
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

випуск 1(29)

Київ
2020

Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – Випуск 1(29). – 136 с. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.1.29>

У збірнику публікуються матеріали, що відображають наукову й методичну роботу викладачів і аспірантів Державного університету інфраструктури та технологій, фахівців підприємств і організацій водного транспорту. Більшість публікацій присвячена проблемам галузі експлуатації засобів водного транспорту, зокрема, розглядаються питання інфраструктури, технологій та організації транспортних процесів, впровадження сучасних технологій, математичного моделювання, екологічної безпеки, економічних аспектів діяльності річкового та морського транспорту й якісної підготовки фахівців з даного напрямку.

Збірник має чотири тематичні розділи: «Судноводіння та енергетика суден», «Методика навчання», «Інформаційні технології», «Екологічна безпека».

Засновники: Державний університет інфраструктури та технологій

Адреса редакції: вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071

Телефон: +38(044) 482-51-38; +38(050) 398-47-96

E-mail редакції: duit@duit.edu.ua

Інформаційний сайт: <http://vt.duit.edu.ua/index.php/home>

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Головний редактор – Заслужений діяч науки і техніки, доктор технічних наук, професор Панін В.В.

Редакційна колегія:

Тимошук О.М., д.т.н., професор (заступник головного редактора); Богом'я В.І., д.т.н., професор (заступник головного редактора); Сьомін О.А., к.т.н.; Варбанець Р.А., д.т.н., професор; Горобченко О.М., д.т.н., доцент; Дубинець О.І., д.т.н., професор; Доронін В.В., к.т.н.; Колесник В.В., к.т.н., доцент; Кривошей Ф.О., д.т.н., професор; Лісовал А.А., д.т.н., професор; Майборода О.М., д.т.н., професор; Сербін С.І., д.т.н., професор; Соломенцев О.В., д.т.н., професор; Фомін О.В., д.т.н., професор; Мачалін І.О., д.т.н., професор; Тихонов І.В., д.т.н., с.н.с.; Давидов В.С., к.т.н., доцент; Кравченко Ю.В., д.т.н., професор; Онищенко О.А., д.т.н., професор; Діасамідзе Мзія Р., д.т.н., професор, (Грузія); Приєднієкс Валдис Р., д.т.н., професор, (Латвійська Республіка); Шаріфов З. З., д.т.н., професор, Гафаров А. М., доктор технічних наук, професор, (Азербайджанська Республіка).

Відповідальний секретар редколегії – Богом'я О.Є.

Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 9 від 27 лютого 2020 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б», спеціальності – 271, 275), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з технічних наук (Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643).

ЗМІСТ

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

Тимощук О.М., Мельник О.В.. Дослідження безпеки бункерування на водному транспорті.....	5
Вильдяева Л.Н. Расчет центра тяжести судна в автоматизированном режиме в условиях погрузки и мореплавания в режиме реального времени.....	15
Шевченко А.П., Пліта Л.Л. Аналіз методів прогнозування технічного стану засобів водного транспорту	23
Костановський В. В., Мачалін І.О. Разработка и исследование универсальных моделей надежности активной фазированной антенной решетки многофункциональной радиолокационной станции.....	31
Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Кудрявцев В.Г. Алгоритм автоматизованого контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху засобами ECDIS.....	46
Тараненко С.В., Пріступа С.В., Колесник В.В., Пастух О.В., Гойжевський О.В. Управління гребними електрорушійними при плаванні в умовах хитавиці.....	53

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

Лопатюк С.П. Модернізації навчання інженерній графіці з використанням можливостей САПР AUTOCAD.....	58
Кліндухова В.М., Гейлик А.В., Ляшко О.В. Моделювання деяких об'єктів засобами інтегрального числення студентами молодших курсів морських спеціальностей.....	66
Isaienko S.A., Hurinchuk S.V. Formation of value attitude to the humanitarian component of professional training as a task of higher education in the context of Ukraine's integration into the global educational space.....	75

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Пизинцали Л.В., Александровская Н.И., Россомаха Е.И., Никифоров Ю.А., Шахов В.И., Рабочая Т.В. Принципы формирования системы экологического менеджмента предприятия по утилизации морских судов в Украине.....	83
--	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Грищенко Ю.В., Заліський М.Ю., Павлова С.В., Соломенцев О.В. Алгоритми обробки даних під час підготовки пілотів на комплексному тренажері літака.....	97
Сущенко О.А., Безкоровайний Ю.М., Новицька Н.Д., Голіцин В.О. Синтез робастного регулятора БПЛА для випадку неортогональної конфігурації інерціальних датчиків.....	109

Ткаченко К.О.	
Деякі аспекти моделювання транспортних систем	116
Дакі О.А., Бойко С.О.	
Математична модель функціональних систем суднових комплексів.....	124
АВТОРИ ВИПУСКУ	132
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ	134

Тимошук О.М, Мельник О.В..

ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЕКИ БУНКЕРУВАННЯ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

У статті розглянуто безпеку бункерування суден як один із факторів впливу на надійність процесу бункерування на водному транспорті. Розглянуто комплексний підхід та рівні заходів для забезпечення безпеки бункерування. Для оцінки та аналізу ризиків застосовано рекомендації ІМО по відношенню до методів формалізованої оцінки безпеки (FSA) на основі принципу «прийняттого ризику» відомого як принцип ALARP (As Low As Reasonably Practicable)). На основі рекомендацій ІМО, які використовуються в даний час з метою управління безпекою мореплавства, розроблена послідовність дослідження безпеки бункерування. Методологія оцінки ризиків включає п'ять основних етапів [8]: збір даних і оцінка всієї системи; ідентифікація небезпек; аналіз ризиків; оцінка ефективності діючої системи превентивних та змінюваних мір, напрацювання нових рішень; впровадження та вдосконалення системи безпеки. Визначені основні причини інцидентів при проведенні бункерування: несправність обладнання, людський фактор, неякісне паливо, аварії суміжних об'єктів, дії природних сил. Аналітичним способом обчислено відносну частоту появи небезпеки - чинника ризику, що надає негативну дію на процес бункерування. Оцінку наслідків аварій було проведено за чотирибальною шкалою. Проведено ймовірнісну оцінку впливу небезпек і визначено рівні формалізованого ризику. Систему безпеки бункерування досліджено шляхом побудови діаграми в системі координат (вірогідність події-наслідки події) в матричному вигляді. За отриманими результатами виявлено, що людський фактор та несправність обладнання є найбільш небезпечними факторами в рейтингу загроз. Було запропоновано допоміжні заходи по управлінню ризиками, які дозволять понизити рівень ризиків з високого до прийняттого, що дозволить запобігати аваріям при бункеруванні.

Ключові слова: безпека, надійність, бункерування, ідентифікація небезпек, ризику.

Постановка проблеми.

Безпека бункерування - один із основних факторів надійності процесу забезпечення паливо-мастильними матеріалами суден на водному транспорті. Безпекова складова бункерування є одним з основних пріоритетів діяльності бункерувальних компаній[1]. Безпека – це стан, при якому ризик причинення шкоди персоналу, або надання збитку майну та навколишньому середовищу знижено до економічно- та соціально-прийняттого рівня, який підтримується шляхом безперервного процесу виявