный анализ процессов получения синтетических жидких топлив. / В. Е. Леонов, С. Я. Бродский, В. А. Евстафьев, В. В. Кафаров, В. А. Четкин // Под редакцией проф. Леонова В. Е. – М.: Химия, 1994, 272 с.

4. Леонов В. Е. / Теоретические основы защиты окружающей среды. Учебное пособие. / В. Е. Леонов. – Новосибирск: НГАВТ. – 2003. – 178 с.

5. Электронный ресурс: <http://prometeus.nsc.ru/patent/1999/26.ssi>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРОЩЕННЫХ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ КАК НЕОБХОДИМОСТЬ ВВЕДЕНИЯ В ОСНОВУ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИКЛАДНОГО МАГНЕТИЗМА

*Малыгин Б.В., Короленко Е.А., Короленко А.В., Погорлецкий Д.С.*

*Херсонская государственная морская академия*

(Украина)

**Введение.** Для удобства понятия магнитного поля, его способностей, возможностей и необходимости использования человеком при достижении поставленных целей, возникает необходимость в использовании упрощенной системы величин – первоосновы математики и физики его природы. Только при четком восприятии сущности и взаимосвязи этих понятий можно целенаправленно управлять магнитными потоками.

В настоящее время магнитное поле – это наиболее загадочное понятие для человечества. Особенно сложно воспринимается в сфере жизнедеятельности человека масштабный прикладной магнетизм. Оставив в покое сложнейшее физико-математическое изложение магнитного поля, мы попытались рассмотреть его суть с точки зрения простейшей математики Пространства ( $V_m$ ) и Времени ( $T_m$ ). Используя такой метод, воспринимаемое умом магнитное поле, станет понятным равно как и то, как использовать его возможности в технике машиностроения, транспорта, флота и т.п. Это даст возможность расширить способность и активность человека в управлении промышленностью за счет использования магнетизма.

**Актуальность исследований.** Разработка и внедрение простых, экономичных и высокопроизводительных нетрадиционных технологий и установок, например, таких как прикладной магнетизм минимум в 1,5...2,0 раза повысит ресурс работы оборудования различных отраслей промышленности (машино-, судостроение и др.), а также откроет возможности для решения других не менее актуальных для Украины задач.

**Постановка задачи.** Провести обобщение теоретических и экспериментальных исследований в области магнитной обработки для выбора технологии, оборудования и проектирования автоматизированных устройств магнитно-импульсного упрочнения с целью повышения ресурса и надежности обрабатываемых устройств.

**Результаты исследований.** Исходя из поставленных задач, стало необходимым расширить восприятие таких простых и понятных постулатов, как: точка; ноль; прямая (кривая); кривизна; плоскость (поверхность); объем (пространство); вещество (масса); волна (поле); вектор-скаляр; бесконечность-ноль; поле-энергия и т.п. Рассмотрев математическую взаимосвязь этих понятий с бинарных позиций векторной алгебры (скаляр-вектор), удобно воспринимать все другие параметры физики Природы, в том числе магнитное поле и его действие на изделия [1].

В Природе, Космосе, Вселенной и на Земле (т.е. Мега-, Макро- и Микромир) существует дуализм. Это философия Природы и первооснова структуры Вселенной – дискретно-делимая вечна в движении ( $V^0 m$ ) и бесконечная во времени ( $t^0$ ) и пространстве [ $\Pi = \varphi(x, y, z)$ ]. То есть  $M^0 \neq \text{const}$ ,  $v^0 \neq \text{const}$ ,  $\tau^0 \neq \text{const}$ , т.к. все дискретно меняется [2].

Примеров сколько угодно: вещество – антивещество, электрон – позитрон, теплота – холод и многое другое. В математике дуализм принято рассматривать как: ноль («0») и бесконечность ( $\infty$ ), вектор ( $\vec{R}$ ) и скаляр ( $[R]$ ), интеграл ( $\int x dx$ ) и дифференциал ( $dx, dy, dz$ ) и т.п. С этих позиций окажем простую взаимосвязь указанных выше величин, при помощи этого удобно воспринимать понятие – поля  $\uparrow \Pi_0$  вообще и магнитного поля  $\uparrow \Pi_m$  в частности. В математике Пространство, как и Поле часто воспринимаются иллюзорно, как объект, не имеющий физической сущности. Это постулаты условного «абсолюта»: понятие Ноль «0» и понятие Бесконечность  $\infty$ . Схема иллюстрации этих понятий показана на рис. 1.

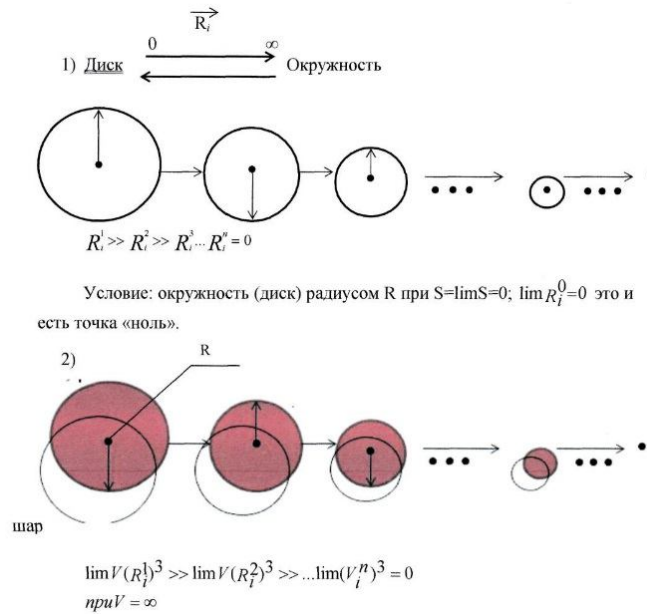


Рисунок 1 – Демонстрация понятия точки «0» ноль-нуль-вектор  $\vec{0}$  на поверхности  $S_i^0(1)$  и в объеме  $V_i^0$  при  $\vec{R} = \langle\infty\rangle$ ,  $T_A = \langle 0 \rangle$

Анализируя рис. 1, можно убедиться, что вышеизложенные понятия удобны для абстракций, но тормозят восприятие и развитие возможностей магнитного поля для цивилизации – прикладной магнетизм.

Поскольку понятие точки переходит в более сложные понятия – прямая, кривая, плоскость, кривизна, круг, шар, куб, поле, пространство и т.п., возникла необходимость рассмотреть эти величины упрощенно «в реалиях».

Гипотетически любые величины и понятия могут меняться: от нуля «0» и до бесконечности  $\infty$ . То есть этот же дуализм в абстракции, далекой от реальности.

Поскольку векторная величина (вектор  $\vec{X}_i$ ) – это всякая величина, обладающая направлением  $\rightarrow$ , а скалярная величина (скаляр  $X_i$ ) – это величина не обладающая направлением:  $\rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow = 0$ . Поэтому, при помощи векторной алгебры можно упрощенно воспринимать взаимосвязь указанных выше величин. Следовательно, можно аналитически управлять возможностью поля (магнитного поля), т.е. приспособить физику действия магнитного поля для нужд человека. Для реалии предположим, что точка (любая!) – это микроскопический «круг», «диск», «шар», у которых радиус-вектор ( $\vec{R}_i$ ) или нуль-вектор равен нулю:

$$\lim (\vec{R}_i) \rightarrow 0 = \langle 0 \rangle \text{ (точка!)} \quad (1)$$

То есть «ноль» – это условная, гипотетическая величина, при которой вектор – скаляр (дуализм!) нейтрализуют друг друга.

$$[R_M \leftrightarrow (R_M)] \quad (2)$$

Величина (2) – это иллюзорно ничтожно малая величина. Радиус-вектор  $\vec{R}$  уменьшается и при  $\infty$  превращается в ноль (ни во что!).

Для инженеров, техников и практиков-специалистов в области машиностроения, понятие «ноль» следует понимать как точку, микро круг, микро шар, с бесконечно малым радиусом  $\lim \vec{R}_M \rightarrow 0, \vec{R}_M = 0$  при  $\tau = \infty$ . Через понятие «точка» удобно воспринимаются такие величины: как прямая (AB), кривая (h), поверхность  $S_R$ ; плоскость  $S_L$ , а затем и поле

$\vec{\Pi}$  или  $\vec{RW}$ . Обозначение поля  $\vec{\Pi}$  или  $\vec{RW}$  – это вращающийся переменный вектор  $R_M$  в пространстве  $V$ . При  $R_1^\infty$  меняющийся по осям  $x, y, z$  от 0 до  $\infty$ .

Тогда скорость изменения ( $\vec{VR}$ ) вектора в пространстве  $V_M$ :

$$\vec{R}I = R_i[\Psi] \quad (3)$$

$$\begin{matrix} \infty & R_i \\ 0 & R_0 \end{matrix}$$

есть нечто иное как волна  $\Psi$ , а торможение – переход  $\vec{R}_0$  в  $\vec{R}_i$   $ghbV_i = V_0 = 0$  и  $\tau = \tau_i$  или пересечение (в плоскости или объеме) дает новую физическую величину, реальную величину статической (потенциальной) энергии, такую как массу  $m_i$ . Т.е. возможность в пространстве  $V_M$  взаимоперехода  $\psi \leftrightarrow m$ , волны в массу  $\psi = \vec{\varphi}(R_i) \leftrightarrow m = \vec{f}(R_i)$  указывают на взаимопереход волны (вернее энергии волны) в массу (энергию массы). Во Вселенной эти процессы происходят постоянно, непрерывно, но дискретно!

При жизнедеятельности человека, особенно в машиностроении это возникает в конкретных металлических изделиях, участках (зернах) с некомпенсированной энергией (рис. 2).

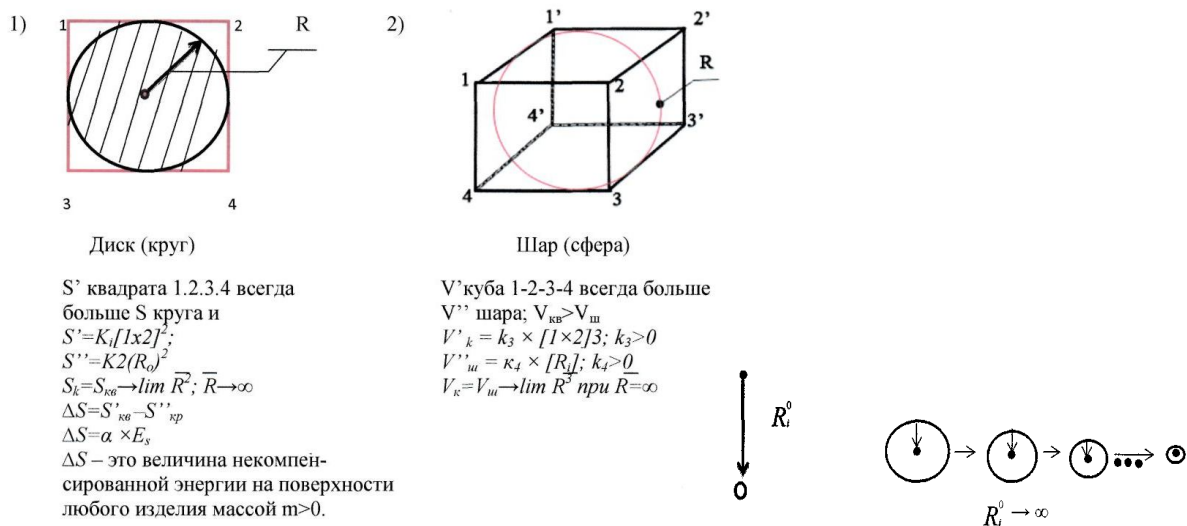


Рисунок 2 – Демонстрация возникновения некомпенсированной энергии (концентрации напряжений  $\Delta S$ ) на поверхности (1) и в объеме (2) изделия (детали машины)

При анализе рис. 2, можно отметить, что в таких участках металлических изделий (дискретных зернах) возникают концентрации напряжений, снижающие ресурс как деталей машин, так и любых изделий в обиходе жизнедеятельности человека. Т.е. на плоскости точка «0» есть «условный диск» радиусом  $R$  при  $\lim R \rightarrow 0 R_0 = 0$ .

Следовательно, удорожание и досрочный выход из строя изделий связано с релаксацией внутренних, монтажных и усталостных концентраций напряжений, локализацией и перераспределением избыточной энергии в кристаллитах твердого тела, вследствие чего нарушается термодинамическая и механическая стойкость деталей или конструкций. Проведенные исследования с использованием направленных магнитных полей на проблемные участки металлических изделий показали снижение напряжений в данных участках и изделиях в целом, что повышает их ресурс и работоспособность, а также продлевает срок их службы в 1,5–3 раза [3, 4, 5].

**Выводы.** Таким образом, универсальным способом «бесконтактного разассигнования» некомпенсированной избыточной энергии вещества локально сконцентрированной в микро-участках и кристаллитах материала конкретных деталей, является магнитно-импульсная обработка. Такой метод обработки отличается высокой оперативностью, безопасностью, экономичностью и экологичностью технологий

«бесконтактного» упрочнения изделий и открывает новое направление в решении такой народно-хозяйственной задачи страны как удешевление производства любых механизмов, и следовательно, приводит к ресурсосбережению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малыгин Б.В. Монография. «Магнитотерапевтические аппараты для реабилитации персонала транспорта» (Магнитотерапия – технология управления процессом). – Херсон. – Изд. ХДМА. – 2012. – с.138.
2. Rupp M., Nissen M. Power turbines for an energy bonus from diesel engines // Aspect of ABB Turbochargers. Eight articles published in ABB Review 1994/1995 – № CH-Z 3020 95 E. – 1995, p.p. 22-27.
3. Богданов А.В., Малыгин Б.В. Возможности магнитно-импульсной обработки топлива. – научная дискуссия: вопросы технических наук материалы II Международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы технических наук» (12 сентября 2012г.). – Москва: Изд-во «Международный центр науки и образования», 2012. – С. 57-67.
4. Муровцев Ю.Л., Муровцев Д. Ю. Основы автоматики и системы автоматического управления. – Тамбов. Изд-во ТГТУ., 2009 – ч II – с. 128.
5. Овсянников М.К., Петухов В. А. Судовые автоматизированные энергетические установки. – М.: Транспорт, 1989.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Нагорный В.В., Дядюра К.А., Грабко Р.В.*  
*Сумский государственный университет*  
(Украина)

**Введение.** Обеспечение качества изделий при эксплуатации немислимо без знания их фактического ресурса. Наличие данной информации позволяет отказаться от эксплуатации изделий согласно среднестатистическому по природе графику планово-предупредительных ремонтов и перейти на применение машины по ее фактическому состоянию. Информация о фактическом ресурсе составляет основу современной технической диагностики машин, направленной на выявление дефектов на как можно ранней стадии их развития, задолго до появления возникающих по их причине отказов. Решение этой задачи невозможно без применения прогрессивных методов прогнозирования технического состояния изделий. Прогнозирование ресурса позволяет:

- определять момент своевременной и действительно необходимой остановки подконтрольного объекта на ремонт;
- целенаправленно регулировать длительность межремонтного периода, исключая внезапные аварийные установки;
- сокращать время ремонтных простоев за счет предварительно полученной информации о причине остановки на ремонт.

Цель прогнозирования достигается путем определения по принятому от изделия информационному сигналу степени работоспособности (степени критичности технического состояния) изделия. Степень критичности в свою очередь тесно коррелирует со степенью исчерпания (выработки) ресурса изделия, равного наработке изделия до момента достижения им своего предельно допустимого состояния.

**Актуальность исследований.** Следует отметить, что принятый в настоящее время метод прогнозирования ресурса, заключающийся в экстраполяции графика аналитической зависимости (прогнозной модели) до момента пересечения с предельно допустимым уровнем, генерируемого изделием информационного сигнала, далек от совершенства. Это объясняется тем, что сведения о предельном уровне либо отсутствуют, либо распространяется на достаточно ограниченный класс изделий, для которых подобные данные имеются в виде, например, «Норм виброактивности». Однако, наличие «Норм...» не гарантирует от ошибок прогнозирования ресурса даже для подобных изделий по той причине, что эти нормы были разработаны для машин, существенно отличающихся от современных по удельной нагрузке, конструкционным материалам, технологии изготовления и т.п. В результате этого динамическое поведение современных машин с недостаточной степенью достоверности описывается действующими «Нормами...». По этой причине в процессе решения данной проблемы пришлось отказаться от применения каких-либо нормативных уровней информационного сигнала и сосредоточиться на анализе поведения тренда информационного сигнала, который всегда сопровождает работу изделия. При этом физическая природа сигнала не играет существенной роли. Главное требование, предъявляемое к сигналу, касается степени его чувствительности к изменению с течением времени поведения изделия, обусловленного изменением его технического состояния. Суть метода заключается в том, что по результатам регулярного контроля информационного сигнала составляется его тренд, являющийся исходным материалом для параметрической идентификации модели тренда (далее по тексту прогнозной модели). Модель составлена таким образом, что численное значение искомого ресурса подконтрольного объекта рассчитывается на основе коэффициентов прогнозной модели, определяемых в процессе указанной идентификации. При этом сама прогнозная модель с высокой степенью статистической значимости и достоверности описывает поведение трендов различных по физической природе информационных сигналов. Данное

обстоятельство обеспечивает соответственно высокую степень статистической значимости и достоверности определения коэффициентов модели, а, следовательно, и искомого ресурса.

**Постановка задачи.** Вопросами теории и практики прогнозирования в широком смысле этого слова занимается наука, называемая *прогностикой* (от греч. *prógnosis* – предвидение, предсказание), и которая является наукой о законах и способах разработки прогнозов. К основным задачам данной науки можно отнести развитие специальной методологии прогнозирования с целью повышения эффективности методов и техники разработки прогнозов. Решение проблемы контроля состояния механических систем является достаточно сложной технической задачей, так как, с одной стороны, процесс функционирования машины носит весьма сложный характер, трудно поддающийся математическому описанию, а с другой – для обеспечения оперативности диагностирования ее технического состояния необходима модель с минимумом параметров. Одними из наиболее эффективных являются прогнозные модели в виде систем уравнений. Задача прогнозирования заключается в изучении характера изменений анализируемых показателей, т. е. исследовании их динамики. Эта задача решается при помощи анализа рядов динамики. Ряд динамики (или динамический ряд) представляет собой ряд расположенных в хронологической последовательности числовых значений анализируемого показателя, характеризующего изменение состояния объекта наблюдения. В случае если эти изменения происходят во времени, то динамический ряд называется временным рядом. Таким образом, прогнозирование поведения механической системы, коэффициенты которой, как правило, доподлинно неизвестны, предлагается заменить прогнозированием динамики порождаемого ею временного ряда.

*Цель создания модели* прогнозирования состоит в получении такой модели, для которой среднее абсолютное отклонение истинного значения от прогнозируемого стремится к минимальному для заданного времени упреждения. После того, как модель прогнозирования временного ряда определена, требуется вычислить будущие значения временного ряда, а также их доверительные интервалы.

В поведении временного ряда выявляют две основные тенденции – *тренд* и *колебания относительно тренда*. Колебания относительно тренда могут носить случайный или детерминированный характер. В соответствии с этим методы анализа или прогнозирования временных рядов делятся на случайные (статистические) и детерминированные. При статистическом анализе определяют статистические коэффициенты ряда: *математическое ожидание, среднеквадратическую величину и другие коэффициенты случайного процесса*. При детерминированном анализе определяется вид аналитической зависимости, график которой наиболее близко описывает изменение во времени тренда. Для определения параметров аналитической зависимости, как правило, применяется метод наименьшего квадратического отклонения (*МНК*). Качество описания тренда количественно характеризуется с помощью ряда критериев – Стьюдента, Фишера и др. На практике два метода анализа временного ряда объединяют, описывая тренд аналитической зависимостью с детерминированными параметрами, а прогнозируемую величину ряда дополняют граничными значениями, охватывающими её с определённой доверительной вероятностью. Граничные значения вычисляются по результатам статистического анализа случайных отклонений ряда от тренда.

**Результаты исследования.** Типичная кривая, описывающая механический износ трущихся пар приведена на рис. 1 и характеризуется тремя периодами: периодом приработки (участок *OA*), периодом нормального износа (стационарный участок *AB*) и периодом катастрофического износа (участок возрастания *BC*). Как показывает практика и литературные данные, тренд информационного сигнала, сопровождающего процесс работы механической системы, следует характеру данной кривой. Опишем аналитически подобное поведение тренда информационного сигнала. Рассмотрим отдельно (рис. 2)



приведенные на рис. 1 стационарный участок  $AB$  и участок возрастания  $BC$  тренда информационного сигнала.

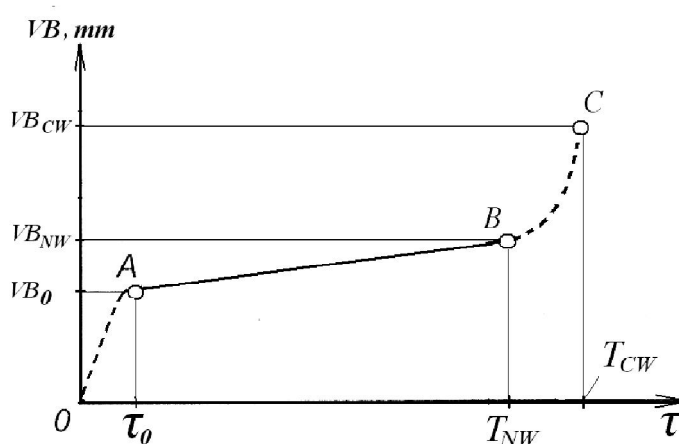


Рисунок 1 – Типовая кривая механического износа трущихся пар

Участок приработки  $OA$  из-за его незначительной по сравнению со стационарным участком  $AB$  длительностью не рассматривается. Для упрощения математических выкладок указанные участки будем представлять в виде двух отрезков прямых, начинающихся в точке  $A$ . На обоих моделируемых участках тренда информационного сигнала серым цветом выделены геометрически подобные треугольники. Треугольники №1 соответствуют участку аппроксимации (сплошная линия), а №2 – участку экстраполяции (пунктир). Преобразуем приведенные на рисунке пропорции, полученные на основе подобия этих треугольников, в уравнения (1) для стационарного участка тренда (рис. 2 а) и – (2) для участка возрастания тренда (рис. 2 б). Одновременно для общности получаемых выражений и абстрагирования от конкретной физической природы информационного сигнала в формулах (1) и (2) осуществлен переход к безразмерному виду параметра  $\bar{E}$ . Безразмерность обеспечивается путем нормирования текущей величины информационного сигнала  $E_i$  его первоначальным значением  $E_0$ ,

зарегистрированным при первом измерении  $\left(\bar{E} = \frac{E_i}{E_0}\right)$ .

$$\bar{E}_i = \left(1 + \eta \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_S - \tau_i}\right)^\gamma\right), \quad (1)$$

где  $\eta = \bar{E}_S^{ext} - \bar{E}_i, \eta < 0$ ,

$$\bar{E}_i = \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{\tau_i - \tau_0}{T_{AS} - \tau_i}\right)^\beta\right), \quad (2)$$

где  $\alpha = \bar{E}_{AS}^{ext} - \bar{E}_i, \alpha > 0$ .

Параметры  $\bar{E}_S^{ext}$  и  $\bar{E}_{AS}^{ext}$  характеризуют, соответственно, величины информационных параметров, которые гипотетически могут быть реализованы при наработке машины на стационарном участке, равной значению  $T_S$ , а на участке возрастания – значению  $T_{AS}$ . В указанные выражения введены так же показатели степеней, что позволит учесть неминуемо проявляющуюся на практике нелинейность тренда. С точки зрения математики это увеличивает число степеней свободы (количество параметров прогнозной модели) и тем самым повышает точность аппроксимации графиком модели фактического тренда информационного сигнала, а, следовательно, увеличивает достоверность определения коэффициентов модели при ее идентификации.

Сложив (2.1) и (2.2), и введя весовой коэффициент  $\psi$ , характеризующий вклад каждого из слагаемых в их сумму, получим формулу для прогнозной модели (2.3) тренда информационного сигнала:

$$\bar{E} = \left[ \psi \left( 1 + \eta \cdot \left( \frac{\tau - \tau_0}{T_S - \tau} \right)^\gamma \right) + (1 - \psi) \left( 1 + \alpha \cdot \left( \frac{\tau - \tau_0}{T_{AS} - \tau} \right)^\beta \right) \right]; \quad (3)$$

где  $T_S, T_{AS}, \psi, \alpha, \beta, \gamma, \eta$  – коэффициенты, определяемые в процессе идентификации прогнозной модели;  $\tau$  – аргумент прогнозной модели.

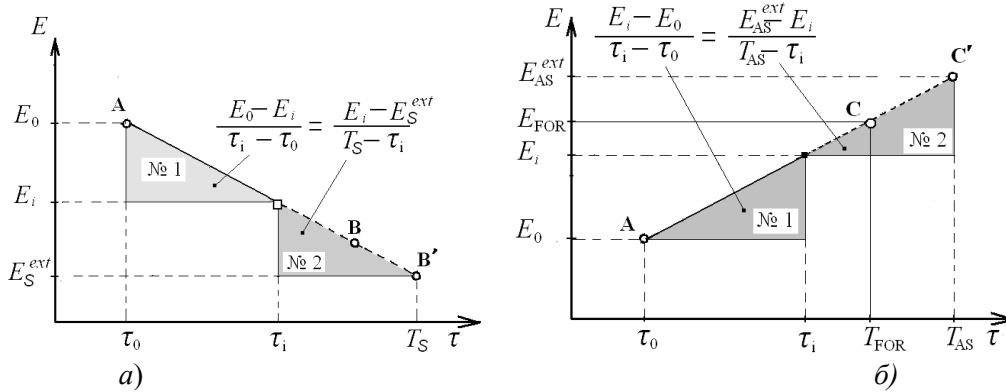


Рисунок 2 – Тренд информационного сигнала  $E$ :  
а) стационарный участок; б) участок возрастания

Прогнозная модель (3) представляет сумму двух дробно-рациональных функций. В практике прогнозирования эти функции используют для аппроксимации резко изменяющихся по величине экспериментальных данных. Для реализации этого свойства дробно-рациональной функции в знаменатель представленных в прогнозной модели (3) дробей введены коэффициенты  $T_S$  и  $T_{AS}$ . При равенстве аргумента  $\tau$  какому-либо из этих коэффициентов ( $\tau = T_S$  или  $\tau = T_{AS}$ ) соответствующая дробь, входящая в выражение (3), претерпевает разрыв. Это свойство прогнозной модели обеспечивает ее чувствительность к поведению тренда информационного сигнала, прогнозируя момент его резкого изменения (убывания или возрастания), что, в свою очередь, свидетельствует о наступлении недопустимого состояния подконтрольного объекта.

Процедура прогнозирования осуществляется пошагово, начиная с седьмого шага по времени, что объясняется количеством искомых параметров прогнозной модели (3), равных семи. К этому моменту временной ряд, представляющий фактический тренд информационного сигнала, будет содержать минимум параметров, необходимых для математически корректной идентификации прогнозной модели. Следует отметить, что в практике прогнозирования ресурса возможна недостаточная повторяемость результатов (недостаточная устойчивость прогноза), наблюдаемая на протяжении подконтрольного периода. Одной из причин нестабильности может являться, например, неоднородность структуры материала контактирующих трущихся пар, колебание нагрузки и т.п.

**Выводы.** Решение проблемы прогнозирования ресурса современных механических систем было найдено на пути замены информации о предельно допустимом уровне сведениями о коэффициентах прогнозной модели, описывающей тренд информационного сигнала, генерируемого изделием в течение всего наблюдаемого (межремонтного) периода. Информация о коэффициентах модели, в число которых включены коэффициенты, используемые для определения искомого ресурса, находятся при параметрической идентификации модели по результатам контроля фактического тренда информационного сигнала. При прогнозировании физическая природа информационного сигнала не играет существенной роли, т.к. главным требованием к сигналу является его способность адекватно отражать изменение поведения механической системы по мере изменения (деградации) ее технического состояния.

## АНАЛИЗ ГИДРОВОЛНОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Настасенко В.А.*

*Херсонская государственная морская академия  
(Украина)*

**Введение.** Работа относится к инновациям в сфере альтернативной энергетики на транспортном флоте и прибрежных гидроволновых энергетических систем.

Гидроволновой энергетике пока еще уделяется недостаточное внимание, поэтому анализ технико-экономических возможностей известных и перспективных систем является актуальной и важной задачей, имеющей большое практическое и теоретическое значение. Решение данной проблемы составляет главную цель выполняемой работы.

**Анализ известных гидроволновых энергетических систем.** Исходной можно считать построенную около 140 лет назад в Ошен-Гроув (110 км южнее Нью-Йорка) прибрежную волновую энергетическую установку [1], которая имела вертикально подвешенные на горизонтальной оси качаемые волнами платформы. Их верхняя часть через стержень приводила в движение поршень горизонтального насоса для подъема морской воды в водонапорную башню, и направляли ее для орошения улиц. Современный вариант такой насосной станции имеет погруженную в воду качающуюся платформу [2].

Развитием данных систем являются поплавковые гидроволновые станции профессора Сегена (лаборатория Subsea Technology of Corpe, Бразилия), у которых выдавливаемые поршнем воздух или пресная вода через сопло вращают рабочее лопастное колесо, связанное с электрогенератором [3]. Аналогичные системы вращения рабочих колес имеют пневмобуи проф. Массуды (Япония) и Национальной инженерной лаборатории (NEL, Великобритания) [1]. Современные конструкции гидроволновых рычажных насосных систем, пневмостанций и пневмобуев [4, 5] весьма разнообразны.

Однако наличие рычажных систем и большое количество преобразований энергии подъема волн в электрическую, существенно снижает их КПД. Кроме того, кто из моряков поверит, что эти системы прямого контакта с волнами выживут после сильного шторма?

Преобразование колебаний платформ в электрический ток за 1 цикл обеспечивает система, показанная в работе [1], развитием которой являются качающиеся гидроволновые генераторы профессора Настасенко [6], установленные в проеме корпуса для движения волн.

Однако прерывистые колебательные движения с прямым и обратным возбуждением и протеканием в обмотках электрического тока, более целесообразно заменить вращательными системами, с движением этих процессов в одном направлении, что предложено профессором Настасенко в патенте [6]. Использование поворотных лопастей водяных колес, с упором их в раму при рабочем вращении и свободном подвесе при встречном вращении, уменьшает их сопротивление потоку и повышает КПД системы. При чрезмерных скоростях движения волн в шторм, проемы для их подвода к водяным колесам закрываются поворотными створками.

Возможно размещение данных систем в прибрежных дамбах и защитных сооружениях портов, однако в плавучем исполнении улучшается возможность ориентации системы при изменении направления движения волн. Но значительное сопротивление водяных колес встречному потоку волн, которое растет с увеличением их напора, усложняет удержание прибрежной плавучей станции якорями. Поскольку аналогичные недостатки имеет система с размещенными на оси с угловым сдвигом полыми роликами, последовательно заполняемые водой в их 3-х секторах при закрывании и открывании в них заслонок, что создает дисбаланс водных масс, ведущий к вращению роликов, которое далее передается электрогенератору [7].

По сравнению с предыдущей системой [6], данная система менее защищена в шторм, а энергетический потенциал ее ниже, поскольку в ней используется не полная кинетическая энергия поступательного движения волн, а лишь дисбаланс масс воды, как потенциальная энергия, при этом скорость вращения роликов также снижается. Износ поворотных лопастей водяных колес [6] адекватен износу заслонок поворотных роликов [7], а принудительное открывание-закрывание заслонок усложняет систему и снижает ее надежность. Усложняется также ее ремонт за счет размещения заслонок внутри роликов.

Кроме систем для преобразования энергии поступательного движения волн, получили развитие системы преобразования энергии подъема и опускания волн, первыми из которых можно считать «утку» профессора Солтера и контурный плот Коккерелля, созданных и испытанных в 70-е годы XX века в Великобритании [1]. «Утки» Солтера требуют больших размеров поплавка (10...15 м) и сложной формы, поэтому не получили развития, а плоты Коккерелля выродились в систему «труб-червяков» [8]. При этом используются поршневые насосы, аналогичные предыдущим, что свидетельствует об инерции мышления создателей подобных систем. Для достижения мощности 100 МВт требуется комплекс из 3-х десятков поплавков, занимающая значительную площадь, что исключает возможность судоходства в этих зонах и опасно для судов, терпящих бедствие от потери хода в этой зоне.

Фактически повторяют принцип действия плота Коккерелля и его недостатки гидроволновые электростанции, разработанные компанией Columbia Power Technologies, США [9]. Их отличием является прямое преобразование поворота поплавков в электрический ток за счет оснащения их электромагнитными системами роторного и статорного типов. Для повышения мощности установки делают высотой 5 м. Недостатком данных систем является малая скорость относительного движения ротора и статора, что исключает возможность применения типовых электрогенераторов. Однако куда «упрыгает» станция под действием волн, неясно, поэтому их существование также возможно лишь до первого сильного шторма.

#### **Разработка гидроволновых электроэнергетических систем проф. Настасенко.**

Особенностью гидроволновой электроэнергетической системы 4-го поколения проф. Настасенко является свободная установка внутри корпуса плавающего средства на опорные ролики дугевого сектора с грузом, что обеспечивает ему устойчивую ориентацию к центру Земли и относительное качение по нему роликов, связанных с электрогенераторами [10, 11]. Энергетический потенциал такой системы зависит от массы груза, радиуса сектора и углов качания корпуса [12]. Поскольку в прибрежных электростанциях грузом может быть песок или бетон, плотность которых в 5 раз выше плотности воды, используемой в известных гидроволновых системах, поэтому их энергетический потенциал повышается в 5 раз.

**Общие выводы по работе.** Прибрежные гидроволновые электроэнергетические системы 4-го поколения проф. Настасенко обладают конструкторско-технологической простотой, надежностью и наиболее высоким энергетическим потенциалом, поэтому рекомендуются для широкого внедрения.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вершинский Н.В. Энергия океана. М.: Наука, 1986. – 152 с.
2. Электронный ресурс Hydro\_Wave\_Energy/Ouster\_Wave\_Energy
3. Электронный ресурс /paulo@lts.coppe.ufrj.br
4. Электронный ресурс /Ocean University of China
5. Электронный ресурс /Eco Wave Power (EWP) Israel's.

6. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2012125506/20 от 19.06.12 МПК В 63 Н 9/00. Прибрежная гидроволновая электростанция. Автор изобретения и владелец патента Настасенко В.А., решение о выдаче патента от 17.03.17.
7. Электронный ресурс /Energy-absorbing breakwaters
8. Электронный ресурс Pelamis Wave Power Ltd. enquiries@pelamiswave.com
9. Электронный ресурс info@oceanpowertech.com
10. Патент Российской Федерации на изобретение № **2603813** МПК В 63 Н 9/00 Судно с гидроволновой энергетической установкой Заявка № 2014103004/20 от 28.01.14. Автор изобретения и владелец патента Настасенко В.А. //БИ № 33 от 27.11.16.
11. Заявка на патент Российской Федерации на изобретение № 2014103002/20 от 28.01.14 МПК МПК В 63 Н 9/00 Плавающая прибрежная гидроволновая электростанция. Автор изобретения и владелец патента Настасенко В.А., решение о выдаче патента от 19.02.17.
12. Настасенко В.О. Блах І. В. Сучасний стан суднової гідрохвильової енергетики та його аналіз / Науковий вісник ХДМА: науковий журнал. –Херсон, ХДМА, 2015. №.1(12). -с.58-65.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРАНОВОГО СУДНА БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

**Несин Д.Ю.**

*Центральное конструкторское бюро «Коралл», г. Севастополь;*

**Терлыч С.В.**

*Херсонский филиал Национального университета кораблестроения*

*имени адмирала С.И. Макарова*

*(Украина)*

**Введение и анализ исходных данных.** Наиболее характерной особенностью процесса проектирования судов является поиск компромиссных решений, обеспечивающих достижение наивысшей эффективности судна и выполнение многочисленных и противоречивых требований к его качествам. Это является главным принципом системной оптимизации судов, при этом оптимизация есть неперемное условие разработки проекта любого судна, задачи оптимизации решаются на всех стадиях и уровнях его проектирования [1].

Теория проектирования рассматривает выбор проектных решений на уровне судна в целом. Основным в теории проектирования судов является вариантный метод оптимизации. В основу вариантного метода положен выбор наилучшего варианта судна из ряда заранее рассчитанных вариантов с систематически меняющимися элементами. Подобные ряды дают возможность построить графические зависимости величин, характеризующие различные качества судна и его эффективность, от оптимизируемых элементов. Полная реализация принципов системного подхода к проектированию, требующих подчинения проектирования всех подсистем и технических средств единым требованиям оптимизации судна в целом, возможна только при одновременной оптимизации элементов судна и его подсистем в рамках единой задачи. Условимся набор элементов судна, определяемых в начальной стадии разработки проекта, называть вектором элементов  $x = \{x_i\}$ ,  $i \in I$ , где  $I$  – множество элементов. Будем включать в него главные размерения, коэффициенты полноты, количество твердого и жидкого балласта и др. Аналогично введем вектор  $x_k = \{x_{kj}\}$  – вектор переменных, характеризующих  $k$ -подсистему судна ( $k \in K$ , где  $K$  – множество подсистем,  $j \in J_k$ , множество переменных  $k$ -подсистемы). Назовем некоторые из подсистем: корпус, энергетическая и электроэнергетическая установки, гидродинамический комплекс, устройства, системы и др.

Если для количественной оценки эффективности проектируемого судна есть функция  $f(x, x_k)$  а качества судна (плавучесть, вместимость, остойчивость и др.) и его подсистем и технических средств можно оценить с помощью функций  $g_s(x, x_k)$  и  $g_{sk}(x, x_k)$ , соответственно, – задачу проектирования оптимального судна можно записать в следующем виде, определить  $x$  и  $x_k$ , при которых:

$$f(x, x_k) \rightarrow \min(\max) \quad (1)$$

$$g_s(x, x_k) \geq b_s, \quad \forall s \in S, \quad (2)$$

$$g_{sk}(x, x_k) \geq b_{sk}, \quad \forall s \in S_k, \quad k \in K, \quad (3)$$

$$x_{\max} \geq x \geq x_{\min}, \quad (4)$$

$$x_{k \max} \geq x_k \geq x_{k \min}, \quad \forall k \in K, \quad (5)$$

где:  $b_s$ ,  $b_{sk}$  – нормы и уровни допустимых значений тех или иных качеств;  $S$ ,  $S_k$  – множества требований к качествам судна и его подсистем.

Задачу (1-5) решать как единую нецелесообразно [1]. Практика проектирования судов, как и других сложных объектов, пришла к отдельному проектированию подсистем. Фактически решается задача определения  $x$ , обеспечивающего:

$$f(x) \rightarrow \min (\max) \quad (6)$$

$$g_s(x) \geq b_s, \quad \forall s \in S_1, \quad (7)$$

$$g_s(x) \geq b_s, \quad \forall s \in S_2, \quad (8)$$

$$x_{\max} \geq x \geq x_{\min} \quad (9)$$

$S_1, S_2$  – подмножества ограничений, выполненных в виде строгих равенств и неравенств ( $S_1 \cup S_2 = S$ ). Применительно к крановым судам (КС) обычно принимают [2, 3]:

$$s \in S_1 : \Delta - \sum_i P_i = 0 \quad (10)$$

$$s \in S_2 : M + M_Q - g\Delta h[\theta] = 0 \quad (11)$$

где:  $\Delta$  – полное водоизмещение кранового судна в рабочем положении;  $\sum_i P_i$  – сумма весов статей нагрузки;  $M$  – расчетный кренящий момент [4];  $M_Q$  – максимальный грузовой момент от груза на гаке главного подъема при работе крана [2, 4];  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – исправленная метацентрическая высота (с поправкой на свободные поверхности);  $[\theta]$  – критическое значение угла крена [4].

С учетом того, что  $\Delta = \rho C_B L B d$  условия (10, 11) можно переписать как:

$$s \in S_1 : \gamma C_B L B d - \sum_i P_i = 0 \quad (12)$$

$$s \in S_2 : M + M_Q - \gamma C_B L B d h[\theta] = 0$$

На ранних стадиях искомые  $x = \{L, B, d, D, C_B\}$ .  $\gamma$  – удельный вес морской воды;  $\rho$  – плотность морской воды  $C_B$  – коэффициент общей полноты соответствующий рабочему положению кранового судна;  $L, B, d, D$  – расчетные длина, ширина, осадка и высота корпуса судна, соответственно.

**Заключение и перспективы дальнейших разработок.** В статье представлена математическая модель кранового судна большой грузоподъемности с полноповоротным верхним строением, которая, как показала верификация, позволяет с хорошей степенью точности определить значения основных элементов судна, при наличии данных по прототипам, в случае когда нужно определить элементы судна отличающегося от прототипа проектными характеристиками, например, грузоподъемностью ВС. Для использования данной модели при системной оптимизации КС необходимо введение дополнительных ограничительных условий. Дальнейшие исследования авторов будут направлены на введение в качестве такого ограничительного условия требования к ограничению начальной метацентрической высоты, которая является одним из определяющих факторов остойчивости при обрыве груза [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пашин, В. М. Оптимизация судов/ В. М. Пашин – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.
2. Воеводин, Н. Ф. Основы проектирования универсальных плавучих кранов /

- Н. Ф. Воеводин – М.: Издательство Министерства речного флота СССР, 1950. – 362 с.
3. Новиков, А. И. Режимы работы и годовая производительность плавучих кранов/ А. И. Новиков – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2003. – 228 с.
4. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 2. – Київ.: Регістр судноплавства Україн, 2011. – 394 с.
5. Ногид, Л. М. Проектирование морских судов/ Л. М. Ногид – Л.: Судостроение, 1976. – 208 с.
6. Construction Vessels of the World incorporating Diving Support Vessels of the World – Led bury, England: OPL (Oilfield Publication Limited), 96/7 edition. – 548 p., ill.
7. Toisa Proteus: offshore support vessel with heavy-lift capability/ M. J. Staunton-Lambert//The Royal Institution of Naval Architects. – 2002 – P. 123-124.
8. Sapura 3000: huge crane ship/pipelayer/T. Knaggs//The Royal Institution of Naval Architects. – 2007 – P. 98-99.
9. OSA Goliath: Latest Coastline Group addition/N. Savvides//The Royal Institution of Naval Architects. – 2009 – P. 88-89.
10. Oleg Strashnov: Latest Gusto design heavy-lift vessel/M. J. Staunton-Lambert//The Royal Institution of Naval Architects. – 2010 – P. 88-89.



## ГІДРОАВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ ОБЛАДНАНА ГІДРАВЛІЧНИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ

*Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В.*

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
(Україна)*

**Вступ.** Гідравлічний привод одержав широке застосування на підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх і меліоративних машинах. Цьому сприяють переваги приводів такого типу, основними з яких є плавність і рівномірність руху робочих органів, можливість забезпечення великих передатних відношень, можливість безступеневого регулювання швидкостей у широкому діапазоні, простота перетворення обертального руху у зворотно-поступальний і зворотно-поворотний, малий момент інерції, що забезпечує швидке реверсування, легкість стандартизації та уніфікації основних елементів, невелика вага та малі габарити устаткування, високий ККД, практична миттєвість передачі командних імпульсів, простота запобіжних пристроїв і їхня висока надійність, легкість керування і регулювання, самозмащення устаткування.

Гідравлічний привод застосовують у багатьох машинах для привода робочого обладнання, колісного або гусеничного рушія, виносних опор і рульового керування.

**Аналіз публікацій.** В землерийних машинах для накопичення енергії робочої рідини в гідроавтоматичних системах застосовують гідроаккумулятори, які накопичують енергію шляхом деформування пружних елементів. В гідроаккумуляторі сила ваги, пружна сила або сила стисненого газу визначають величину гідравлічного тиску, оскільки всі сили знаходяться в рівновазі [1–6].

Недоліком даних технічних рішень є невисока продуктивність розробки ґрунту та гідравлічні удари через те, що енергоаккумулятор гідравлічної схеми має одну робочу камеру та не має рухомого поршня між робочими камерами.

**Мета і постановка задачі.** Метою роботи є розробка моделі роботи гідроавтоматичної системи землерийної машини обладнаної гідравлічним енергоаккумулятором для запобігання гідравлічних ударів та зменшення витрат енергії при руйнуванні ґрунту робочими органами.

Поставлена задача вирішується шляхом введення в конструкцію гідравлічного енергоаккумулятора, що дозволяє здійснити рекуперацію енергії стисненої робочої рідини та запобігає гідравлічним ударам.

**Гідроавтоматична система землерийної машини обладнана гідравлічним енергоаккумулятором.** Рух виконавчих органів землерийних машин, особливо при руйнуванні ґрунту, піддається багатьом робочим навантаженням. Ці робочі навантаження можна звести до однієї узагальнюючої сили  $F$ , яка впливає на гідроавтоматичну систему землерийної машини [7].

При встановленні гідравлічного енергоаккумулятора в систему, узагальнююча сила починає взаємодіяти з поршнем енергоаккумулятора та впливати на його рух у гідравлічній схемі.

Рух механічної системи в енергоаккумуляторі гідравлічної схеми можна описати за диференціальним рівнянням Лагранжа другого роду.

Система в енергоаккумуляторі має одну ступінь свободи так як її положення визначається одним параметром. Таким параметром служить переміщення центра ваги поршня  $x$  (рис. 1).

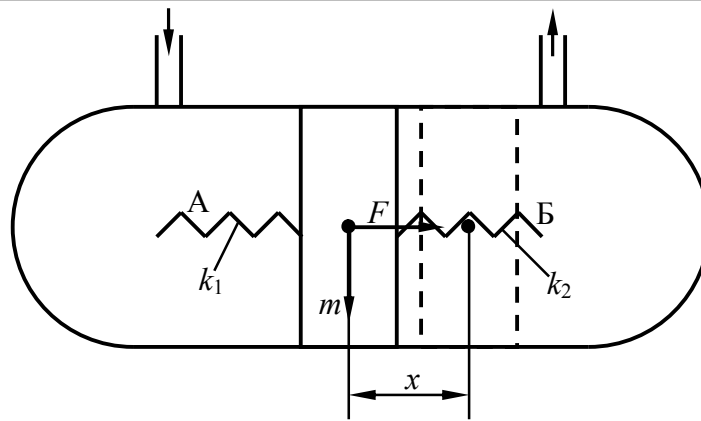


Рисунок 1 – Схема гідравлічного енергоакумулятора гідроавтоматичної системи землерийної машини

Так як система, яка розглядається має одну ступінь свободи, то ми будемо мати для неї одно рівняння Лагранжа другого роду [8]:

$$F = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x} + \frac{\partial E_p}{\partial x} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}}, \quad (1)$$

де  $x$  – переміщення поршня;  $E_k$  – кінетична енергія системи;  $E_p$  – потенційна енергія системи;  $\Phi$  – дисипативна енергія системи.

Обчислимо узагальнюючу силу  $F$ , яка відповідає узагальнюючій координаті  $x$ . Для цього надаємо можливе переміщення системі, яке відповідає зміні координати  $x$  на досі малу величину  $\delta x$ .

Кінетична енергія системи складається з кінетичної енергії поршня (кінетична енергія робочої рідини дорівнює нулю). Шток рухається плоскопаралельно, тому:

$$E_k = \frac{1}{2} m \dot{x}^2, \quad (2)$$

де  $m$  – маса поршня;  $\dot{x}$  – швидкість центра ваги поршня.

Знаходимо похідні кінетичної енергії системи:

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}} = m \dot{x}; \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}} \right) = m \ddot{x}; \quad \frac{\partial E_k}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

де  $\ddot{x}$  – прискорення центра ваги поршня.

Потенційна енергія системи дорівнює:

$$E_p = \frac{1}{2} k (x_i - x_0)^2, \quad (5)$$

де  $k$  – коефіцієнт жорсткості пружин;  $x_0$  – початкове положення центра ваги поршня;  $x_i$  – кінцеве положення центра ваги поршня.

Коефіцієнт жорсткості пружин складається з двох коефіцієнтів:

$$k = k_1 + k_2, \quad (6)$$

де  $k_1, k_2$  – жорсткості відповідно пружин А та Б (рис. 1).

Похідна кінетичної енергії дорівнює:

$$\frac{\partial E_p}{\partial x} = k(x_i - x_0). \quad (7)$$

Дисипативна енергія системи залежить від опору робочої рідини на стиснення:

$$\Phi = \frac{1}{2} c(\dot{x}_i - \dot{x}_0)^2, \quad (8)$$

де  $c$  – коефіцієнт стиснення (демпфування) рідини;  $\dot{x}_0$  – початкова швидкість переміщення робочої рідини;  $\dot{x}_i$  – кінцева швидкість переміщення робочої рідини.

Знайдемо похідну дисипативної енергії системи:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} = c(\dot{x}_i - \dot{x}_0). \quad (9)$$

Підставляючи рівняння (4), (7) та (9) у рівняння Лагранжа другого роду (1) знаходимо узагальнюючу силу:

$$F = m\ddot{x} - 0 + k(x_i - x_0) + c(\dot{x}_i - \dot{x}_0). \quad (10)$$

Приведемо рівняння (10) до геометричних параметрів гідросистеми.

Довжина переміщення поршня:

$$L = (x_i - x_0). \quad (11)$$

Швидкість переміщення поршня:

$$V = \delta S_{\text{ш}} L, \quad (12)$$

де  $\delta$  – коефіцієнт зменшення об'єму робочої рідини, який залежить від робочого тиску в системі;  $S_{\text{ш}}$  – площа поршня.

$$S_{\text{ш}} = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (13)$$

де  $D$  – діаметр поршня.

$$V = \delta \frac{\pi D^2}{4} L. \quad (14)$$

Прискорення переміщення поршня згідно рівняння Бернуллі:

$$\ddot{x} = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{\rho \pi^2 \delta^2 D^4 L^2}{32}, \quad (15)$$

де  $\rho$  – щільність робочої рідини.

Звідси узагальнююча сила дорівнює:

$$F = m \frac{\rho \pi^2 \delta^2 D^4 L^2}{32} + kL + c\delta \frac{\pi D^2}{4} L. \quad (16)$$

Виведене рівняння пов'язує сили, що діють на поршень гідравлічного енергоакумулятора з геометричними параметрами гідросистеми та фізичними параметрами робочої рідини.

**Висновки.** Таким чином, запропонована гідроавтоматична система землерийної машини обладнана гідравлічним енергоакумулятором дозволяє акумулювати потенційну енергію опору ґрунту при його розробці та зменшувати витрати енергії на розробку ґрунту без застосування додаткових джерел енергії, які потребують періодичного поповнення ззовні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Баладінський В.Л. Машина для земляних робіт: Підручник / В.Л. Баладінський, О.М. Гаркавенко, С.В. Кравець, І.В. Русан, А.В. Фомін – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999. – 228 с.
2. Горбатюк Є.В. Аналіз тенденцій розвитку розпушуючих агрегатів / Є.В. Горбатюк, Т.В. Шевченко // Техніка будівництва: науково-технічний журнал, – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 21 – С. 5-10.
3. Toshov J. V. Questions modeling of dynamics of drilling tools on the bottom hole. / J. V. Toshov, M. K. Shukurov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 1-2 (1) 2014, – pp. 116-122.
4. Road and Bridge Construction Equipment. – Satya Narayan Shah: B.Sc. In Mechanical Engineering (India) MS in Manufacturing Engineering & Management (UK), January, 2012, 1 – 112 p.
5. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика: Підручник / [Л.Є. Пелевін, Д.О. Міщук, В.П. Рашківський, Є.В. Горба-тюк, Г.О. Аржаєв, В.Ф. Красніков] – К.: КНУБА, МОНУ, 2015. – 340с.
6. Навроцкий К.Л. / Теория и проектирование гидро- пневмоприводов / Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение. 1991. – 334 с.
7. Пелевін Л.Є. Підвищення надійності і довговічності приводів динамічних робочих органів будівельної техніки на основі стендових випробувань: Монографія / Л.Є. Пелевін – К.: Українська академія наук, «МП Леся», 2008. – 196 с.
8. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть 2: учебн. для студ. высш. уч. зав. / А.А. Яблонский. – М.: Изд-во «Высшая школа», 3-е исп. и доп., 1966. – 411 с.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ

*Пелевін Л.Е.*

*Київський національний університет будівництва і архітектури  
(Україна);*

*Карпенко М.М.*

*Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса  
(Литва)*

**Вступ.** У багатьох областях виробництва широкого поширення мають різноманітні машини, призначені для навантаження, вивантаження матеріалів та об'єктів. Витрати на завантаження і розвантаження, включаючи перевантаження при транспортуванні, складають в середньому 25-30 % загальної вартості. Використовувані для цих робіт виличні навантажувачі поряд з перевагами (маневреність, можливість отримання великих питомих-зусиль, маса і вартість) мають ряд недоліків, вчасності велику енергетичну затрату приводу.

**Актуальність і мета дослідження.** Дослідження в області застосування енергозберігаючих систем, шляхом використання потенційної енергії робочого обладнання, дозволить оптимізувати і підвищити ефективність застосування гідроприводу уникаючи значних втрат енергії. Встановлені закономірності сприятимуть розробці принципів і методів створення нових гідроприводів з максимально ефективним використанням енергопотоків і застосуванням енергозберігаючих технологій для підвищення продуктивності роботи і підвищення економічних показників зокрема в області витрат палива.

**Основний матеріал.** Виличні навантажувачі класу IV-VII (з двигуном внутрішнього згорання) – незамінна техніка для промислових цехів, будівельних майданчиків і складських приміщень, де існує актуальна необхідність транспортування і штабелювання різноманітних вантажів на внутрішньовиробничій території. При цьому постійно зростають і вимоги до даної техніки основними з яких являються: продуктивність, екологічність, надійність і мала енергоємність. Хоча і за попереднім розвитком даної техніки зниження експлуатаційних витрат за рахунок зменшення паливного розходу не приймало важливого значення порівняно з іншими проблемами удосконалення, у наш час в зв'язку з постійним ростом цін на енергоносії це стає однією з пріоритетних задач підвищення ефективності їхнього використання [1].

Розрахунок середньої вартості однієї машино-години експлуатації виличного навантажувача представлено у табл. 1, згідно з [2].

Таблиця 1 – Розрахунок середньої вартості однієї машино-години експлуатації фронтального навантажувача

<i>Затрати при експлуатації навантажувача</i>	<i>Відсоткова частка (%)</i>
Амортизаційні відрахування	10,8
Зарплата машиніста	2,19
Затрати на паливо	43,92
Затрати на ТО	4,21
Затрати на перебазування	0,42
Затрати на мастильні матеріали	6,42
Змінне обладнання	0,43
Накладні витрати	2,31
Податки	23,38
Інші затрати	2,06
Планові накоплення	3,86

Як видно затрати на паливо складають майже половину (44 %) від усіх затрат на одну машино-годину експлуатації навантажувачів. При цьому враховуючи постійність зростання цін на паливо (енергоносій), при розрахунку однієї машино-години експлуатації навантажувача також будуть збільшуватися, затрати на паливо.

Гідропривід в даних машинах використовується не тільки для управління робочим обладнанням, а також для приводу ходового, рульового управління і т.д. Внаслідок чого гідропривід все більше затрачує потужність двигуна внутрішнього згорання, тому виникає потреба у оптимізації гідроприводу з точки зору споживання енергії двигуна. Використання різних технічних рішень в області енергозатрат [3], використання енергозберігаючих систем [4], судячи по світовим публікаціям, може дати значну економію палива. Часто для енергозбереження в гідроприводі, також, застосовують новітні системи розподілення енергопотоків (управління), функціонування потокорозподільних систем дозволяє забезпечити оптимальні технологічні процес роботи машини та підвищити ефективність застосування [5].

На рис. 1 представлена принципіальна гідравлічна схема енергозберігаючої системи навантажувача, на яку подана заявка на корисну модель України [6].

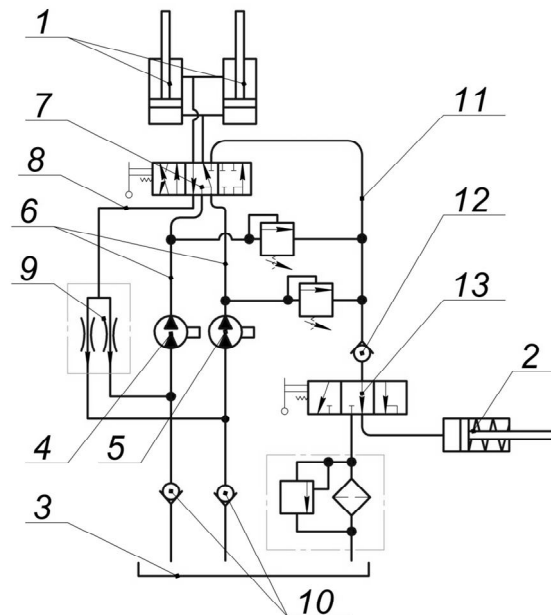


Рисунок 1 – Енергозберігаюча гідравлічна система навантажувача

Суть роботи гідравлічної системи енергозбереження полягає в тому, що при роботі гідроциліндри 1, робочого обладнання, та гідроциліндр перекоосу 2 (може бути виключеним із схеми) живляться від енергозберігаючої гідравлічної системи. Робоча рідина з баку 3 потрапляє до насос-моторів 4 і 5 через магістралі 6 далі на входи каналів *b* і *c* трьохпозиційного розподільника 7 (рис. 2, а) який знаходиться в II положенні, робоча рідина потрапляє в поршневі порожнини гідроциліндрів 1 штоки яких висуваються. При включенні розподільника 7 в I положення, у положення опускання робочого органу, робоча рідина із поршневих порожнин гідроциліндрів 1 через канал *a* розподільника 6 потрапляє до обвідної магістралі 8 і далі через ділильник потоку 9 направляється на входи насос-моторів. Встановлені зворотні клапани 10 перешкоджають зливу робочої рідини в гідробак 3. При цьому один з насос-моторів 4 подає робочу рідину в штокові порожнини гідроциліндрів 1 через канал *b* розподільника 7, а другий 5 на злив через канал *c* до зливної магістралі 11 і далі через односторонній клапан 12 до каналу *d* трьохпозиційного двох каналного золотника 13 (рис. 2, б), який в положенні II перепускає рідину через канал *f* до гідроциліндра 2, при цьому відбувається висовування його штоку. При зміні положення золотника 13 в I відбувається злив рідини із каналу *d* до каналу *e* і далі через систему фільтрації 14 до баку з гідравлічною рідиною 3. В III положенні золотника 13

відбувається злив у канал  $e$  як із каналу  $d$  та із каналу  $f$  і стріла 4 втягується. Злив забезпечує компенсацію різниці між обсягом подавання робочої рідини в штокові порожнини із поршневих порожнин гідроциліндрів 1. Також в цей час насоси-мотори 4 та 5 працюють, як генератори і через вали відбору обертають генератор підзаряджаючи електричну акумуляторну систему живлення навантаження (якщо така присутня).

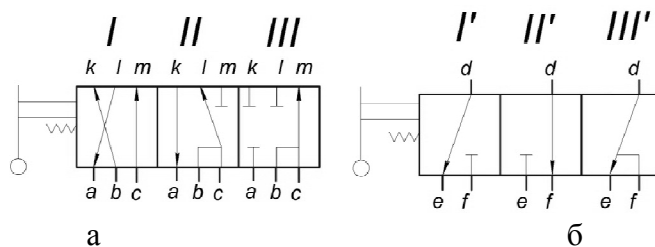


Рисунок 2 – Розподільники енергозберігаючої гідравлічної системи:  
а – трьохпозиційний розподільник; б – двох каналний золотник

Дане технічне рішення дозволяє використовувати рекуперацію енергії гідравлічної рідини при опусканні вантажу не використовуючи приводну потужність, як у традиційних машинах, при цьому енергія навантажувача за повний цикл процесу підйому-опускання буде прямувати до мінімуму, так як не затрачається приводна потужність на опускання.

За допомогою методу математичного моделювання проаналізований процес роботи енергозберігаючої гідросистеми навантажувача при опусканні робочого обладнання і спроектованої в програмі SimHydraulic.

В ході роботи порівнювалося і спів-поставлялося енерговитрати: гідросистеми навантажувача HANGCHA CPCD160N-XG35 (найбільш близької до пропонованої системи) [7] та пропонованої енергозберігаючої гідравлічної системи [6].

Приймається процес роботи навантажувача в наступному варіанті: навантажувач завантажує об'єкт і повертається до місця завантаження з одночасним опусканням робочого органу; приймається що включена постійно передача і рух відбувається за рахунок збільшення витрат палива двигуном внутрішнього згорання; хід штоків робочого обладнання (гідроциліндри підйому/опускання) згідно з технічними даними складає 1,5 м.

Для оцінюючих показників ефективності застосування енергозберігаючої гідравлічної системи приймалося наступне:

Потужність ( $N_p$ , кВт) яка затрачається в момент опускання робочого органу на привід насос-моторів [2]:

$$N_p = (P_{out1} - P_{in}) \cdot Q_1 \cdot \eta_1 + (P_{out2} - P_{in}) \cdot Q_2 \cdot \eta_2 \quad (1)$$

де  $P_{out1}$  – тиск на виході з першого насоса, з урахуванням втрат, Па;  $P_{out2}$  – тиск на виході з другого насоса, з урахуванням втрат, Па;  $P_{in}$  – тиск на вході в насоси, з урахуванням втрат, Па;  $Q_1$  – подача першого насоса, м<sup>3</sup>/с;  $Q_2$  – подача другого насоса, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_1$  – повний КПД першого насоса;  $\eta_2$  – повний КПД другого насоса; див. рис. 3,а.

Значення миттєвої часової витрати палива ( $G_t$ , л/с) на привід насос-моторів [1]:

$$G_t = \frac{q_e N_p}{1000 \cdot \rho}, \quad (2)$$

де  $q_e$  – удільна витрата палива двигуном YC6B160Z-T10, який встановлений на Hangcha CPCD160N-XG35,  $q_e = 225 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ ;  $\rho$  – щільність палива,  $\rho = 860 \text{ кг}/\text{м}^3$  [8]; див. рис. 3,б (Частини графіків, розташовані в від'ємній області системи координат, відображають споживання потужності насосами, що веде до витрати палива).

Циклова затрата палива ( $G_z$ , л) [1] на привід насос-моторів за період опускання робочого обладнання (період роботи енергозберігаючої системи):

$$G_z = \frac{t}{3600} \int_0^l G_t(l) dl, \quad (3)$$

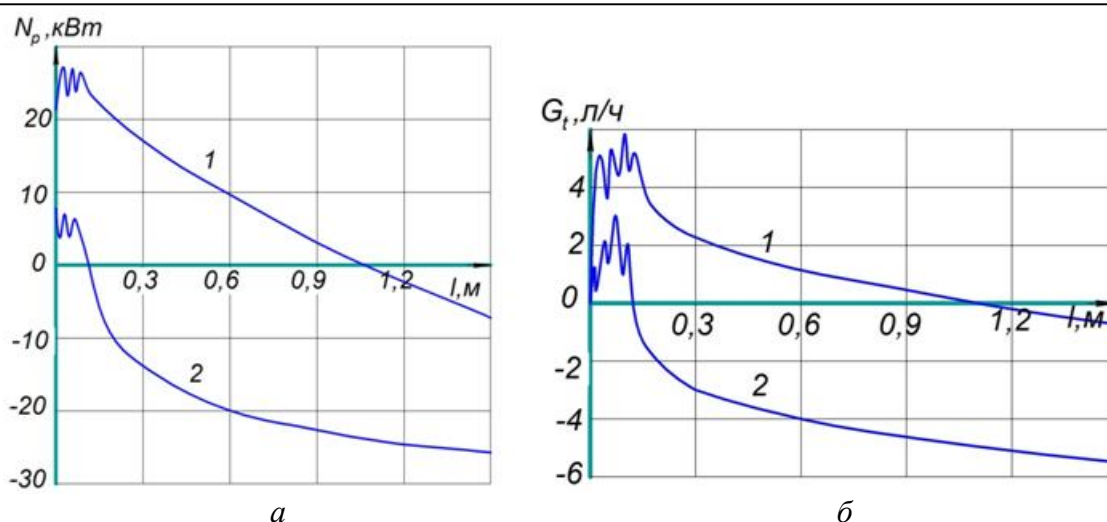


Рисунок 3 – Графіки дослідження: 1. З енергозберігаючою системою; 2. Базова система *а* – затрати потужності в момент опускання робочого органу на привід насос-моторів; *б* – Значення миттєвої часової витрати палива на привід насос-моторів

**Висновки.** При експлуатації навантажувача з системою енергозбереження виключаються витрати потужності і палива на привід насосів в період циклу опускання робочого обладнання. В результаті величина зниження витрати палива період роботи може скласти 0,0093 л. Якщо задатися тривалістю робочого циклу навантажувача 45 с., то за 1 годину експлуатації зниження витрат палива, обладнаного системою енергозбереження, може скласти близько 0,744 л. Це становить 3,1% максимальної годинної витрати палива навантажувача HANGCHA CPCD160N-XG35 (24 л/год. згідно з даними виробника). Тоді зниження витрати палива за 8-годинну зміну складе близько 5,96 л, що в річних масштабах, при річному напрацюванні 3000 год., може дати економію палива в межах 2232 л. При нинішніх цінах на паливо (на лютий 2017) (22,2 грн./л. в Україні; 1,02 евро./л. в Литві і 37,15 рубл./л. в Російській Федерації) це становить: 49550 грн./р., 2277 евро./р., 82919 рубл./р., відповідно. Отримані результати показують, що використання запропонованої гідравлічної системи енергозбереження дозволяє підвищити паливну економічність машини, а отже, знизити витрати на її експлуатацію.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чебанов, Л. С. Эффективность применения погрузчиков в строительстве / Л.С. Чебанов. – Киев : Будивельник, 1987. – 80 с. : ил.
2. Бужинский А.Д. Применения энергосберегающей системы погрузчика / А.Д. Бужинский. Вестник Белорусско-Российского университета. 2008, №4 (21), с.11-18.
3. T. Horberry, T.J. Larsson, I. Johnston, J. Lambert, Forklift safety, traffic engineering and intelligent transport systems: a case study, Applied Ergonomics 35 (2004) 575–581.
4. Якушев, А.Е. Исследование энергосберегающих систем / А.Е. Якушев // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 12. – С. 35–38.
5. Пелевін Л.Є., Карпенко М.М. /Теоретичні засади управління системою розподілу енергопотоків у гідро- та пневмоприводах/ Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету: сб. науч. тр./ХНАДУ, 2016. – Вып. 73. – С. 48–51.
6. Пелевін Л.Є., Горбатюк Е.В., Карпенко М.М., Азенко А.В. заявка на корисну модель України № u201611809 від 22.11.16 «Енергозберігаюча гідравлічна система»
7. <http://www.hcforlift.com/products/icforlifttruck>
8. ГОСТ-32511-2013 (EN 590:2009), ISO 3170:2004. Топливо дизельное ЕВРО. Межгосударственный стандарт. Технические условия. Введ. 2015-01-01. М. Изд-во стандартов, 2015, 32 с.



## СТРУКТУРА ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ СУДНОВИХ СЕПАРАТОРІВ

*Проценко В.О.*

*Херсонська державна морська академія  
(України)*

**Вступ.** Обладнання суднових енергетичних установок є найбільш напруженим та відповідальним серед іншого енергетичного обладнання оскільки воно при невеликих габаритах має високу потужність та продуктивність, а від його безвідмовності залежить безпека екіпажу та навколишнього середовища. З огляду на це, підвищення безвідмовності цього обладнання створює резерв для збільшення безпеки морських транспортних та пасажирських перевезень.

**Актуальність дослідження.** Одними з найбільш навантажених елементів енергетичних установок є відцентрові сепаратори палива та мастила. Так сепаратори циркуляційного мастила головних та допоміжних дизелів, що використовують важке паливо, працюють практично безперервно. Сепаратори палива працюють з періодично із пусками та зупинками, відповідно важким є і режим роботи їх відцентрових фрикційних муфт. Довговічність колодок муфти (а саме їх фрикційних накладок) визначає безвідмовність та міжремонтний період всього сепаратора, оскільки відсоток їх відмов доходить до 20 % від загальної кількості відмов по сепараторам [1, 2]. Формально, ковзання фрикційних накладок колодок відносно циліндричної поверхні веденої напівмуфти відбувається тільки під час пуску сепаратора, проте фактично і після розгону сепаратора, при сталій частоті обертання електродвигуна та ведучої напівмуфти, виникає ковзання у цьому номінально нерухомому контакті, викликане динамічними явищами у приводі сепаратора. Не вдаючись у аналіз широкого спектру вказаних впливів на стан фрикційних накладок, розглянемо результат їх дії – знос (на прикладі муфти сепаратора СЦ-1,5).

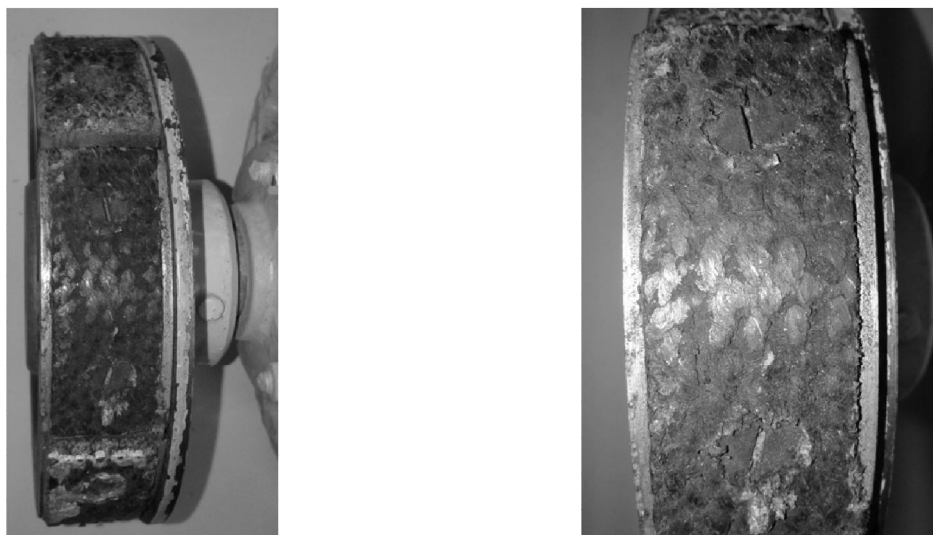


Рисунок 1 – Стан фрикційної накладки колодки

На фото видно, що знос накладки нерівномірно розподілений як по її довжині так і по ширині. Такий характер зносу свідчить про відсутність можливості самоустановки колодки відносно напівмуфти, або наявності надлишкових зв'язків у механізмі муфти. Таким чином можливе удосконалення фрикційних муфт за рахунок зниження кількості надлишкових зв'язків.

**Результати дослідження.** Для виявлення надлишкових зв'язків та встановлення напрямків удосконалення відцентрових фрикційних муфт, складемо структурну схему елементарного механізму «ведуча напівмуфта-кулачок-ведена напівмуфта», що

утворюють фрикційну муфту. Структурний аналіз механізму муфти відомими методами [3-5] дав можливість встановити, що у всіх режимах її роботи механізм не позбавлений 2 зайвих зв'язків, наявність яких і спричиняє нерівномірний знос колодок від наявності куткової неспіввісності між напівмуфтами.

Для зменшення кількості надлишкових зв'язків та підвищення довговічності фрикційної муфти можна запропонувати зменшення класу кінематичних пар механізму муфти, наприклад за рахунок сполучення колодок із ведучою напівмуфтою гнучкими елементами, наприклад сталевими канатами. Так на рис. 2 показана муфта з канатними елементами, що працює наступним чином. Ведучою є напівмуфта 3, яка, обертаючись в напрямку натягу гнучких ланок 5, спричиняє обертання колодок 4, які обертаючись разом із напівмуфтою 3, під дією відцентрової сили переміщуються в радіальному напрямку, натягуючи пружини 9, та притискаються своїми фрикційними поверхнями 8 до поверхні циліндричного отвору 2 зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1, викликаючи силу тертя, яка створює момент тертя, що спричиняє обертання веденої зовнішньої чашоподібної напівмуфти 1. При цьому зазор  $z$  утворюється між колодками 4 та поверхнею напівмуфти 3.

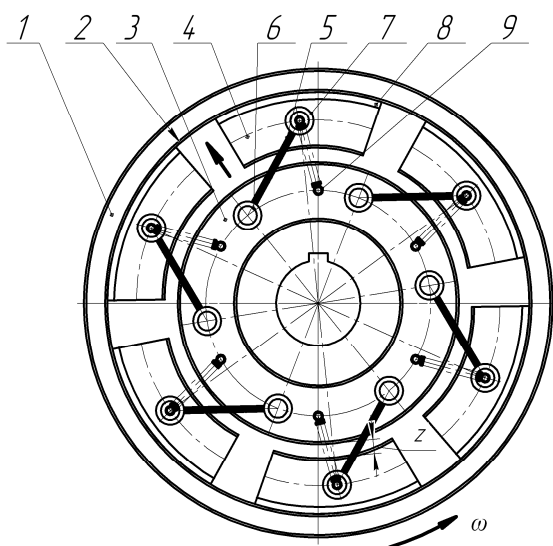


Рисунок 2 – Конструктивна схема пропонованої муфти в період усталеної роботи

**Висновки.** Структурний аналіз механізму пропонованої муфти показав, що за рахунок наявності в муфті канатних пружних елементів, у всіх режимах роботи муфти її механізм позбавлений зайвих зв'язків, що повинно стати причиною підвищення довговічності муфти при роботі в умовах неспіввісності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Овсянников М.К., Петухов В.А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. – Л. : Судостроение, 1982. – 208 с.
2. Башуров Б.П., Скиба А.Н., Чебанов В.С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов. – Новороссийск : МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. – 192 с.
3. Фролов К. В. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов и др. – М. : Высшая школа, 2003. – 496 с.
4. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 576 с.
5. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин. – К. : Наукова думка, 2002. – 656 с.

## EMPLOYING THE SEPARATION GRADIENT AEROSOL TECHNOLOGIES FOR DESIGNING THE OIL SEPARATORS OF VENTING SYSTEMS IN GAS TURBINE ENGINES

*Ryzhkov S.S.*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
(Ukraine)*

**Introduction.** The introduction of new power plants (atomic, gas- and gas-steam turbine), a growth in the number of power plants and the development of industries contributed to an increase in the interest in the problems of two-phase dispersed media. Especially important is the task to remove a liquid phase out of gases, since its increased concentration reduces the efficiency and operational lifecycle, as well as deteriorates the operating characteristics of plants. For example, when drops and dust particles enter, along with air, the flowing area of gas-turbine engines of the gas-pumping units, it leads to the formation of deposits and strengthening of the processes of high-temperature corrosion. Similar changes also occur in the gas-turbine power stations and compressors of compressor plants. In winter time, the freezing of air-intake devices occurs, their aerodynamic drag increases, as well as the wear of cylinder-piston groups, etc. Creation of highly effective and economical heat- and mass-exchange apparatuses and separating devices is a significant reserve for improving the performance efficiency of power plants and more efficient use of fuel-energy resources. The relevance of the application of a three-dimensional modeling of separation gradient aerosol technologies for creating an oil separator is predetermined by the task to ensure effective removal of harmful liquid admixtures from industrial wastes. This issue is an important national-economic problem in coping with the environmental pollution.

**The aim and tasks of the study.** The aim of present study is develop an oil separator of the venting systems of gas turbine engines for the flow rate of gaseous medium at 200 m<sup>3</sup>/h based on the separation gradient aerosol technologies.

In order to achieve the aim, the following tasks were set:

- to develop section-by-section design concept and a three-dimensional model of the oil separator;
- to perform calculations of the hydrodynamic situation and particle trajectory in the flow area of an oil separator;
- to prepare working drawings and a prototype;
- to carry out bench tests of the oil separator.

**Calculation experiment.** We conducted a study into gas dynamics in the flow area of the channel (fig. 1) and obtained values for the coefficients of deposition at different concentrations of a liquid phase.

In the process of calculation, the following parameters were assigned:

- a three-dimensional geometry is built on a real scale (length is 80 mm and height is 5...25 mm);
- computational grid is built of the triangular segments with area  $S=30 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ ;
- parameters of a medium – standard conditions;
- gas density  $\rho_r=1.225 \text{ kg/m}^3$ ;
- viscosity  $\mu_r=1.79 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m*s)}$ ;
- material of the wall of a channel – aluminum with roughness 0.1 mm and density  $\rho_{al}=2690 \text{ kg/m}^3$ ;
- minimum diameter of the particles:  $d_{min} - 3 \text{ }\mu\text{m}$ ;
- mean particle diameter:  $d_{mid} - 10 \text{ }\mu\text{m}$ ;
- maximum diameter of the particles:  $d_{max} - 15 \text{ }\mu\text{m}$ ;
- concentration of the liquid phase  $C_{BX}=0,6 \text{ kg/m}^3$ ;
- range of consumption –  $G=100 \dots 200 \text{ m}^3/\text{h}$ .

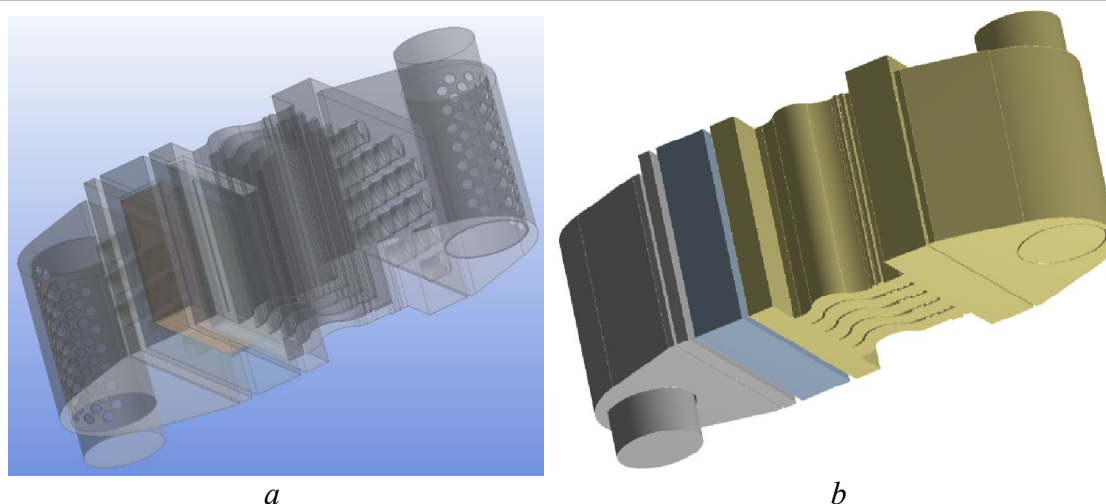


Figure 1 – A three-dimensional model of gas scrubber  $G=100\dots200\text{ m}^3/\text{h}$  based on the separation gradient aerosol technologies: *a* – a three-dimensional view for constructing the computational grid; *b* – a three-dimensional computational grid of finite elements

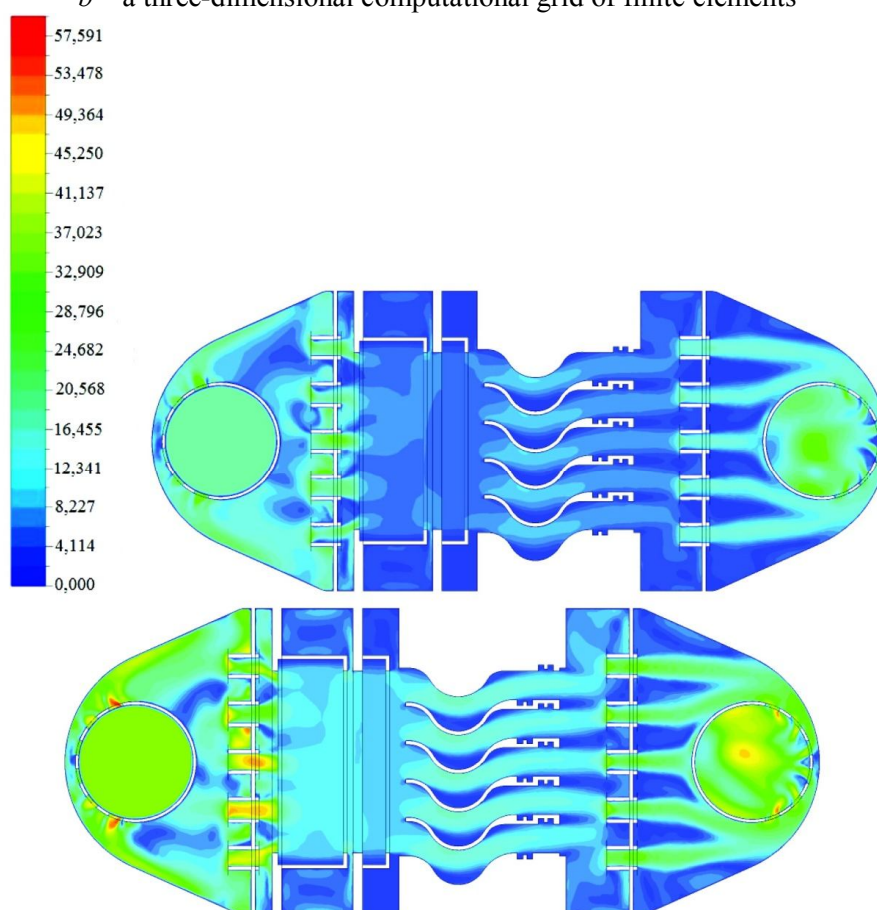


Figure 2 – Distribution of speed in the oil separator: *a* – at  $G=100\text{ m}^3/\text{h}$ ; *b* – at  $G=200\text{ m}^3/\text{h}$

**Conclusions.** 1. Has been calculated a hydrodynamic situation and particle trajectory in the flow area of an oil separator, which showed that a particle flies through the entire channel in 0.8 s and its trajectory coincides with the flow line of gaseous medium in the working channel.

2. Using the calculated distribution of speed in the oil separator at  $G=100\dots200\text{ m}^3/\text{h}$ , it was determined that velocity in the coagulation profile does not exceed 10 m/s.

3. It is established according to the results of static pressure distribution for  $G=100, 200\text{ m}^3/\text{h}$  that a pressure differential in the separation coagulators reaches 2.5...3.9 kPa, respectively.

## ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ПОВЕДХНІ ДИСПЕРСНОГО КАРБОНАТУ ЛІТІЮ І КАРБОНАТУ НІКЕЛЮ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

**Сапронова А.В.**

*Херсонська державна морська академія*

(Україна);

**Маляренко О.Д.**

*Білоруський національний технічний університет*

(м. Мінськ, Республіка Білорусь);

**Янутенене Й.**

*Клайпедський університет*

(м. Клайпеда, Литва)

**Вступ.** Для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування промисловості України (судно-, авіа-, машинобудівної та ін.) перспективним є використання епоксидних композитних матеріалів. Високі значення адгезійних, фізико-механічних, теплофізичних властивостей таких матеріалів досягають шляхом введення у епоксидний олігомер різних за дисперсністю та природою наповнювачів. Дисперсні добавки здатні змінювати структуру композиту, а, отже, і його властивості, що дозволяє розширити область застосування таких матеріалів. Тому, на сьогодні існує значний науковий інтерес стосовно дослідження наповнених полімерних систем із використанням сучасного обладнання [1–3].

**Мета роботи** – провести аналіз хімічних зв'язків на поверхні дисперсних часток карбонату літію і нікелю.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Вихідним матеріалом для експериментальних досліджень є: карбонат літію ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), який використовують для виробництва скла, пластмас, електроізоляційного фарфору, ситалів, а також у чорній металургії (десульфурація сталі) і карбонат нікелю ( $\text{NiCO}_3$ ), який переважно використовують у лакофарбовій промисловості (для фарбування керамічних виробів). Дисперсність наповнювачів становить 8...10 мкм.

Для дослідження хімічних зв'язків на поверхні часток наповнювача використовували ІЧ-спектральний аналіз. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрії марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел  $\nu = 400 \dots 2400 \text{ см}^{-1}$  однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами  $\lambda^{-1} = \nu$  здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину і площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Похибка при визначенні хвильового числа –  $\nu = \pm 0,01 \text{ см}^{-1}$ , а при визначенні точності розташування піку –  $\nu = \pm 0,125 \text{ см}^{-1}$ . Фотометрична точність становила  $\pm 0,2 \%$  при програмному управлінні щільною і тривалістю інтегрування –  $t = 10 \text{ с}$ . Крок інтегрування –  $\Delta\lambda = 4 \text{ см}^{-1}$ .

Згідно ІЧ-спектрального аналізу наповнювача карбонату літію вдалося ідентифікувати наступні зв'язки, що характеризує активність наповнювача до взаємодії з епоксидним зв'язувачем. Зокрема, смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 883,40 \text{ см}^{-1}$  свідчить про наявність іону карбонату, який утворився при синтезі сполуки. Смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 1645,28 \text{ см}^{-1}$  свідчить про валентні коливання карбонатної групи С-О.

Смуга поглинання при хвильовому числі  $\nu = 1799,59 \text{ см}^{-1}$  свідчить про наявність карбонільної групи С=О. У діапазоні хвильових чисел  $\nu = 2964,59 \dots 3604,96 \text{ см}^{-1}$  виявлено валентні коливання О-Н груп.

Стосовно карбонату нікелю встановлено хвильові числа  $\nu = 694,37 \text{ см}^{-1}$  і  $\nu = 3574,45 \text{ см}^{-1}$ , які свідчать про наявність гідроксильної групи ОН-. У діапазоні хвильових чисел  $\nu = 1037,70 \dots 1234,44 \text{ см}^{-1}$  виявлено присутність іонів карбонату  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Отже, на основі ІЧ-спектрального аналізу поверхні наповнювачів встановлено, що карбонат літію активніший до взаємодії з епоксидним зв'язувачем порівняно з карбонатом нікелю, позаяк на поверхні часток  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  виявлено більшу кількість активних груп. Отримані результати складають основу для подальших досліджень залежності вмісту даного наповнювача на кінцеві властивості епоксидного композиту.

**Висновки.** У роботі проведений аналіз поверхні часток карбонату літію і карбонату нікелю. Встановлено, що карбонат літію, порівняно з карбонатом нікелю, значно активніший до взаємодії з епоксидним зв'язувачем при зшиванні композитів. Характерною особливістю наповнювача  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  є значна кількість активних груп -С-Н-, -С-СН<sub>2</sub>, С-ОН груп, подвійних зв'язків С=С, С=О, а також С-Н і О-Н груп.

Отримані результати ІЧ-спектрального аналізу дають можливість стверджувати про активацію наповнювача до міжфазової взаємодії з макромолекулами та сегментами епоксидного зв'язувача при структуроутворенні композитів. Регульоване введення добавки  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  у епоксидний зв'язувач дозволить поліпшити експлуатаційні характеристики технологічного устаткування промисловості України.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Лидин Р.А. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., испр. – М.: Химия, 2000. – 480 с.
2. Букетов А.В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
3. Букетов А.В. Епоксидні композити, модифіковані високочастотним імпульсним магнітним полем: монографія / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.О.Скирденко, В.Л. Алексенко, О.І. Скирденко. – Херсон : ХДМА, 2016. – 201 с.

## ВЕТРОСОЛНЕЧНЫЙ КАТАМАРАН

*Скосарь В.Ю., Ворошилов А.С., Бурылов С.В.*

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины  
(г. Днепр, Украина)*

**Введение.** Для прогулок и экскурсий по рекам и вдоль морских побережий могут успешно использоваться парусные и моторные катамараны. Но парусными катамаранами могут управлять лишь пассажиры, овладевшие основами парусного спорта. Моторные же катамараны, как правило, используют углеводородное топливо для своих двигателей. Это неэкологично по причине вредных выбросов в атмосферу и шумовых нагрузок на человека, и кроме того, углеводородное топливо обладает устойчивой тенденцией к дальнейшему повышению стоимости. Поэтому перспективной выглядит возможность совместить преимущества парусных и моторных катамаранов с небольшой пассажироместимостью, работающих от солнечных батарей и электромоторов, а также обладающих дополнительным небольшим парусом, которым управляет экскурсовод.

**Актуальность исследований** связана с привлекательностью ветросолнечного катамарана для заказчиков (владельцев лодочных стоянок) и потребителей, а также с необходимостью перехода на более чистые технологии на водном транспорте. Кроме того, инновации в сфере водного транспорта и его энергоустановок могут инициировать технический прогресс в других отраслях хозяйства и способствовать улучшению быта и повышению качества отдыха граждан Украины. *Авторы ставили задачу* провести оценку параметров солнечных панелей, электродвигателей и аккумуляторов, а также дополнительных парусов для катамаранов пассажироместимостью 2-4 чел., которые можно использовать для прогулочных и экскурсионных целей.

**Результаты исследований.** В качестве ближайших аналогов ветросолнечного катамарана выбраны 2 модели: катамаран с двигателем внутреннего сгорания, использующий мотор мощностью 2,5-7 л.с. и обладающий грузоподъемностью до 1 т (достигающий максимальной скорости 10-15 км/ч) [1], и парусный катамаран «Порыв», использующий парус площадью 13 м<sup>2</sup> и обладающий грузоподъемностью до 240 кг [2]. Первый из них способен вместить не менее 4 чел, а второй рассчитан на 2 чел. Оба катамарана являются надувными, двухслойными (внешняя оболочка изготавливается из высокопрочной ПВХ-ткани, внутренние воздуходержающие баллоны – из полиуретановой ткани типа «каррингтон»). Такие катамараны способны преодолевать мелководные участки и большие водоемы [1].

Площадь солнечной панели, которую необходимо закреплять между поплавками катамарана, несложно оценить, исходя из длины поплавков и расстояния между ними, за вычетом небольших участков, где крепится электромотор и парусная мачта. Обычно, для подобных небольших катамаранов отношение длины поплавков к их диаметру равно 10, а отношение длины поплавков к расстоянию между их осями – 2,3. Сама же длина поплавков для вариантов [1, 2] составляет 5-6 м [2, 3]. Несложный расчет дает нам площадь солнечной панели 6,7-9,7 м<sup>2</sup>. Для надувных катамаранов лучше использовать солнечные панели из аморфного кремния на гибкой и легкой подложке, которые при удельной мощности 100 Вт/м<sup>2</sup> и удельной массе 0,3 кг/м<sup>2</sup> [4] будут весить порядка 20-30 кг. Производимая ими мощность электроэнергии в хорошую погоду составит порядка 300-400 Вт, учитывая брызги воды и наклон солнца над горизонтом в средних широтах. С учетом потерь на инверторе и аккумуляторе, оценим полезную мощность порядка 250-350 Вт в солнечную погоду и при переменной облачности. Полагая необходимую мощность электродвигателя в 250-350 Вт (0,34-0,48 л.с.), можно оценить параметры литиевой аккумуляторной батареи. Для этого возьмем для расчета характеристики батарей литий-марганец-кобальт (НМК) [5] и будем исходить из предположения, что в течение одного часа «обеденного перерыва» катамаран стоит на стоянке, а солнечные панели работают только на зарядку аккумуляторов. Отсюда получаем, что литиевая батарея должна

накапливать 250-350 Вт·ч электроэнергии. Для НМК-батареи напряжением 36 В это соответствует способности к разряду в течение одного часа током 7-10 А и емкости 7-10 А·ч, соответственно, а также массе всего лишь 1,5-2,5 кг. Такая батарея является запасным источником энергии, если, например, потребуется питание для освещения, зарядки мобильных телефонов, работы аудио- или видеоплеера. Оценим скорость, развиваемую катамараном. Считая приблизительно справедливым зависимость гидродинамического сопротивления  $F$  движению судна:  $F \sim v^2$  [6, 7], где  $v$  – скорость движения судна, и учитывая, что мощность двигателя  $W$  равна:  $W = F \cdot v$ , получаем зависимость:  $W \sim v^3$ . Отсюда получаем, что, если моторный катамаран с двигателем в 2,5 л.с. (1840 Вт) развивает скорость 10 км/ч, то для достижения «прогулочной» скорости в 4,5-5 км/ч достаточно электродвигателя мощностью 0,31 л.с. (230 Вт). Это соответствует эмпирическим данным по  $F$  и  $W$  [6, 7]. Кроме того, данная оценка хорошо соответствует мощности, которую способна обеспечить солнечная панель.

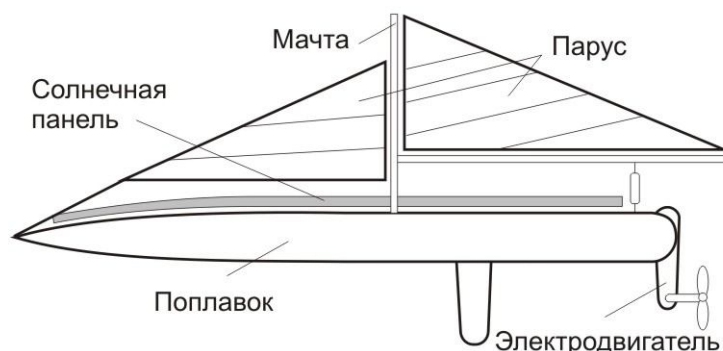


Рисунок 1 – Схематический вид ветросолнечного катамарана

Ветросолнечный катамаран дополнительно оснащен небольшим парусом (рис. 1). Оценим параметры паруса. Считая, что катамаран [2] при площади паруса  $13 \text{ м}^2$  достигает скорости 15 км/ч, несложно рассчитать необходимую площадь паруса  $S$  для достижения скорости в 5 км/ч. Сила давления ветра  $F_v$  на парус:  $F_v \sim S$ , и она должна уравниваться силой гидродинамического сопротивления, зависимость которой от скорости берем из [6, 7]. Отсюда получаем, что  $S \sim 2 \text{ м}^2$ . Этот дополнительный парус лучше разместить на мачте, немного приподняв от поплавков катамарана, чтобы эффективнее использовать ветровую нагрузку.

**Выводы.** Авторы полагают, что предлагаемый ветросолнечный катамаран на 2-4 чел. можно использовать для прогулок и экскурсий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Катамаран с мотором. Режим доступа: <https://volveter.ru/katamaran-s-motorom-kakie-byvayut-i-zachem-nuzhny.html>.
2. Успенский В., Успенский М., Кузнецов Н. Катамаран надувной парусный «Порыв» / Режим доступа: <http://katamaran.masteraero.ru/katamaran-parus-4.php>.
3. Кужель Ю. Схемы разборных катамаранов. Режим доступа: <http://parusa.narod.ru/bib/papers/1989/kuzhel/index.htm>.
4. Солнечные элементы и батареи космического происхождения. Режим доступа: <http://www.rusnanonet.ru/products/21131/>.
5. Обзор различных типов литиевых аккумуляторов. Режим доступа: <http://www.mobipower.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=484>.
6. Гидродинамические характеристики спортивных гребных лодок. Режим доступа: [http://www.barque.ru/shipbuilding/1964/hydrodynamic\\_characteristics\\_of\\_sport\\_of\\_rowing\\_boats](http://www.barque.ru/shipbuilding/1964/hydrodynamic_characteristics_of_sport_of_rowing_boats).
7. Гидродинамические режимы движения и соответствующие им типы обводов. Режим доступа: [http://www.barque.ru/shipbuilding/1963/hydrodynamic\\_driving\\_modes](http://www.barque.ru/shipbuilding/1963/hydrodynamic_driving_modes).



## ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ В ОСНАЩЕННІ ПОРТІВ КРАНАМИ

*Суглобов В.В., Ткачук К.В.*

*ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»*

*(м. Маріуполь, Україна)*

**Вступ.** Найпоширенішим типом перевантажувальних машин у морських і річкових портах, на судноремонтних і суднобудівних заводах є порталні крани, за допомогою яких здійснюється основна частина вантажно-розвантажувальних робіт. Будучи невід'ємною частиною транспортно-перевантажувального потоку, вони впливають на ефективність функціонування транспортних засобів. У цей час більше 97,2 % парку порталних кранів морських портів відробили свій нормативний експлуатаційний ресурс. Термін служби окремих кранів досягає 40–50 років, що в кілька разів перевищує граничний експлуатаційний ресурс [1–4]. Такий стан з технічним станом приводить до росту аварійних відмов кранів, внаслідок чого знижуються показники надійності, зменшується міжремонтний цикл, і підвищуються витрати підприємств на технічне обслуговування й ремонт кранового встаткування. У сформованій ситуації необхідно вирішити проблему відновлення парку порталних кранів.

**Актуальність досліджень.** У порти України централізовані планові поставки кранів припинилися на початку 90-х років минулого століття. За останні 20 років структура парку порталних кранів незначно змінилася. Більшість кранів у портах становлять крани типу «Сокол», «Альбатрос», «Кондор», «Марк» із шарнірно-зчленованою стріловою системою. У тих же 90-х роках закордонні кранобудівні фірми («Liebherr», «Gottwald») почали випускати мобільні портові крани із прямою стрілою без системи зрівноважування стріли. Ці крани стали використовуватися в закордонних портах, а також у декількох портах України й Росії. У цей час за стратегію технічного переоснащення портів кранами ведеться активна дискусія [1, 5-7], але переконливих рішень і погодженої стратегії дотепер не виконано. Тому, розробка інноваційних напрямків відновлення парку порталних кранів, є актуальною задачею, рішення якої дозволить підвищити вантажообіг та продуктивність портів.

**Постановка задачі.** З метою підвищення надійності, якості парку кранів, вдосконалення технології перевантажувальних процесів у портах України ставиться задача аналізу та розробки основних напрямків в оснащенні портів кранами.

**Результати досліджень.** На рішення проблеми оновлення парку порталних кранів впливають досить багато факторів: масштаб порту, його вантажообіг, вид вантажів, стан причалів і парку кранів, тип і дедвейт судів, технологія перевантажувальних процесів, економічні можливості.

Авторами виділено 4 напрямки, по яких здійснюється переоснащення вантажопідйомного парку.

1. Модернізація існуючих порталних кранів. До неї входить заміна релейно-контакторних систем керування електроприводом механізмів на частотну, заміна механізмів, приладів безпеки й контролю. Це забезпечує продовження строку експлуатації крана на 10–12 років. Головне, що вартість модернізації становить близько 25 % вартості нового крана.

2. Відновлення парку порталних кранів новими кранами традиційної конструкції із шарнірно-зчленованою стріловою системою.

Так, шарнірно-зчленовані стрілові системи із прямим хоботом і жорсткою відтяжкою знайшли широке застосування, що визначається багатьма перевагами такої конструкції, а саме:

– забезпечення практично горизонтальної траєкторії переміщення вантажу при зміні вильоту стріли;

- можливість розміщення під стрілою вантажів більших габаритів;
- менша й практично що не змінюється при зміні вильоту стріли довжина підвісу вантажу;
- технологічність виготовлення;
- жорстка відтяжка розвантажує стрілу від крутіння.

Така заміна може стати оптимальною за вартістю й забезпечити більше сприятливі умови по забезпеченню змінно-запасними частинами. Тим більше, що в Україні є досвід і можливість випуску таких кранів, навіть на конкурентній основі, такими заводами: НКМЗ м. Краматорськ, ПАО «Азовмаш» м. Маріуполь, «Конекрейнс Україна» м. Запоріжжя.

Всі ці заводи вже мають розроблені проекти й досвід виготовлення нових кранів.

Ці проекти передбачають установку на кранах прогресивних систем керування, що забезпечують зниження витрати електроенергії - до 30%.

Проекти цих кранів розроблялися разом із закордонними фірмами «Кранбау Эберсвальде», «Ноелл», «Конекрейнс».

3. Оснащення портів мобільними кранами із прямою стрілою й підвищеною вантажопідйомністю до 75–100 тонн.

Застосування таких кранів ефективно при обробці великотоннажних судів на глибоководних причалах портів. Таких портів в Україні всього 6 - 7, а от кранів середньої й малої вантажопідйомності вимагають не менш 12 - 14 морських, а також річкові й рібні порти. Досвід використання мобільних кранів мають морські порти в м.Одеса й м. Южному, де працюють 5 кранів фірми «Gottwald», порт у м. Новоросійську – 5 кранів фірми «Gottwald» і 2 крани фірми «Liebherr».

Переконливий аналіз недоліків і неефективності використання мобільних кранів при навантаженні навалочних вантажів привів С. Пелашенко, зав. сектором технології «Чорномор НДІ проекту» [7].

4. Переустаткування існуючих порталних кранів з установкою на їхньому порталі нової поворотної платформи з механізмами й прямою стріловою системою, аналогічної поворотної частини мобільного крана.

Такий варіант переустаткованого крана працює в порту м.Туапсе й поки поширення не знаходить.

**Висновки.** Наведені відомості дають підставу зробити висновок, що в майбутньому основним типом вантажопідйомної машини в портах України буде залишатися традиційний тип порталного крана із шарнірно-зчленованою стріловою системою й системою зрівноважування.

Виготовлення нових кранів повинне вестися по поліпшених проектах з урахуванням застосування прогресивних рішень, а на працюючих кранах – проведена модернізація з поліпшенням експлуатаційних і технічних характеристик.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пустовой В. Н. , Андриенко А. О. Сравнительное исследование параметров портовых кранов для морских портов Украины /В. Н. Пустовой, А. О. Андриенко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ. – Вип.25, 2008. – С.97 – 107.

2. Пустовой В. Н. Портовые краны: у критической черты / В. Н. Пустовой // Порты Украины: информационно-аналитический журнал. – Одесса: Ports of Ukraine plus. –№ 5 (55), 2005. – С. 38 – 42.

3. Леонова О. В. Оценка остаточного ресурса порталных кранов / О. В. Леонова // Материалы международных научно-практических конференций по подъёмным сооружениям за 2005г., г. Одесса – Одесса: Астропринт, 2006. – С.141 – 146.

4. Андриенко А.О. Состояние и перспективные направления обновления парка портовых кранов в морских портах Украины /А.О. Андриенко // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2006. – Вип.20. – С.86-89.

5. Кошелев В. Морские порты: стратегия «первооружения» / В. Кошелев // Порты Украины. – 2003. – № 2 (40). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/2825>

6. Фуратов Ю.Перспективные направления в портовом краностроении / Ю. Фуратов // Порты Украины. – 2011. – № 6 (108). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/2176>

7. Пелашенко С. Краны нужны разные/ С. Пелашенко // Порты Украины. – 2012. – № 4 (116).[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://portsukraine.com/node/2862>

## ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВАНТАЖІВ ЧЕРЕЗ ОБМЕЖЕНІ АКВАТОРІЇ МОРСЬКИХ СУДНОХІДНИХ КАНАЛІВ

*Тимченко І.В., Мотигіна В.С.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова*

*(м. Миколаїв, Україна)*

Взаємодія антропогенної системи «судно-порт» з морською екосистемою пов'язана з порушенням стійкості останньої і характеризується великою кількістю взаємозв'язків та виникненням різного виду екологічних загроз. Підвищення стійкості морських екосистем на пряму пов'язано з підвищенням рівня екологічної безпеки процесів транспортування та перевантаження вантажів, що можливо за рахунок розробки комплексної природоохоронної програми, яка включатиме як заходи по запобіганню забруднення так і заходи щодо ліквідації забруднення (технологічні, технічні, організаційні). Для розробки такої програми необхідно детально проаналізувати всі можливі екологічні загрози та створити комп'ютеризовану модель керування екологічними ризиками.

Метою роботи є оцінка екологічних ризиків антропогенного навантаження на екологічні системи обмежених акваторій морських суднохідних каналів на основі дослідження характеристики загроз та їх наслідків.

Аналіз досліджень щодо екологічних ризиків та їх класифікації [1] дозволив сформулювати відповідні категорії екологічних ризиків та деталізувати їх щодо антропогенного впливу на обмежені акваторії морських суднохідних каналів, зокрема:

- техногенні ризики, спричиненні негативними подіями техногенного походження (аварії з викидом хімічно небезпечних речовин, біологічного небезпечних речовин, пожежі та вибухи на суднах, ін.);

- природні ризики, пов'язані з погіршенням природних умов на маршруті руху судна, проявом стихійних сил та ін.;

- екологічні ризики, пов'язані з забрудненням навколишнього середовища, що призводить до порушення стійкості морських екосистем, ефективності процесів самоочищення;

- ризики через людські чинники, пов'язані безпосередньо з діями персоналу (помилка працівника, в результаті неефективної роботи на судні; помилка під час ремонту та реконструкції; помилка під час експлуатації судна).

- індивідуальні ризики, ті, що ставлять під загрозу існування та функціонування окремих живих організмів, групові ризики відносяться до сукупності живих організмів (популяції тварин або рослин, ін.);

- територіальні (екосистемні) ризики, пов'язані з погіршенням функцій середовища, погіршенням природних ресурсів, порушення ланцюгів харчування, зникнення рідких видів, ендеміків та ін., погіршенням гідрологічних та рекреаційних ресурсів;

- економічні ризики супроводжуються матеріальними збитками, які можна оцінити (пов'язані, зокрема, з втратами вантажу, енергетичними втратами, з судноплаванням, рекреаційні втрати (зокрема, при зменшенні кількості туристів-відвідувачів), збитки на ліквідацію небезпечної аварійної ситуації, тощо).

- прийнятні (допустимі) ризики, ті, що спричинили загрозу судну або екосистемі, але не завдали шкоду довкілля.

- прямі ризики, які спрямовані на стан навколишнього середовища, живі організми та непрямі ризики, які діють опосередковано на навколишнє середовище та живі організми.

Проведено дослідження екологічних ризиків антропогенного навантаження на екологічні системи обмежених акваторій морських суднохідних каналів ( $R$ ), які розділено

за категоріями і представлено на структурній схемі антропогенно-природної системи «судно – порт - екосистема» на рис. 1.

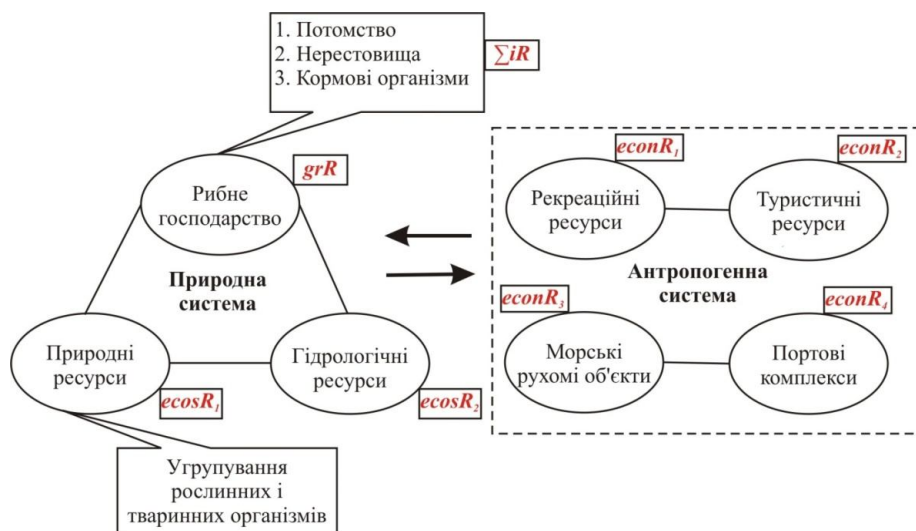


Рисунок 1 – Структурна схема антропогенно-природної системи «судно - порт-екосистема»

Запропонована методика оцінки ризику антропогенного навантаження на екологічні системи обмежених акваторій суднохідних каналів, де загальний рівень ризику представлено як:

$$Rzag(A) = \sum_{d=1}^3 iR(A) + grR(A) + \sum_{z=1}^2 ecosR(A) + \sum_{c=1}^4 econR(A), \quad (1)$$

де  $A$  – це можлива аварійна ситуація;  $d$ - кількість пошкоджених компонентів рибного господарства;  $iR_d$ - індивідуальний ризик, завданий компонентам рибного господарства;  $grR$  – груповий ризик, завданий рибному господарству;  $z$  – кількість складових елементів екосистемного ризику;  $ecosR$  – екосистемний ризик завданий природним та гідрологічним ресурсам;  $c$  – кількість елементів збитків економічного ризику;  $econR$  – економічний ризик.

Оцінка екологічного ризику, що характеризує рівень екологічної небезпеки процесів транспортування вантажів через суднохідні канали та перевантаження в морських портах базується на загальноприйнятому рівнянні і визначається як:

$$R(A) = P(A) \cdot B(A)_j^k, \quad (2)$$

де  $A$  – це можлива аварійна ситуація;  $P(A)$  – ймовірність виникнення аварійної ситуації  $A$ ;  $B(A)_j^k$ - еколого-економічний критерій, який враховує прогностні екологічні наслідки при виникненні аварійної ситуації  $A$  (при погіршенні  $j$ -го району при впровадженні  $k$ -го комплексу заходів).

Досліджено екологічні ризики, що виникають при транспортуванні та перевантаженні вантажів через суднохідні канали (зокрема, індивідуальні ризики, що призводять до пошкодження окремих видів флори та фауни акваторії і прибережної території, порушення гідрологічного режиму, втрати рекреаційних ресурсів та ін.), що дозволило сформулювати методику оцінки ризику антропогенного навантаження на екологічні системи обмежених акваторій, яка виступає основою для побудови моделі керування екологічними ризиками з метою зменшення антропогенного навантаження на екологічні системи обмежених акваторій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Добровольський В. В. Основи теорії екологічних систем : Навч. посіб. – К. : ВД «Професіонал», 2005. – 272 с.

## ВПЛИВ ТЕРМОДИФУЗІЙНОГО ПЕРЕНОСУ ДОМІШКИ ВОДНЮ НА ТЕМПЕРАТУРУ БЕЗПОЛУМ'ЯНОГО ГОРІННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІСТЕРЕЗИСНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛАТИНОВОЇ НИТКИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШКИ ВОДНЮ

**Федоренко А.В.**

*Ізмаїльський філіал Одеської морської академії  
(Україна)*

**Калінчак В.В., Черненко О.С., Калугін В.В.**

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
(Україна)*

**Софронков О.Н.**

*Одеський державний екологічний університет  
(Україна)*

В основі роботи термохімічних газоаналізаторів малих домішок горючих газів в газоповітряної суміші лежить використання залежності швидкості хімічного тепловиділення або температури частинки (дротику) каталізатору від концентрації домішки [1–2].

**Метою даної роботи** стало вивчення впливу термодифузії на характеристики гістерезису тепломасообміну та їх виродження для каталітичного горіння малих домішок водню на платинових нитках (частинках) згідно брутто-реакції  $H_2 + 0.5O_2 = H_2O$ . Для даної реакції характерно величина критерію Льюїса  $Le \approx 3$  і суттєва роль термодифузії [2, 3].

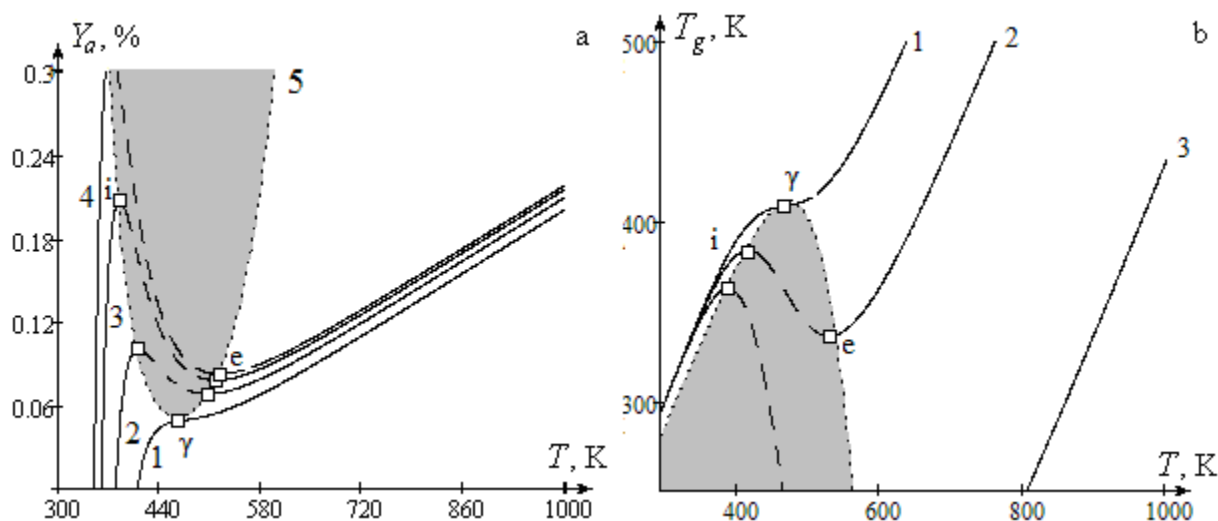
Для аналізу стаціонарних станів (стійких і критичних) температури каталізатора може бути використана залежність концентрації горючого газу від стаціонарної температури каталізатора. Її використаємо для аналізу впливу температури газу  $T_g$  і діаметру  $d$  на значення концентрації  $Y_{a,\infty}$ , які обумовлюють стійкі умови каталітичного горіння та критичні концентрації запалювання  $Y_{a,i}$  і погасання  $Y_{a,e}$ . З рівняння рівності швидкості хімічного тепловиділення і тепловіддачі (умова стаціонарності температури каталізатора) [2] залежність концентрації горючого газу від стаціонарної температури каталізатора (рис.1) представимо у вигляді

$$Y_a = \frac{Sh}{d} \frac{D_a \rho_g}{\left(1 + A_T \frac{T - T_g}{T_Q}\right) \rho_{gs} k_0} (1 + Se) \frac{(T - T_g)}{T_Q} \exp\left(\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

$$Se = \frac{k \cdot \rho_{gs}}{\beta \cdot \rho_g} = d \frac{\rho_{gs} k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)}{\rho_g D_a Sh}, \quad \psi_T = A_T \frac{T - T_g}{T_Q}, \quad A_T = (2 - n) \frac{T_Q}{T} Le^m, \quad T_Q = \frac{Q_a Le^{1-m}}{c_{pg}}$$

Тут  $Q_a$  – тепловий ефект реакції на 1 кг горючого газу,  $\psi_T$  – поправка на термодифузію,  $\rho_{gs}$  – густина суміші поблизу поверхні,  $кг/м^3$ ;  $k, k_0$  – константа хімічної реакції та передекспонента,  $м/с$ ;  $E$  – енергія активації,  $Дж/моль$ ;  $R$  – універсальна газова стала,  $Дж/(моль \cdot К)$ ,  $T$  – температура каталізатора,  $К$ ;  $T_g$  – температура газової суміші,  $c_{pg}$  – теплоємність повітря при сталому тиску,  $d$  – діаметр каталізатора,  $n$  – показник степеня в температурній залежності коефіцієнту концентраційної дифузії.

Розрахунки проводилися при наступних значеннях параметрів: платинова нитка діаметром 100 мкм,  $E = 55$  кДж/моль,  $k_0 = 0.8 \cdot 10^6$  м/с,  $Q_a = 120.9$  МДж/кгH<sub>2</sub>,  $D_{a0} = 0.6 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с,  $m = 0.33$ ,  $n = 1.82$ ,  $Sh = 0.51$ ,  $T_0 = 293$  К,  $\lambda_{g0} = 0.024$  Вт/(м·К),  $\rho_{g0} = 1.293$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_{g0} = 1005$  Дж/(кг·К).



**Рисунок 1** – а) залежність концентрації домішки водню в повітрі від стаціонарної температури нитки каталізатора (1). Температура газової суміші  $T_g$ : 1) 410 К, 2) 380 К, 3) 360 К, 4) 350 К. Крива 5 – залежність (6b); б) залежність температури воднево-повітряної суміші від стаціонарної температури нитки каталізатора (2). Масова частка водню в повітрі  $Y_a$ : 1) 0.05%, 2) 0.09%, 3) 0.19%. Крива 4 – залежність (6a)

На стаціонарній залежності  $Y_{a,\infty}(T)$  максимум (рис. 1) характеризує критичну концентрацію домішки  $Y_{a,i}$  самовільного займання (точка **i**), а мінімум – критичну концентрацію погасання  $Y_{a,e}$  (точка **e**) [3]. В режимі низькотемпературного окислення температура каталізатора практично не змінюється з ростом концентрації пального. При досягненні температури нитки  $T_i$  відбувається стрибкоподібний перехід на стійкий режим каталітичного горіння газу на поверхні нитки каталізатора. Температура каталітичного горіння також зростає при збільшенні  $Y_a$ . Навпаки, при зменшенні  $Y_a$  температура каталітичного горіння зменшується і при досягненні критичних значень  $Y_{a,e}$  і  $T_e$  відбувається згасання каталітичної хімічної реакції. Крива, що лежить між точками **i** та **e**, визначає температури запалювання реакції при нагріванні каталізатора.

Для аналізу стаціонарних станів (стійких і критичних) температури каталізатора може бути використана залежність температури газоповітряної суміші від стаціонарної температури нитки (частинки) каталізатора (рис. 2) з врахуванням термодифузії

$$T_g = T - \frac{T_0 Y_a}{\left( \frac{1 + Se}{Se} - (2 - n) \frac{T_0 Y_a}{T} Le^m \right)} \quad (2)$$

Максимум на залежності  $T_g(T)$  відповідає критичній умові каталітичного самозаймання домішки горючого газу на нитці (частинці) каталізатора (рис. 1b), а мінімум – умові каталітичного погасання [4]. Крива, що лежить між точками **i** та **e**, визначає умови запалювання каталітичної реакції при попередньому нагріванні каталізатора вище температури запалювання.

В дифузійній області  $k \gg \beta$  ( $Se \gg 1$ ) з (2) маємо рівняння для температури нитки в режимі безполум'яного горіння:

$$T_{bur} = T_g + \frac{Q_a Y_a L e^{1-m}}{c_{pg} (1 - A_T Y_a)}. \quad (3)$$

Врахування термодифузії (рис 1b) важливе при аналізі каталітичного горіння водню на платиновому каталізаторі [2]. Так термодифузійний перенос водню збільшує температуру безполум'яного горіння водню (3), включаючи і умову погасання, і практично не впливає на умову каталітичного самозаймання.

Використовуючи умову екстремуму на залежностях (1) і (2)

$$\partial Y_a / \partial T|_{i,e} = 0 \text{ і } \partial T_g / \partial T|_{i,e} = 0, \quad (4)$$

визначимо рівняння спінодалі (рис.1), що обмежує область параметрів системи, яка об'єднує умови каталітичного запалювання (гістерезисна область).

В результаті використання першої умови (4) до (1) отримаємо наступну рівність

$$(T - T_g) \frac{E}{RT^2} = \left( 1 + \frac{k \rho_{gs}}{\beta \rho_g} \right) (1 - B_T), \quad B_T = \frac{\psi_T T_g}{1 + \psi_T T}. \quad (5)$$

При отриманні цієї залежності температурні залежності властивостей горючого газу та газової суміші вважаються слабкими функціями. Отримане рівняння є квадратним відносно температури газової суміші, бо величина поправки на термодифузцію  $B_T$  залежить від температури газу. Однак, зважаючи на те, що для характерних значень  $n = 1.75-1.82$  і числа Льюїса  $Le = 3$ , температур каталізатора  $T = 600 - 1000$  К величина  $B_T < 0.1$  та її слабку залежність від температури газової суміші при  $T_g < 450$  К, її можна в першому наближенні розрахувати при певній характерній температурі газової суміші  $T_* = 410$  К.

Таким чином, використовуючи (5) і (1), з врахуванням масопереносу та термодифузії горючого компонента маємо систему двох параметричних рівнянь (рівнянь спінодалі), що описують критичні умови каталітичного самозаймання і погасання домішок водню на частинці каталізатора:

$$\left\{ \begin{aligned} T_g|_{i,e} &= T - \frac{RT^2}{E} (1 + Se)(1 - B_{T*}), \end{aligned} \right. \quad (6a)$$

$$\left\{ \begin{aligned} Y_a|_{i,e} &= \frac{c_{pg} RT^2}{Q_a L e^{1-m} E} \frac{(1 + Se)^2 (1 - B_{T*})}{Se (1 + \psi_T)}. \end{aligned} \right. \quad (6b)$$

Кожна з цих залежностей  $T_{g,i,e}(T)$  і  $Y_{a,i,e}(T)$  визначає гістерезисну область на відповідних стаціонарних залежностях  $T_g(T)$  та  $Y_a(T)$ . Зліва від гістерезисної області розташовані низькотемпературні стаціонарні стани, справа – високотемпературні (каталітичне горіння газів).

Аналіз (6a) і (6b) показує, що термодифузія горючого газу зменшує критичні значення температури газової суміші та частки горючого газу для його каталітичного самозаймання та погасання на каталізаторі.

При збільшенні температури газової суміші та зменшення концентрації горючого газу виникає виродження гістерезисної петлі на залежності температура нитки (частинки) каталізатору від концентрації домішки горючого газу (точка  $\gamma$ ). Саме значення температури газової суміші в точці виродження критичних умов і стала характерною температурою для оцінки параметрів газової суміші. Зі збільшенням діаметру нитки (частинки) каталізатору (рис.2) зменшується температура виродження, а отже, і гістерезисна область тепломасообміну каталізатора. Критичні значення концентрації



виродження також зменшуються. Каталітичне самозаймання протікає в кінетичній області ( $Se < 1$ ), а погасання в перехідній ( $1 < Se < 5$ ). При виродженні критичних умов дифузійно-кінетичне відношення близьке до 1.

Аналіз показав, що в точці виродження критичних умов для тонких нитках каталізатора коефіцієнт  $B_T$  малий. В цьому випадку параметри точки виродження (точка  $\gamma$ ) можна визначити, використавши додаткову умову  $\partial Y_{ai,e} / \partial T|_{\gamma} = 0$  або  $\partial T_{g,i,e} / \partial T|_{\gamma} = 0$ :

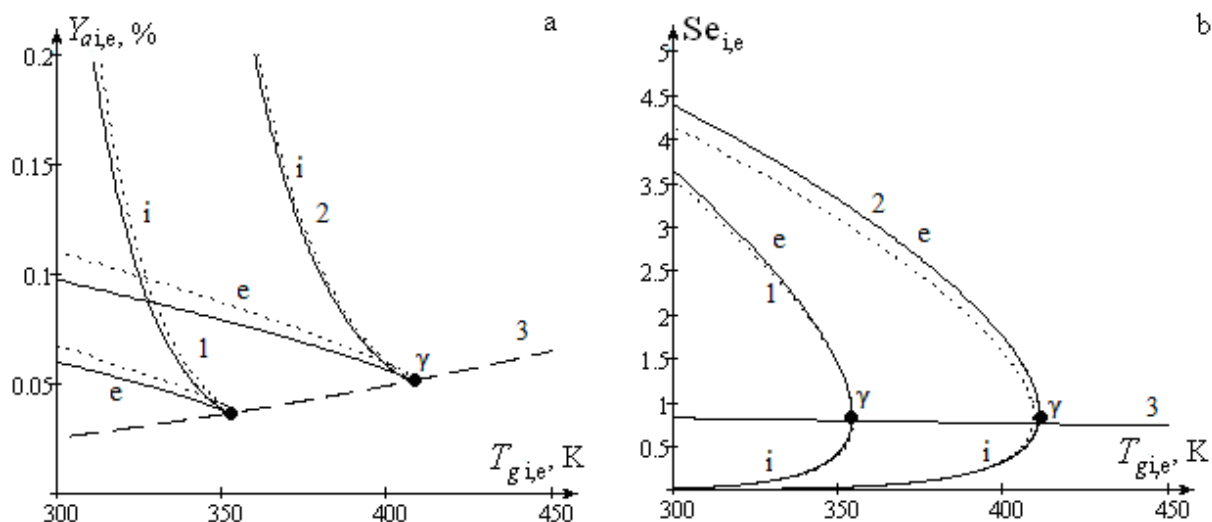


Рисунок 2 – Залежність критичних а) концентрації водню і б) дифузійно-кінетичного відношення від температури воднево-повітряної суміші для нитки каталізатора діаметром 1) 1000 і 2) 100 мкм. Суцільна крива – вплив термодифузії; пунктир –  $\psi_T \neq 0$ .

Крива 3 – Крива виродження, система рівнянь (11)

$$T_g|_{\gamma} = T \cdot \left( 1 - \frac{2T/T_E}{1 + 2T/T_E} \right), \quad Y_a|_{\gamma} = \frac{T^2}{T_E T_Q} \cdot \frac{4}{1 - (2T/T_E)^2}, \quad (7a)$$

$$d_{\gamma}|_{\gamma} = \frac{D_a Sh}{k} \cdot \frac{1 - 2T/T_E}{1 + 2T/T_E}, \quad Se_{\gamma}|_{\gamma} = \frac{1 - 2T/T_E}{1 + 2T/T_E}, \quad T_E = \frac{E}{R}. \quad (7b)$$

Отримані залежності представляють собою зв'язок параметрів виродження критичних умов в параметричному вигляді (параметр – температура каталізатора). Наприклад, для платинового дротика діаметром 100 мкм значення концентрації водню в повітрі, відповідає виродженню, складає близько 0.052 масових % (0.75 об'ємних %).

З іншого боку при збільшенні концентрації горючого газу можливо здійснити каталітичне запалювання горючого газу, то його горіння буде самопідтримуватися навіть при кімнатній температурі. З масовою часткою водню в суміші більше 1% температура погасання каталізатора  $T_e < 293$  К.

Таким чином, нами сформульовано області умов, при яких спостерігається гістерезис тепломасообміну та лінійна залежність температури нитки (частинки) каталізатору від концентрації домішки горючого газу та температури газоповітряної суміші при односторонньому і паралельному утворенні газоподібних продуктів в дифузійному режимі безполум'яного горіння і де можливо знехтувати променевими тепловтратами.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Калинчак В.В., Черненко А.С., Софронков А.Н., Селиванов С.Е., Федоренко А.В. Гистерезисные режимы беспламенного горения газоздушных смесей с примесями аммиака на платиновой нити (частице) при параллельном образовании азотсодержащих продуктов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2016. – №1. – С. 174-184.
2. Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В., Софронков А.Н. Гистерезис теплообмена при неизотермическом окислении примесей горючих газов в воздухе на платиновой проволоке // Физика аэродисперсных систем. – 2014. – № 51. – С. 41-52.
3. Wonyoung Choi, Sejin Kwon, Hyun Dong Shin // IJHE. – 2008. – Vol. 33. – P. 2400
4. Калинчак В.В., Черненко А.С., Калугин В.В. Влияние концентрации на предельные критические условия его каталитического окисления // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т.88, № 3. – С. 710-715.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**Филипицук А.Н., Горячкин В.Ю.**

*Херсонский филиал Национального университета кораблестроения  
имени адмирала С.И. Макарова  
(Украина)*

**Введение.** В настоящее время качественные показатели воды, которую можно использовать для подготовки водомазутной эмульсии (ВМЭ), не регламентированы (в публикациях используются только термины – пресная вода, водопроводная вода, дистиллят, нефтесодержащие воды, сточные воды) без указания допустимого количества минеральных примесей, определяющих интенсивность коррозионных процессов. Минералогический состав воды ВМЭ вносит изменение в содержании  $Na$  и  $Cl$  в отложениях золы топлива на поверхностях нагрева и влияет на их температуру плавления, а следовательно и интенсивность коррозионных процессов.

**Актуальность исследований.** По мнению [1] при сжигании сернистых топлив даже небольшое количество щелочных хлоридов в смеси с сульфатами значительно повышает интенсивность высокотемпературной коррозии (ВТК) стали. Повышение температуры поверхности слоя сульфатов при увеличении его толщины приводит к появлению расплава и поэтому к увеличению интенсивности коррозии по электрохимическому механизму, которая усиливается с повышением температуры.

При сжигании орэмульсии [2] наблюдается снижение интенсивности ВТК, полная очистка поверхности труб пароперегревателя котла, что по нашему мнению объясняется взрывным характером сгорания капель ВМЭ, вследствие чего возникает акустическое воздействие звуковых волн, приводящее к значительному уменьшению толщины слоя загрязнений, а значит и температуры на их поверхности.

По мнению [3], повышенное содержание воды и хлористых солей в нефтеостатках не может служить серьезным препятствием для их утилизации в главных котлах танкеров. Опыт сжигания нефтеостатков, отмытых подогретой заборной водой, свидетельствует о необходимости снижения в них солесодержания до 200–250 мг/л путем промывки пресной водой, так как иначе повышенное содержание хлористых солей в мазутах и нефтяных остатках приводит к образованию на паробразующих поверхностях котлов толстого слоя солевых отложений, ухудшающих процесс теплообмена в топке и уменьшающих паропроизводительность котла, к увеличению ВТК [4] и низкотемпературной коррозии НТК [5].

**Постановка задачи исследований.** Определение допустимого солесодержания ВМЭ, при котором интенсивность ВТК и НТК элементов энергетических установок находятся в допустимых пределах.

**Результаты исследований.** Для выполнения поставленных в работе целей были проведены сравнительные исследования скорости ВТК и НТК при сжигании стандартных мазутов ( $W^t = 2,0\%$ ) и ВМЭ ( $W^t = 30\%$ ), приготовленной с водой разного качества (разного солесодержания).

Для повышения достоверности оценки влияния различных факторов (и особенно солесодержания ВМЭ), исследования были проведены на экспериментальной установке, что обеспечивает постоянство параметров горения ВМЭ (избытка воздуха, расхода и температуры газов перед образцами труб), а также постоянство температуры металла исследуемых марок сталей.

При проведении экспериментальных исследований для приготовления ВМЭ использовалась водопроводная вода (солесодержание после хлорирования 1482 мг/л, жесткость 14,9 мг-экв/л, рН = 7,69). При водосодержании 30% получено солесодержание ВМЭ на уровне  $S = 490$  мг/л. При использовании дистиллята с солесодержанием 50 мг/л получено минимальное солесодержание ВМЭ с  $S = 16,9$  мг/л

Выбор для исследований ВТК двух марок сталей (стали 20 и 1X18H10T), у которых максимальные значения скорости ВТК находятся на противоположных сторонах исследованного интервала влияния температур стенки для применяемых в СЭУ основных марок сталей (максимальные для стали 20 при  $t_{ст} \approx 500$  °С, а для стали 1X18H10T - при  $t_{ст} \approx 630$  °С) позволит распространить вывод о допустимом солесодержании ВМЭ и на другие марки сталей, т.к. по данным [1] значения их коррозионной стойкости к ВТК находятся между значениями для стали 20 и 1X18H10T.

На основании проведенных экспериментальных и аналитических исследований получены номограммы оценки уровня ВТК стали 20 и 1X18H10T при изменении  $\alpha$  и солесодержания  $S$  при температурах стенки 500 и 630 °С. С помощью полученных регрессионных уравнений такие же номограммы построены и для других значений  $t_{ст}$ . Построены зависимости скорости ВТК  $K = f(\alpha)$  для мазута и двух сортов ВМЭ с солесодержанием 490 мг/л и 16,9 мг/л. Применяв равномерное распределение значений  $S$  по оси ординат построены зависимости  $K = f(S)$  при различных  $\alpha$ . Таким образом, предоставляется возможность определения скорости ВТК при различных значениях  $S$  и  $\alpha$  при температурах стенки в применяемых пределах для каждой марки стали.

**Выводы:** На основании проведенных экспериментальных исследований получены номограммы для определения допустимого солесодержания ВМЭ в зависимости от скорости ВТК для углеродистой стали 20 и аустенитной стали 1X18H10T при разных температурах стенки, которые позволяют:

- определить солесодержание ВМЭ, при котором при заданной температуре металла поверхности нагрева обеспечивается допустимая скорость ВТК данной марки стали;
- по солесодержанию воды, которую возможно получить на судне и применить для приготовления ВМЭ с  $W^r = 30$  %, определить возможную скорость ВТК при определенной температуре металла и заданном значении избытка воздуха  $\alpha$ ;
- определить допустимый диапазон солесодержания смеси различных видов воды, имеющих на судне, которые следует и можно применить для огневого обезвреживания в составе ВМЭ при обеспечении допустимых пределов скоростей ВТК и НТК.

Зная необходимое качество воды (ее солесодержание) можно оценить имеющиеся запасы различных видов пресной воды на судне и возможности получения дополнительного количества дистиллята и других видов пресной воды, полученных методами обратного осмоса и электродиализа, в энергетической установке которого планируется сжигание ВМЭ с водосодержанием  $W^r = 30$  %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Отс, А.А. Коррозия и износ поверхностей нагрева котлов [Текст] / А.А. Отс. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 272 с.
2. Синайский Н.А. Использование метода тяжелой кавитации для сжигания мазута и орэмульсии [Текст] / Н.А. Синайский, Т.А. Гошей // Теплоэнергетика, – 2003, №5. – С. 76–81.
3. Решетников, И.П. Современные аспекты утилизации нефтяных остатков на нефтеналивных судах [Текст] / И.П. Решетников // Труды ЦНИИМФ. – Темат. вып. «Топливоиспользование и теплотехника». – Л.: Транспорт, 1981. – №270. – С.101–106.
4. Филипчук А.Н. Высокотемпературная коррозия при сжигании водомазутной эмульсии [Текст] / А.Н Филипчук // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2016 р. № 1(14). – С. 269-281.
5. Филипчук, А.Н. Влияние солесодержания воды водомазутной эмульсии на скорость низкотемпературной коррозии [Текст] / А.Н. Филипчук // Водний транспорт: Зб. наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. – Київ : КДАВТ, 2016 р. – № 2(25). – С.70-77.

## РОЛЬ ГОМОГЕННОЇ РЕАКЦІЇ НЕІЗОТЕРМІЧНОГО ОКИСНЕННЯ ЧАДНОГО ГАЗУ В ПРОЦЕСАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ТА ГОРІННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ

**Черненко О.С., Калінчак В.В.**

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова*  
(Україна);

**Селіванов С.Е.**

*Херсонська державна морська академія*  
(Україна);

**Корчагіна М.М.**

*Одеський національний університет імені І. І. Мечникова*  
(Україна)

Небезпека самозаймання пилогазових газових сумішей, особливо вугільного пилу, багатого леткими газами, зростає з підвищенням температури середовища і при контакті з гарячими поверхнями. Найбільш вибухонебезпечним є пил, що містить частинки менше 200 мкм. Зважений в повітрі пил вугілля, сланцю, торфу утворює вибухонебезпечну суміш, яка, загорівшись, може вибухнути. Джерелом займання пилу найчастіше є тліючі відкладення пилу. Розпушування тліючого пилу дуже небезпечно, оскільки призводить до її інтенсивного горіння і може викликати пожежу або вибух. На морських судах, зокрема і при транспортуванні вугілля, більшість конструктивних елементів яких схильна до вібрації, може виникнути вторинне пилоутворення. При цьому із-за вібрації і вентиляції пил постійно знаходиться в зваженому стані і потоками повітря розноситься по усіх суднових приміщеннях.

Процеси горіння сукупності вуглецевих частинок характеризуються зміною температури горіння і появою чадного газу [1]. Вони являються складними процесами, які в першу чергу в холодних газових сумішах визначаються критичними умовами запалювання. Важливим параметром тут є температура запалювання – мінімальна початкова температура частинки, вище якої через деякий час спостерігається її горіння.

Запалювання вуглецевих частинок стає можливо при збільшенні концентрації кисню в холодній суміші з одночасним збільшенням початкової температури частинки вище критичної температури запалювання.

При горінні вугільного пилу між частинками постійно змінюється газовий склад та температура суміші за рахунок протікання гомогенних та гетерогенних реакцій. Так в даній роботі приймається, що в газі протікає гомогенна екзотермічна хімічна реакція горіння чадного газу  $2CO + O_2 = 2CO_2$ . Чадний газ  $CO$  разом з вуглекислим газом  $CO_2$  являються продуктами гетерогенного горіння коксових частинок сухому повітрі  $C + O_2 = CO_2$ , (I),  $2C + O_2 = 2CO$  (II) та  $C + CO_2 = 2CO$  (III).

Аналіз літературних джерел показує, що практично недосліджені механізми впливу окислення чадного газу в газі на температуру горіння вуглецевих частинок, кінетику появи чадного газу і діоксиду вуглецю.

Розрахунки проводилися на прикладі коксу антрациту марки АШ [1]. Попередньо нагріті частинки до температури  $T_b = 1500$  К перемішуються з азотно-кисневою сумішшю ( $Z_{O_2, \infty} = 0.50$ ) при кімнатній температурі 293 К, температура стінок реакційно приладу ( $T_w = T_g = 293$  К).

Для виникнення горіння початкова температура частинок повинна перевищувати певне критичне значення (рисунок 1, крива 1, 2 – запалювання і горіння, крива 3 – відсутність).

В цілому весь шлях горіння частинок (рисунок 1) можна розділити на три стадії. На першій стадії (період індукції) відбувається розігрів частинок за рахунок протікання гетерогенних реакцій (I) і (II) в перехідній області. Діаметр і густина частинок практично

не змінюються. Незначна кількість частинок зумовлює значний коефіцієнт надлишку кисню в суміші і повільне збільшення температури газової суміші за рахунок теплообміну з більш нагрітими частинками. Закінчення цієї стадії характеризується досягнення точки перегину на профілі температури частинки від координати (точка  $i$ ).

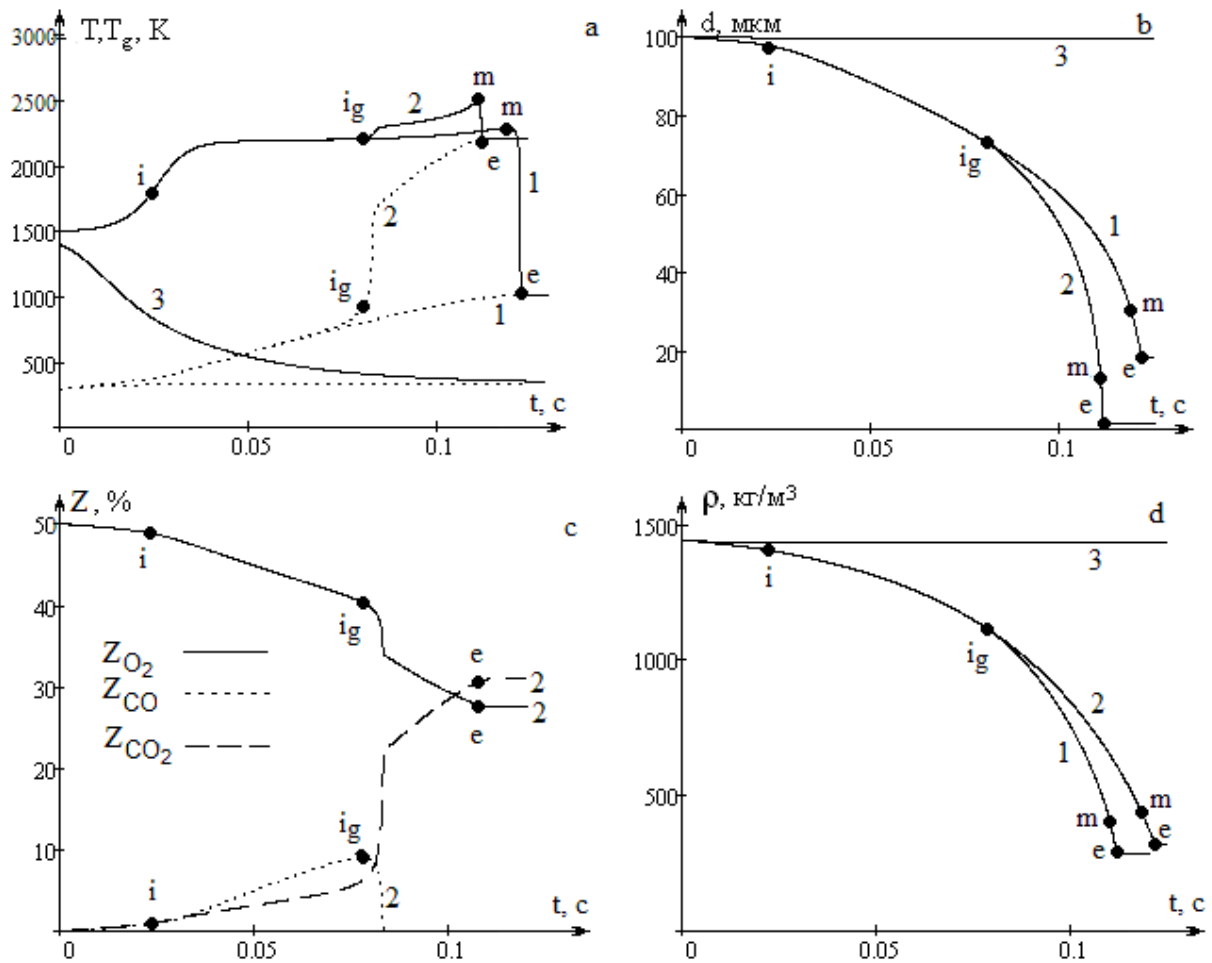


Рисунок 1 – Часові залежності температури частинок вуглецевого пилу  $T$  і газу  $T_g$  - (а), діаметру частинок  $d$  - (b), концентрації компонент в газі (с) і густини частинки (d) з часом.

Параметри: частинки коксу антрацити АШ з  $d_b = 100$  мкм та масовою концентрацією  $C_m = 0.015$  кг/м<sup>3</sup>, відносна масова концентрація вуглецю  $B = 6.0\%$ , чисельна концентрація  $C_N = 2.0 \cdot 10^7$  м<sup>-3</sup>. Криві 1 – без врахування гомогенної реакції окислення чадного газу.

Криві 2 – з врахуванням гомогенної реакції окислення чадного газу.

Криві 1, 2 –  $T_b = 1500$  К, крива 3 –  $T_b = 1400$  К

На другій стадії (гетерогенне горіння) протікає горіння вуглецевих частинок за рахунок гетерогенних реакцій (I) – (III) всередині і на їх зовнішній поверхні, в результаті чого спостерігається суттєве зменшення їх діаметра і густини, а отже і маси частинок. Наявність ендотермічної реакції не тільки суттєво зменшує квазістаціонарну температуру горіння частинок (200 – 400К), але і підвищує концентрацію чадного газу в середовищі. Вихід вуглекислого і чадного газу в екзотермічних реакціях (I) та (II) сумісний. Збільшення температури горіння частинок пояснюється зменшенням впливу тепловіддачі випромінюванням порівняно з тепловіддачею теплопровідністю і конвекцією [2].

Подальше зростання температури газової суміші разом з вмістом в ній чадного газу та наявності кисню приводить до самозаймання реакції чадного газу з киснем (IV). Умовою закінчення другої стадії та початку третьої стадії (гомогенного горіння) вибрана умова максимуму на залежності концентрації чадного газу від координати (точка  $i_g$ ).

Низька енергія активації зумовлює високу швидкість екзотермічної реакції (IV). Швидкість вигорання кисню в газі в разі збільшується і вміст чадного газу в суміш падає практично до нуля. Концентрація же вуглекислого газу, як продукту гомогенної реакції, підвищується. Стрімке підвищення температури газової суміші зменшує тепловіддачу від більш нагрітих частинок, в результаті їх температура ще більше підвищується.

Формування точки максимуму на часовій залежності температури частинки (точка  $m$ ) зумовлене конкуренцією зміни швидкості хімічного тепловиділення за рахунок гетерогенних реакцій та швидкості тепловтрат зі зменшенням діаметру частинки в процесі гетерогенного горіння і, як наслідок, зростанням коефіцієнта тепловіддачі ( $\alpha = \lambda_g Nu / d$ ) та коефіцієнта масо переносу ( $\beta = D Nu / d$ ). При зменшенні діаметру частинки збільшується швидкість зростання загальних тепловтрат, яка до досягнення точки максимуму температури горіння частинки, була менша за швидкість зростання хімічного гетерогенного тепловиділення з поверхні частинки ( $\partial q_h / \partial \beta < \partial q_{ch} / \partial \beta$ ,  $\partial q_h / \partial d > \partial q_{ch} / \partial d$ ) за рахунок радіаційного випромінювання. В точці максимальної температури горіння і відповідного діаметру частинки (точка  $m$ ) ( $\partial q_h / \partial \beta = \partial q_{ch} / \partial \beta$ ,  $\partial q_h / \partial d = \partial q_{ch} / \partial d$ ). Після проходження точки  $m$  –  $\partial q_h / \partial \beta > \partial q_{ch} / \partial \beta$ ,  $\partial q_h / \partial d < \partial q_{ch} / \partial d$ , внаслідок чого температура частинок зменшується

Подальше зменшення діаметру і густини частинки приводить до зменшення її температури і, як наслідок, різкого зменшення швидкості горіння в точці погасання (точка  $e$ , рис.1(а)). Умовою є досягнення мінімуму на залежності похідної температури частинки від координати (точка  $e$ , рисунок 1(а)).

Однак, вважаючи на високий рівень температури газової суміші вуглецеві частинки продовжують окислюватися. Тому за цих умов використання терміну «погасання» частинок є умовним. Самовільне «погасання» частинки відбувається практично в кінетичному режимі (дифузійно-кінетичне відношення  $Se < 0.25$ ), а не в дифузійному, як це затверджується в спеціальній літературі.

В роботі показано, що навіть при кімнатній температурі для нещільної суміші вугільного пилу, вплив гомогенної реакції окислення чадного газу суттєвий. При досягненні газом температури займання чадного газу відбувається його займання, що приводить до підвищення температури частинок, збільшення швидкості їх реагування. В результаті чого, маса вуглецевої частинки при самовільному погасанні додатково зменшується на порядок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Селіванов С.Е., Тригуб С.Н., Калінчак В.В., Черненко О.С., Барабанова В.В., Кичук С.М. Запалювання та горіння вугільного пилу в азотно-кисневих газових сумішах кімнатної температури // III Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика» 13-15 вересня 2016 року, м. Херсон, Україна. – С. 290-295.
2. Калінчак В.В., Черненко А.С. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, №2. – С. 80-88.

## АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ МОРСКИХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

*Шевченко В.В., Филищук А.Н., Фролов А.Н.*

*Херсонский филиал Национального университета кораблестроения  
имени адмирала С.И. Макарова  
(Украина)*

**Введение.** На морских транспортных, пассажирских и рыбопромысловых судах обеспечение экипажа и пассажиров пресной водой выполняют судовые системы питьевой и мытьевой воды. Поскольку высокая концентрация солей делает морскую воду непригодной для питьевых и хозяйственных целей её опресняют с целью снижения концентрации растворённых солей до 1 г/л. Опреснение воды может осуществляться химическими (химическое осаждение, ионный обмен), физическими (дистилляция, обратный осмос, электродиализ, вымораживание) и биологическими методами.

Совершенствованием систем водоснабжения судна является введение в их состав опреснительной установки. В качестве такого источника на судах традиционно применяется термический опреснитель, работающий на принципе дистилляции с потреблением тепла, получаемого при охлаждении главного двигателя. За последние годы были также предложены и находят применение новые альтернативные методы опреснения морской воды обратным осмосом и электродиализом. Электродиализный опреснитель (ЭДО), при определенных условиях может конкурировать с дистилляционными и обратноосмотическими опреснителями, т.к. позволяет выделить соли из воды, а не воду из соленых растворов. Преимущество электродиализа перед другими методами опреснения очевидно и рассмотрены в работах [1–3].

**Актуальность исследований.** Многообразие существующих методов получения пресной воды объясняется тем, что ни один из них не может считаться универсальным, приемлемым для конкретных условий. Поэтому совершенствование технологических схем деминерализации морской воды методом электродиализа актуально и сегодня. Выбор технологической схемы ЭДО зависит от ряда факторов:

- объема опресненной воды для судовой энергетической установки хозяйственно-бытовых нужд экипажа и пассажиров судна;
- общего солесодержания ( $C$ , г/л) и жесткости ( $Ж$ , мг·экв/л) растворенных солей в морской воде, которые зависят от района плавания судна в водах мирового океана и могут изменяться в широком диапазоне ( $C = 2 \div 40$  г/л,  $Ж = 10 \div 120$  мг·экв/л).

Эти факторы учитывают при выборе технологической схемы электродиализатора для опреснения морской воды. Практика проектирования электродиализных опреснителей, как за рубежом, так и в нашей стране показала [2,4,5], что выбор технологической схемы электродиализатора не подчинен законам определения точных границ выбора и использования той или иной технологической схемы. Следует выделить три основные технологические схемы электродиализатора для опреснения морской воды:

- циркуляционная (порционная) схема;
- прямоточная схема с прямотоком рассола;
- прямоточная схема с противотоком рассола.

**Постановка задачи исследований.** Поскольку выбор оптимальных схем и их параметров охватывает широкий диапазон солесодержания исходной воды и производительностей ЭДО, то необходимо рассмотреть все указанные технологические схемы и определить границы их применения

**Результаты исследований.** Теоретический анализ электродиализного процесса опреснения подтвердил, что выбор технологической схемы ЭДО и расчет его параметров, зависит прежде всего от производительности электродиализатора и характеристик



исходной воды по общему содержанию ( $C$ , г/л) и жесткости ( $J$ , мг·экв/л). Рассмотрены три основные технологические схемы ЭДО, которые были сформулированы при постановке задачи исследований и установлено следующее:

1. Циркуляционная (порционная) схема, как правило, применяется, при малых потребностях судна в пресной воде для технических и хозяйственно-бытовых нужд. Преимущество этой схемы, возможность создания серийных типовых установок ЭДО, которые не привязаны конкретным условиям района плавания, и с различным содержанием и жесткостью исходной воды, при простой автоматизации и контроле. Отрицательной стороной циркуляционной схемы является повышенный расход энергии на перекачку вследствие отдаления рабочих параметров от критических в большей части цикла деминерализации тем сильнее, чем выше исходное содержание.

2. Прямоточная схема с прямотоком рассола отличается простотой и может быть использована при средней и большой производительности установок (пассажирские суда, рыбопромысловые базы). Для каждого случая привязки этой схемы требуется не типовый проект. Схема экономична, т.к. имеет более низкий удельный расход электроэнергии с относительно меньшими удельными капиталовложениями.

3. Основное преимущество схемы прямоточная схема с противотоком рассола по сравнению с предыдущей, это более равномерное отношение концентраций рассола и дилюата, которое выражается через отношение ( $\gamma = C_p/C_d$ ). Следовательно, такая схема экономически эффективна при относительно высоком значении отношения концентрации рассола и дилюата, что имеет место при высокой кратности опреснения ( $\gamma = C_w/C_d$ ), например получении дилюата с концентрацией растворенных солей до 5 мг/л. Однако это оказывает влияние на увеличение расхода электроэнергии за счет повышения напряжения, а также снижения выхода по току. Существует еще ряд технологических схем ЭДО, используемых в практике электродиализного метода опреснения, но они не нашли широкого практического применения.

**Выводы.** Проведенные исследования технологических схем деминерализации морской воды методом электродиализа и анализ их результатов позволили сформулировать следующие выводы.

1. При деминерализации морской воды с использованием циркуляционной схемы целесообразно внедрять на судах с суточным потреблением пресной воды на технологические нужды СЭУ и хозяйственно-бытовые нужды экипажа до 500 м<sup>3</sup>/сут.

2. Если объем потребления пресной воды на судах превышает 500 м<sup>3</sup>/сут., то целесообразно использовать прямоточную схему с прямотоком рассола.

3. Прямоточная схема с противотоком рассола, также применима на судах с потреблением пресной воды свыше 500 м<sup>3</sup>/сут. и высокой кратностью опреснения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Королев А.К. Электродиализ морской воды [Текст] / А.К. Королев – Владивосток: ДГУ, 1986. – 98 с.

2. Смагин В. Н. Обработка воды методом электродиализа [Текст] / В.Н. Смагин – М. : Стройиздат, 1986. – 176 с.

3. Шевченко В.В. Анализ и оценка целесообразности внедрения мембранной технологии в судовой энергетике [Текст] / В.В. Шевченко, А.Н. Филипчук, В.В. Покорный // Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 16. – Одесса: ОНМА, 2006. – с. 24 – 31.

4. Слесаренко В.Н. Опреснение морской воды [Текст] / В.Н. Слесаренко В.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 278 с.

5. Pilat V.V. Electrodialysis concept in Desalination and New Units [Text] / V.V. Pilat // Membrane Technology for Wastewater Reclamation and Reuse. – Tel-Aviv, Israel, 9-13 September, 2002, p. 348-357.

## СПОСОБИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ БАЛАСТНИХ ВІДСІКІВ СУДЕН ТА ПЛАВУЧИХ СПОРУД

*Щедролосєв О.В., Кириченко К.В.*

*Херсонська філія Національного університету кораблебудування  
імені адмірала С.О. Макарова  
(Україна)*

**Вступ.** Баластні відсіки чистого баласту суден і плавучих споруд мають великі поверхні металоконструкцій, які вимагають значних витрат на їх відновлення протягом усього періоду експлуатації. Однією з найважливіших проблем є корозія металу, при впливі на нього агресивних (корозійно-активних) середовищ.

**Актуальність досліджень.** Боротьба з корозією здійснюється різними методами. Для зниження швидкості корозії металів використовують захисні покриття, електрохімічний захист і додавання сповільнювачів корозії (інгібіторів) до агресивних розчинів. Найбільш популярним рішенням для зниження швидкості корозії матеріалів з усіх перерахованих вище є використання інгібіторів, оскільки при цьому виключаються капітальні витрати на заміну устаткування. Отже, пошук і підбір найбільш ефективних інгібіторів не втрачає актуальності [1].

**Постановка задачі.** Провести аналіз інгібіторів корозії, які використовуються для захисту металоконструкцій які, дозволяють не тільки отримати високий захисний ефект, а також виключити можливість нанесення екологічних збитків.

**Результати досліджень.** Скорочення площі катодів досягається додаванням інгібіторів, які на катодних ділянках в умовах місцевого лужному середовищі утворюють нерозчинні продукти, які ізолюють частину поверхні катодів від розчину. Такою речовиною є, наприклад, бікарбонат кальцію, який в підлужному середовищі виділяється у вигляді важкорозчинного осаду карбонату кальцію. Цим пояснюється менша корозія сталі у жорсткій воді в порівнянні з пом'якшеною [2].

Анодні неорганічні інгібітори утворюють на поверхні металу тонкі (- 0,01 мкм) плівки, які гальмують перехід металу в розчин. До групи анодних сповільнювачів корозії відносяться хімічні сполуки - плівкоутворювачі і окислювачі [3].

Оксидна плівка складається з 25 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  і 75 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Нітриди застосовуються в якості інгібіторів корозії багатьох металів (крім цинку і міді) при рН більше 5. Вони дешеві і ефективні в разі присутності іржі. Найбільшого поширення в промисловості отримав гексаметафосфат натрію. Фосфати та поліфосфати знаходять застосування в якості сповільнювачів корозії сталі в воді і холодильних рассолах. Великий ефект досягається при спільному використанні фосфатів і хроматів.

Плівкоутворювальні засоби створюють на металевій поверхні покриття, яке виключає зволоження і таким чином перешкоджає корозії. Плівкоутворювальні матеріали зазвичай містять інгібітор корозії, який сприяє її затримці. Розрізняють такі варіанти [4]:

1) Плівкоутворювальні засоби на водній основі емульговані у воді. Після випаровування води залишається тонка, часто масляниста плівка.

2. Корозійно-захисні мастила складаються з мінерального мастила з добавкою інгібітору корозії. Плівка мастила утворює невисихаючу плівку, яку можна легко видалити, наприклад за допомогою органічного розчинника.

3. Корозійно-захисні рідини складаються з жирів, масел, воску або смоли з додаванням інгібітору корозії, розчинених в органічному розчиннику. Коли розчинник випаровується, утворюється захисна плівка товщиною від 1 мкм і менше до понад 200 мкм. Плівка в залежності від використаного плівкоутворювального речовини може бути жирної, маслянистої, соскоподібною або має вигляд фарби.

4. Корозійно-захистні жирові мастила також містять добавку інгібітору корозії. Вони утворюють м'яку жироподібну плівку, яка дає дуже хороший захист від корозії.

5. Засоби для нанесення гарячим зануренням наносять шляхом занурення в розплав вазеліну, воску і т.д. Виходить товста тверда плівка, яка забезпечує відмінний захист від корозії.

6. Полімерні плівки бувають двох видів: тонкі сухі міцно зчеплені з поверхнею пластикові плівки, які осаджуються з розчинників або наносяться шляхом гарячого занурення. Покриття, що наносяться гарячим зануренням, мають велику товщину, міцність, можуть бути сухими, маслянистими і легко видаляються.

Зниження витрат на захист металоконструкцій баластних відсіків від корозії може бути досягнуто шляхом застосування плаваючих шарів водонерозчинних інгібіторів. У міру заповнення цистерни чистого баласту, доцільно чистою прісною водою, вона подається в нижню частину цистерни при мінімальній швидкості підйому плаваючого шару покриття з інгібіторами, яке піднімається разом з баластом. Викид сполуки мастила з інгібіторами за борт через повітряну трубу, викликаний гідравлічним ударом, який утворюється в момент заповнення баластом всього обсягу, запобігається за допомогою цистерни збору залишків покриттів і захисним перфорованим листом. Відкачування баласту проводиться з нижньої частини цистерни чистого баласту. У міру підйому баласту плаваючий шар покриття з інгібіторами частково відкладається на металевих поверхнях цистерни, утворюючи суцільну захисну плівку, запобігаючи доступ до металу [5].

**Висновки.** Проведено аналіз інгібіторів корозії, які використовуються для захисту металоконструкцій баластних відсіків суден та плавучих споруд. Запропоновано спосіб застосування плаваючих шарів водонерозчинних інгібіторів, яка дозволяє зменшити витрати та виключити можливість нанесення екологічних збитків.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Шипигузов И. А. Современные ингибиторы коррозии [Текст] / И.А. Шипигузов, О.В. Колесова, В.В. Вахрушев, А.Л. Казанцев, В.З. Пойлов, С.В. Лановецкий, Л.А. Черезова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета – 2016, Вып. 1. – С. 114-129.
2. Шлугер М. А. Коррозия и защита металлов [Текст] / М.А. Шлугер, Ф.Ф. Ажогин, Е.А. Ефимов. – Москва : Металлургия, 1981. – 216 с.
3. Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии [Текст] / И. В. Семенова, Г.М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
4. Маттссон Э. Электрохимическая коррозия [Текст] / Э. Маттссон, Под ред Колотыркина. – Москва : Металлургия, 1991. – 158 с.
5. Пат. на винахід а 2016 05 299 Україна, МПК В63В43/06. Танки ізольованого баласту наливних суден / Щедролюсєв О.В., Рашковський О.С., Узлов О.М., Кириченко К.В. (Україна); заявник та патентовласник Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова від. 16.05.2016.

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- Авраменко Н.Н., 244  
Александровская Н.И., 147  
Алексейчук Б.М., 78  
Алексенко В.Л., 282  
Алоба Лео Тосин, 174  
Амелін М.Ю., 304  
Андреев А.А., 312  
Антипов Е.А., 297  
Аппазов Е.С., 285  
Аргун Щ.В., 306
- Бабенко А.Є., 140  
Басараба Ю.Б., 288  
Бень А.П., 93  
Библюк Н. І., 292  
Білюк І.С., 302  
Бобыр В.А., 81, 85  
Богдан Ю.А., 297  
Богомяко Н.А., 89  
Бойко Л.М., 34  
Бондаренко Ю.В., 254  
Борисова В.А., 179  
Борсук С.П., 62  
Брайло М.В., 301, 304  
Бредньова В.П., 23  
Бугрім Л.І., 302  
Букетов А.В., 304  
Бурмака И.А., 91  
Бурылов С.В., 359
- Варбанец Р.А., 144, 147  
Вассерман А.А., 305  
Вильский Г.Б., 93  
Войтасик А.М., 183  
Волков Е.Л., 95  
Волков Ю.В., 194  
Ворохобин И.И., 98  
Ворошилов А.С., 359  
Врублевский Р.Е., 186  
Вухерер Т., 301
- Габрук Р.А., 101  
Ганношина И.Н., 227  
Гаценко Л.В., 104  
Герасименко П.В., 188  
Герис М. І., 292  
Гиренко А.А., 282  
Гнатів А.В., 306  
Горбатюк Є.В., 345  
Горобец В.Г., 297
- Горячкін А.В., 310  
Горячкін В.Ю., 312, 371  
Грабко Р.В., 335  
Грешнов А.Ю., 191  
Грицук І.В., 194  
Грицук Ю.В., 194  
Гюлев Н.У., 41
- Двирная О.З., 191  
Дорогань О.І., 148, 277  
Доценко Г.Г., 150, 163  
Дудник О.С., 239  
Дядюра К.А., 335
- Евдокимова В. А., 108  
Евтушенко Д.В., 258  
Единович М.Б., 179  
Ермошкин Н.Г., 314  
Ерыганов А.В., 144  
Єнчев С.В., 199
- Жолтиков Е.И., 144  
Жук Д.О., 45  
Жук О.К., 45  
Журавська І.М., 203
- Засадний Т.М., 288  
Землянський А.В., 51, 58  
Зенкин Е.Ю., 156
- Иванов А.А., 244  
Игнатенко А.А., 314
- Каграманян А.О., 194  
Казак В.М., 55, 140, 207  
Казак Ю.В., 112  
Калиниченко Г.Е., 114  
Калінчак В.В., 319, 366, 373  
Калугин В.В., 319, 366  
Карпенко М.М., 349  
Каштальян П.В., 210  
Кириченко К.В., 378  
Киценко О.Р., 306  
Клименко І.Ю., 269  
Клочков О.П., 214  
Клюев О.І., 285  
Кобельник О.С., 304  
Коваленко С.И., 323  
Колбасенко О.В., 310  
Кондратьева Л.Ю., 117
- Кондратюк Э.Э., 227  
Коновец В.И., 217  
Корицький В.І., 159  
Корнієнко В.С., 312  
Короленко А.В., 244, 331  
Короленко Е.А., 331  
Корошенко Н.Н., 221  
Корчагіна М.М., 373  
Кошарська Л.В., 23, 166, 221  
Кравець І.О., 273  
Криворучко Д.В., 45  
Кривошапов С.И., 156  
Кузнецов В.А., 161  
Кулаков М.А., 122  
Кулаковська І.В., 203  
Куш Є.І., 6  
Кырнац В.И., 147
- Левин В.И., 25  
Лелеко Н.В., 224  
Леонов В.Е., 327  
Лизина Т.А., 23, 166  
Липчанський В.О., 72  
Лукинова В.В., 314  
Лысюк Д.Ю., 75
- Малыгин Б.В., 331  
Мальчевский В.П., 305  
Маляренко О.Д., 357  
Маранов А.В., 227  
Мартыненко К.С., 128  
Мачуга О. С., 292  
Моисеенко С.В., 241  
Моргуненко С.О., 45  
Мотигіна В.С., 364  
Мусієнко М.П., 203
- Наговський Д.А., 150, 163  
Нагорный В.В., 335  
Насіров Ш.Ш., 66  
Настасенко В.А., 125, 339  
Неділько В.М., 58  
Несин Д.Ю., 342  
Никифоров Ю.А., 166
- Одінцова А.М., 34  
Омельченко Т.Ю., 128
- Панченко С.В., 194

- Панчук Л.В., 207  
Пасечнюк С.С., 78  
Пелевін Л.Є., 345, 349  
Петров И.М., 30  
Пилипенко Ю.В., 239  
Пипченко А. Д., 9  
Погорлецкий Д.С., 331  
Поливода В.В., 230  
Поливода О.В. 230  
Поляков В.А., 234  
Прокудін Г.С., 239  
Прокудін О.Г., 239  
Прохоренко І.В., 55  
Проценко В.О., 353  
Пуляева А.В., 37  
Пятаков Э.Н., 130
- Райнов А.О., 81  
Рева О.М., 62, 66, 72  
Редчиц Д.А., 241  
Рижков С.С., 355  
Рожков С.О., 45, 179, 210  
Рудык В.Н., 258  
Русанов С.А., 285  
Рябенький В.М., 244
- Сало Н.А., 51  
Сапронов О.О., 304  
Сапронова А.В., 357  
Северин В.В., 133  
Селіванов С.Є., 319, 373  
Сердюк А.Д., 327  
Селіверстова С.Р., 34
- Сикирин В.Е., 136  
Сіманенков А.Л., 247  
Сірівчук А.С., 250  
Скоб Ю.А., 254, 258  
Скосарь В.Ю., 359  
Сметанкин С.А., 282  
Соколов А.Е., 262  
Соколова Н.А., 15  
Соколова О.В., 262  
Софронков О.Н., 366  
Степанчиков Д.М., 265  
Стиранівський О. А., 292  
Сторожев В.П., 161  
Стрелковская Л.А., 37  
Суглобов В.В., 361  
Сурков К.Ю., 58
- Таран І.О., 269  
Тарасов А.С., 241  
Тарасов С.В., 241  
Терещенкова О.В., 37  
Терлыч С.В., 342  
Тиганов О.С., 273  
Тимофеев К.В., 230  
Тимошенко А.В., 85  
Тимошенко Н.А., 55  
Тимченко І.В., 364  
Ткачук К.В., 361  
Товкач С.С., 170  
Товстокорий О.Н., 75  
Томина И.С., 254  
Троханяк В.И., 297
- Ушкаренко А.О., 148, 277
- Федоренко А.В., 366  
Федоров А.І., 13  
Филипщук А.Н., 371, 376  
Фісун М.Т., 273  
Фоменко А.М., 302  
Фролов А.Н., 376
- Хаєт Л.Г., 108  
Хачапуридзе Н.М., 234  
Хлевной К.И., 144  
Ходаков В.Е., 15
- Черненко О.С., 319, 366, 373  
Чупайленко О.А., 239
- Шаров Р.А., 314  
Шевченко В.В., 376  
Шевчук Д.О., 207  
Шишкин А.В., 217  
Шишкин С.А., 18  
Шульгін В.А., 72
- Щедролосев О.В., 378
- Юренин К.Ю., 282
- Якущенко С.В., 301, 304  
Янутенене Й., 357

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ПЕРЕДМОВА</b>	<b>3</b>
<i>Секція: Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у транспортній галузі</i>	
<b>ДО ПИТАННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ УЧАСНИКІВ ЛОГІСТИЧНОГО ЛАНЦЮГА</b> <i>Куш Є.І.</i> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (Україна)	<b>6</b>
<b>НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ</b> <i>Пипченко А. Д.</i> ІПО «Одесский морской тренажерный центр» (Украина)	<b>9</b>
<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ВАНТАЖНОГО ПЛАНУ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ</b> <i>Федоров А.І.</i> Херсонська державна морська академія (Україна)	<b>13</b>
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ</b> <i>Ходаков В.Е., Соколова Н.А.</i> Херсонский национальный технический университет (Україна)	<b>15</b>
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДОХОДСТВА</b> <i>Шишкин С.А.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	<b>18</b>
<i>Секція: Компетентнісний підхід в підготовці фахівців транспортної галузі</i>	
<b>ПРО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГРАФІЧНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ СТУДЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ ТА МОРСЬКИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ</b> <i>Бредньова В.П.</i> Одеська державна академія будівництва та архітектури (Україна); <i>Кошарська Л.В.</i> Одеський національний морський університет (Україна); <i>Лизіна Т.А.</i> УТК «Адмірал» (м.Одеса, Україна)	<b>23</b>
<b>АНАЛИЗ ИНДЕКСА ХИРША ОЦЕНКИ ВКЛАДА УЧЕНОГО В НАУКУ</b> <i>Левин В.И.</i> Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	<b>25</b>
<b>ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ МОРСКОГО АГЕНТА КАК ОПЕРАТОРА СЕРВИСНОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ</b> <i>Петров И.М.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	<b>30</b>

<b>МОТИВАЦІЯ УЧБОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КУРСАНТІВ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ</b>	<b>34</b>
<i>Селіверстова С.Р.</i> Херсонська державна морська академія (Україна); <i>Одінцова А.М.</i> Херсонський державний університет (Україна); <i>Бойко Л.М.</i> Миколаївський університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова (Україна)	
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА</b>	<b>37</b>
<i>Терещенкова О.В., Стрелковская Л.А., Пуляева А.В.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	
<b>Секція: Тренажерні системи та людський фактор на транспорті</b>	
<b>ПРО ВПЛИВ ТЕМПЕРАМЕНТУ ВОДІЯ НА ЧАС ЙОГО РЕАКЦІЇ</b>	<b>41</b>
<i>Гюлев Н.У.</i> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова (Україна)	
<b>ТРЕНАЖЕР ДЛЯ НАВЧАЛЬНО-ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ</b>	<b>45</b>
<i>Жук Д.О., Жук О.К., Криворучко Д.В.</i> Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна); <i>Рожков С.О.</i> Херсонська державна морська академія (Україна); <i>Моргуненко С.О.</i> Інспекція з питань підготовки та дипломування моряків (м. Київ, Україна)	
<b>АНАЛИЗ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПАРИРОВАНИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО-КОНФЛИКТНЫХ СИТУАЦИЙ</b>	<b>51</b>
<i>Землянский А.В., Сало Н.А.</i> Летная академия Национального авиационного университета (г. Кропивницкий, Украина)	
<b>АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЛЬОТНОЇ ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ</b>	<b>55</b>
<i>Казак В.М., Прохоренко І.В., Тимошенко Н.А.</i> Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)	
<b>ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В СИСТЕМІ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ</b>	<b>58</b>
<i>Неділько В.М., Сурков К.Ю., Землянський А.В.</i> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету (м. Кропивницький, Україна)	

<b>АПРОБАЦІЯ ЕРГОНОМІЧНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМУ ОСОБИСТІСНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ-АВІАДИСПЕТЧЕРІВ</b>	<b>62</b>
<i>Рева О.М., Борсук С.П.</i> Національний авіаційний університет (м. Київ Україна)	
<b>АПРОБАЦІЯ СТРАТЕГІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРЕДБАЧЕННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕК ХАРАКТЕРНИХ ПОМИЛОК ДИСПЕТЧЕРІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ</b>	<b>66</b>
<i>Рева О.М.</i> Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна); <i>Насіров Ш.Ш.</i> Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS (м. Баку, Азербайджанська Республіка)	
<b>ОПИС ЕРГАТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЬОТНОГО ЕКІПАЖУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНГВІСТИЧНИХ ЗМІННИХ</b>	<b>72</b>
<i>Рева О.М.</i> Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна); <i>Шульгін В.А.</i> Кіровоградська Льотна академія Національного авіаційного університету (м. Кропивницький Україна); <i>Липчанський В.О.</i> Центрально-Український національний технічний університет (м. Кропивницький, Україна)	
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С АЗИМУТАЛЬНЫМИ ПОДРУЛИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ</b>	<b>75</b>
<i>Товстокорий О.Н., Лысюк Д.Ю.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	
<i>Секція: Безпека судноплавства</i>	
<b>ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ</b>	<b>78</b>
<i>Алексейчук Б.М., Пасечнюк С.С.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ МЕСТА СУДНА В ПОЛДЕНЬ</b>	<b>81</b>
<i>Бобыр В.А., Райнов А.О.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НА КОНТЕЙНЕРОВОЗЕ</b>	<b>85</b>
<i>Бобыр В.А., Тимошенко А.В.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	



<b>ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЛЕНОВ ЭКИПАЖЕЙ СУДЕН МЕТОДОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНЫХ И ГАРМОНИЗИРУЮЩИХ ЧАСТОТ</b>	<b>89</b>
<i>Богомяко Н.А.</i> Медицинский центр «Довіра» (г. Херсон, Украина)	
<b>УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ МНОЖЕСТВА МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ</b>	<b>91</b>
<i>Бурмака И.А.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СУДОХОДСТВЕ</b>	<b>93</b>
<i>Вильский Г.Б.</i> Международный технологический университет «Николаевская политехника» (Украина); <i>Бень А.П.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ СИТУАЦИОННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ</b>	<b>95</b>
<i>Волков Е.Л.</i> Национальный университет «Одесская морская академия (Украина)	
<b>ДВУМЕРНАЯ ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВЕКТОРИАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ</b>	<b>98</b>
<i>Ворохобин И.И.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>НАВИГАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В УМОВАХ МІЛКОВОДДЯ</b>	<b>101</b>
<i>Габрук Р.А.</i> Національний університет «Одеська морська академія» (Україна)	
<b>ВИКОНАННЯ НОРМ ПРОЕКТУ ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО ВНУТРІШНІЙ ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ» У КОНТЕКСТІ ВІДРОДЖЕННЯ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОПЛАВСТВА</b>	<b>104</b>
<i>Гаценко Л.В.</i> Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Україна)	
<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТНОШЕНИЯ МОРЯКА К ОПАСНОСТИ</b>	<b>108</b>
<i>Евдокимова В. А.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина); <i>Хает Л.Г.</i> Служба помощи (г. Берлин, Германия)	
<b>ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕКЛАДКИ РУЛЯ НА ТОЧНОСТИ ПОВОРОТА СУДНА</b>	<b>112</b>
<i>Казак Ю.В.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	

<b>УЧЕТ ТОЧЕЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБЛАСТИ НЕДОПУСТИМЫХ КУРСОВ СУДОВ</b>	<b>114</b>
<i>Калиниченко Г.Е.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>РОЗРАХУНОК КРИТЕРІЇВ МОРЕХІДНОСТІ В ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАТРУЛЬНИХ СУДЕН</b>	<b>117</b>
<i>Кондратьєва Л.Ю.</i> Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (м. Миколаїв, Україна)	
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАСТИ ОПАСНЫХ СКОРОСТЕЙ СУДОВ ДЛЯ ВЫБОРА МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ</b>	<b>122</b>
<i>Кулаков М.А.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО РАЗРУШЕНИЯ ВИРУСОВ ИММУНОДЕФИЦИТА ЧЕЛОВЕКА (ВИЧ)</b>	<b>125</b>
<i>Настасенко В.А.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	
<b>ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ ДИСТАНЦИИ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ</b>	<b>128</b>
<i>Омельченко Т.Ю., Мартыненко К.С.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ СУДОВ ПРИ ВЫБОРЕ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ</b>	<b>130</b>
<i>Пятаков Э.Н.</i> Институт последипломного образования «Одесский морской тренажерный центр», Херсонский филиал (г. Херсон, Украина)	
<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПУСТИМОЙ ОБЛАСТИ ПЛАВАНИЯ СУДНА В СТЕСНЕННОМ РАЙОНЕ</b>	<b>133</b>
<i>Северин В.В.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<b>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБСЕРВОВАННЫХ КООРДИНАТ СУДНА ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЛИНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБОБЩЕННОМУ ЗАКОНУ ПУАССОНА</b>	<b>136</b>
<i>Сикирин В.Е.</i> Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)	
<i>Секція: Контроль, діагностика і прийняття рішень при управлінні рухомими об'єктами</i>	
<b>ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЗОВНІШНІХ ОБВОДІВ ЛІТАКА У ПОЛЬОТІ</b>	<b>140</b>
<i>Бабенко А.Є., Казак В.М.</i> Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)	

<b>СИНХРОНИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ МОНИТРОИНГА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ</b>	<b>144</b>
<i>Варбанец Р.А., Ерыганов А.В., Жолтиков Е.И., Хлевной К.И.</i> Одесский национальный морской университет (Украина)	
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ</b>	<b>147</b>
<i>Варбанец Р.А., Кырнац В.И., Александровская Н.И.</i> Одесский национальный морской университет (Украина)	
<b>THE WAY FOR DESCRIPTION OF THE ALGORITHMS OF SHIP POWER PLANT PROTECTION SYSTEMS</b>	<b>148</b>
<i>Dorogan O.I., Ushkarenko A.O.</i> Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)	
<b>СИСТЕМА ДИСТАНЦИЙНОГО КЕРУВАННЯ СУДНОВИМ ГОЛОВНИМ ДВИГУНОМ</b>	<b>150</b>
<i>Дощенко Г.Г., Наговський Д.А.</i> Херсонська державна морська академія (Україна)	
<b>ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ ТОПЛИВОПОДАЧИ СОВРЕМЕННЫХ ДИЗЕЛЕЙ</b>	<b>156</b>
<i>Зенкин Е.Ю., Кривошапов С.И.</i> Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет (Украина)	
<b>ФОРМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ ДЛЯ РУШІЙНО-РУЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ САМОХІДНОЇ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ</b>	<b>159</b>
<i>Корицький В.І.</i> Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна)	
<b>ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ МАЛООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</b>	<b>161</b>
<i>Кузнецов В.А., Сторожев В.П.</i> Одесский национальный морской университет (Украина)	
<b>СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КРАНОМ ТИПУ DEEPSEA</b>	<b>163</b>
<i>Наговський Д.А., Дощенко Г.Г.</i> Херсонська державна морська академія (Україна)	
<b>ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СУДОВОЙ ТЕХНИКИ</b>	<b>166</b>
<i>Никифоров Ю.А., Кошарская Л.В.</i> Одесский национальный морской университет (Украина); <i>Лызина Т.А.</i> УТК «Адмирал» (г. Одесса, Украина)	

- АРХИТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМ ДВИГУНОМ** 170  
*Товкач С.С.*  
Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)
- Секція: Інформаційні технології, системний аналіз та математичне моделювання складних об'єктів*
- МОДЕЛИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АПАРАТА** 174  
*Алоба Лео Тосин*  
Национальный университет кораблестроения имени адмирала С.Й. Макарова (г. Николаев, Украина)
- МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАТЯЖЕНИЕМ РУЛОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАМОТКЕ** 179  
*Борисова В.А.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина);  
*Единович М.Б.*  
Херсонский национальный технический университет (Украина);  
*Рожков С.А.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)
- САМОХІДНИЙ ПРИВ'ЯЗНИЙ ПІДВОДНИЙ АПАРАТ-РОБОТ ТРАНСПОРТНОГО ТИПУ ЯК ОБ'ЄКТ КЕРУВАННЯ** 183  
*Войтасик А.М.*  
Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна)
- МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СЕТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА МИО В СРЕДЕ МАТЛАВ** 186  
*Врублевский Р.Е.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)
- МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, ИСПЫТЫВАЮЩЕЙ КОМБИНИРОВАННОЕ НАГРУЖЕНИЕ** 188  
*Герасименко П.В.*  
Петербургский государственный университет путей сообщения (г. Санкт-Петербург, Россия)
- ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В МОРСКИХ ПОРТАХ** 191  
*Грешнов А.Ю., Двирная О.З.*  
Национальный университет кораблестроения имени адмирала С.Й. Макарова (Украина)

**ОСОБЛИВОСТІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ** 194

*Грицук І.В.*

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна);

*Панченко С.В., Каграманян А.О.*

Український державний університет залізничного транспорту

(м. Харків, Україна);

*Грицук Ю.В.*

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

(м. Краматорськ, Україна);

*Волков Ю.В.*

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)

**ФОРМУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ АВІАЦІЙНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В ДВИГУНОВОМУ РЕЖИМІ** 199

*Єнчев С.В.*

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБЛІКУ РОЗВАНТАЖЕННЯ СУДЕН-КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ** 203

*Журавська І.М., Кулаковська І.В., Мусієнко М.П.*

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

(м. Миколаїв, Україна)

**БОРТОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РЕКОНФІГУРАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ СУДНОМ В ОСОБЛИВИХ СИТУАЦІЯХ У ПОЛЬОТІ** 207

*Казак В.М., Шевчук Д.О., Панчук Л.В.*

Національний авіаційний університет (м. Київ, Україна)

**MODERN INTELLECTUAL INTERFACE OF INTEGRATED NAVIGATIONAL SYSTEMS** 210

*Kashtalyan P.V., Rozhkov S.O.*

Kherson State Maritime Academy (Ukraine)

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ** 214

*Клочков О.П.*

Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова

(м. Миколаїв, Україна)

**НОВЫЕ СТАНДАРТЫ ИНТЕГРИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ МОРСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И РАДИОСВЯЗИ** 217

*Коновец В.И., Шишкин А.В.*

Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)

**НЕОБХОДИМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭРГОНОМИКЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РУЛЕВОЙ РУБКИ СКОРОСТНОГО СУДНА ИЛИ КОРАБЛЯ ВМФ** 221

*Корощенко Н.Н., Кошарская Л.В.*

Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)

- РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА СОВРЕМЕННЫХ НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИХ ИНТЕГРАЦИИ СО СРЕДСТВАМИ ГМССБ** 224  
*Лелеко Н.В.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)
- ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОХОДСТВЕ** 227  
*Маранов А.В., Ганношина И.Н., Кондратюк Э.Э.*  
Киевская государственная академия водного транспорта имени гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Украина)
- АВТОМАТИЗАЦІЯ БАЛАСТНОЇ СИСТЕМИ ТАНКЕРА** 230  
*Поливода В.В.*  
Херсонська державна морська академія (Україна);  
*Поливода О.В.*  
Херсонський національний технічний університет (Україна);  
*Тимофеев К.В.*  
Херсонська державна морська академія (Україна)
- ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ЛЕВИТАЦИОННОЙ СИЛЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА** 234  
*Поляков В.А., Хачапуридзе Н.М.*  
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр, Украина)
- ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МАТРИЧНІ МОДЕЛІ** 239  
*Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Дудник О.С., Пилипенко Ю.В.*  
Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)
- ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АЭРОДИНАМИКИ ЛОПАСТИ РОТОРА ДАРЬЕ** 241  
*Тарасов С.В., Редчиц Д.А.*  
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр, Украина);  
*Моисеенко С.В.*  
Херсонский национальный технический университет (Украина)  
*Тарасов А.С.*  
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр, Украина)
- АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СУДНА** 244  
*Рябенский В.М.*  
Національний університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова (г. Николаев, Украина);  
*Короленко А.В., Иванов А.А., Авраменко Н.Н.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

<b>СИНТЕЗ ПІД<sup>2</sup>Д<sup>3</sup>-РЕГУЛЯТОРІВ У СИСТЕМАХ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВА СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК</b> Сіманенков А.Л. Херсонська державна морська академія (Україна)	<b>247</b>
<b>ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ЗАХИЩЕНІЙ АКВАТОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПІДВОДНОГО АПАРАТА З КЕРУВАННЯМ ЧЕРЕЗ РАДІОБУЙ</b> Сірівчук А.С. Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (м. Миколаїв, Україна)	<b>250</b>
<b>ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ ГАЗА</b> Скоб Ю.А., Бондаренко Ю.В., Томина И.С. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» (г. Харьков, Украина)	<b>254</b>
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ТОКСИЧНОГО ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРЕ</b> Скоб Ю.А., Евтушенко Д.В., Рудык В.Н. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» (г. Харьков, Украина)	<b>258</b>
<b>РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ</b> Соколов А.Е., Соколова О.В. Херсонский национальный технический университет (Україна)	<b>262</b>
<b>МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ЧАСТИНИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ</b> Степанчиков Д.М. Херсонський національний технічний університет (Україна)	<b>265</b>
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ В ПРОЦЕСІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯ ШАХТНОГО ДИЗЕЛЕВОЗА</b> Таран І.О., Клименко І.Ю. Державний ВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Днепр, Україна)	<b>269</b>
<b>СИСТЕМА ІНВАРІАНТНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ</b> Тиганов О.С., Кравець І.О., Фісун М.Т. Чорноморський національний університет імені П.Могили (м. Миколаїв, Україна)	<b>273</b>
<b>METHODOLOGY OF SOFTWARE FUNCTIONAL TESTING FOR THE SHIP'S ELECTRIC GENERATING PLANTS CONTROL SYSTEMS</b> Ushkarenko O.O., Dorogan O.I. Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)	<b>277</b>

**Секція: Проблеми надійності та енергозбереження,  
екологічна безпека та ресурсозберігаючі технології**

- К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ОКСИФЕРОВ** 282  
*Алексенко В.Л., Сметанкин С.А., Юренин К.Ю., Гиренко А.А.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)
- ПРИКЛАД РОЗРАХУНКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРНИХ ПЕРІОДІВ ЗАРЯДКИ, ПРОСТОЮ, ТА РОЗРЯДКИ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВЗ** 285  
*Аппазов Е.С.*  
Херсонська державна морська академія (Україна);  
*Русанов С.А., Ключев О.І.*  
Херсонський національний технічний університет (Україна)
- ПЕРСПЕКТИВИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЕЛЕКТРОЛІЗУ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДООКСИДНОГО ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА** 288  
*Басараба Ю.Б.*  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна);  
*Засадний Т.М.*  
Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка НАН України (м. Львів, Україна)
- ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ҐРУНТОВУ ПОВЕРХНЮ РУХУ** 292  
*Библюк Н. І., Мачуга О. С., Стиранівський О. А., Герис М. І.*  
Національний лісотехнічний університет України (м. Львів, Україна)
- УЛУЧШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ВДОЛЬ БОКОВЫХ СТЕНОК И ИХ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ** 297  
*Богдан Ю.А.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина);  
*Горобец В.Г., Троханяк В.И., Антипов Е.А.*  
Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины (г. Киев, Украина)
- ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛЕФІРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ ДЕТАЛЕЙ ТА МЕХАНІЗМІВ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ** 301  
*Брайло М.В., Якущенко С.В.*  
Херсонська державна морська академія (Україна);  
*Вухерер Т.*  
Маріборгський університет (м. Маріборг, Словенія)



- СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ ДОПОМІЖНОГО СУДНОВОГО КОТЛА** 302  
*Бугрім Л.І., Білюк І.С., Фоменко А.М.*  
Національний університет кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова (м. Миколаїв, Україна)
- РОЗРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ** 304  
*Букетов А.В., Браїло М.В., Сапронов О.О., Кобельник О.С., Якущенко С.В., Амелін М.Ю.*  
Херсонська державна морська академія (Україна)
- УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 1,1,1,2-ТЕТРАФТОРЭТАНА (R134a)** 305  
*Вассерман А.А., Мальчевский В.П.*  
Одесский национальный морской университет (Украина)
- РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТРАНСПОРТНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ** 306  
*Гнатів А.В., Аргун Ш.В., Кищенко О.Р.*  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна)
- ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОТЛІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ** 310  
*Горячкін А.В.*  
Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного (Україна);  
*Колбасенко О.В.*  
Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна)
- ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОПАЛЮВАННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ ПЕРЕД УТИЛІЗАЦІЙНИМИ КОТЛАМИ** 312  
*Горячкін В.Ю., Андреев А.А., Корнієнко В.С.*  
Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна)
- ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС РАБОЧИХ ЛОПАТОК СУДОВЫХ ТНД В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ, ТАНКЕРОВ, ЛЕДОКОЛОВ И КОРАБЛЕЙ ВМФ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ НАГРУЗКИ** 314  
*Ермошкин Н.Г., Шаров Р.А., Игнатенко А.А., Лукинова В.В.*  
Национальный университет «Одесская морская академия» (Украина)
- РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ** 319  
*Калугин В.В., Калинин В.В., Черненко А.С.*  
Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова (Украина)  
*Селиванов С.Е.*  
Херсонская государственная морская академия (Украина)

<b>ИННОВАЦИИ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЭУ</b> <i>Коваленко С.И.</i> Дунайский институт Национального университета «Одесская морская академия» (г. Измаил, Украина)	<b>323</b>
<b>КАТАЛИТИЧЕСКАЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК</b> <i>Леонов В.Е., Сердюк А.Д.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	<b>327</b>
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРОЩЕННЫХ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ КАК НЕОБХОДИМОСТЬ ВВЕДЕНИЯ В ОСНОВУ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИКЛАДНОГО МАГНЕТИЗМА</b> <i>Малыгин Б.В., Короленко Е.А., Короленко А.В., Погорлецкий Д.С.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	<b>331</b>
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> <i>Нагорный В.В., Дядюра К.А., Грабко Р.В.</i> Сумский государственный университет (Украина)	<b>335</b>
<b>АНАЛИЗ ГИДРОВОЛНОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> <i>Настасенко В.А.</i> Херсонская государственная морская академия (Украина)	<b>339</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРАНОВОГО СУДНА БОЛЬШОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ</b> <i>Несин Д.Ю.</i> Центральное конструкторское бюро «Коралл», г. Севастополь; <i>Терлыч С.В.</i> Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала С.И. Макарова (Украина)	<b>342</b>
<b>ГІДРОАВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ ОБЛАДНАНА ГІДРАВЛІЧНИМ ЕНЕРГОАКУМУЛЯТОРОМ</b> <i>Пелевін Л.С., Горбатюк Є.В.</i> Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна)	<b>345</b>
<b>ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ</b> <i>Пелевін Л.Е.</i> Київський національний університет будівництва і архітектури (Україна); <i>Карпенко М.М.</i> Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)	<b>349</b>
<b>СТРУКТУРА ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ СУДНОВИХ СЕПАРАТОРІВ</b> <i>Проценко В.О.</i> Херсонська державна морська академія (України)	<b>353</b>

- EMPLOYING THE SEPARATION GRADIENT AEROSOL TECHNOLOGIES FOR DESIGNING THE OIL SEPARATORS OF VENTING SYSTEMS IN GAS TURBINE ENGINES** 355  
*Ryzhkov S.S.*  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Ukraine)
- ДОСЛІДЖЕННЯ АКТИВНОСТІ ПОВЕДІНКИ ДИСПЕРСНОГО КАРБОНАТУ ЛІТІЮ І КАРБОНАТУ НІКЕЛЮ МЕТОДОМ ІЧ-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ** 357  
*Сапронова А.В.*  
Херсонська державна морська академія (Україна);  
*Малярєнко О.Д.*  
Білоруський національний технічний університет (м. Мінськ, Республіка Білорусь);  
*Янутенене Й.*  
Клайпедський університет (м. Клайпеда, Литва)
- ВЕТРОСОЛНЕЧНЫЙ КАТАМАРАН** 359  
*Скосарь В.Ю., Ворошилов А.С., Бурылов С.В.*  
Институт транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр, Украина)
- ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ В ОСНАЩЕННІ ПОРТІВ КРАНАМИ** 361  
*Суглобов В.В., Ткачук К.В.*  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (м. Маріуполь, Україна)
- ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВАНТАЖІВ ЧЕРЕЗ ОБМЕЖЕНІ АКВАТОРІЇ МОРСЬКИХ СУДНОХІДНИХ КАНАЛІВ** 364  
*Тимченко І.В., Мотигіна В.С.*  
Національний університет кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (м. Миколаїв, Україна)
- ВПЛИВ ТЕРМОДИФУЗІЙНОГО ПЕРЕНОСУ ДОМШКИ ВОДНЮ НА ТЕМПЕРАТУРУ БЕЗПОЛУМ'ЯНОГО ГОРІННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІСТЕРЕЗИСНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРИ ПЛАТИНОВОЇ НИТКИ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМШКИ ВОДНЮ** 366  
*Федоренко А.В.*  
Ізмаїльський філіал Одеської морської академії (Україна)  
*Калінчак В.В., Черненко О.С., Калугін В.В.*  
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна)  
*Софронков О.Н.*  
Одеський державний екологічний університет (Україна)
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО СОЛЕСОДЕРЖАНИЯ ВОДОМАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ** 371  
*Филиппчук А.Н., Горячкин В.Ю.*  
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала С.И. Макарова (Украина)
-

<b>РОЛЬ ГОМОГЕННОЇ РЕАКЦІЇ НЕІЗОТЕРМІЧНОГО ОКИСНЕННЯ ЧАДНОГО ГАЗУ В ПРОЦЕСАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ТА ГОРІННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ</b>	<b>373</b>
<i>Черненко О.С., Калінчак В.В.</i> Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (Україна); <i>Селіванов С.Е.</i> Херсонська державна морська академія (Україна); <i>Корчагіна М.М.</i> Одеський національний університет імені І. І. Мечникова (Україна)	
<b>АНАЛИЗ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ МОРСКИХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА</b>	<b>376</b>
<i>Шевченко В.В., Филищук А.Н., Фролов А.Н.</i> Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала С.Й. Макарова (Украина)	
<b>СПОСОБИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ БАЛАСТНИХ ВІДСІКІВ СУДЕН ТА ПЛАВУЧИХ СПОРУД</b>	<b>378</b>
<i>Щедролосєв О.В., Кириченко К.В.</i> Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала С.О. Макарова (Україна)	
<b>ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК</b>	<b>380</b>

ДЛЯ НОТАТОК:

ДЛЯ НОТАТОК:

ДЛЯ НОТАТОК:

Збірка матеріалів  
IX Міжнародної науково-практичної конференції

**СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ  
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
НА ТРАНСПОРТІ**

**MINTT-2017**

Відповідальний за випуск *Врублевський Р. Є.*  
Комп'ютерна верстка *Клементьєва О. Ю.*  
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В. Г.*

Підписано до друку 15.05.2017. Формат 60x84/16.  
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. аркушів 25,00. Тираж 150 прим.

Херсонська державна морська академія  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012  
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20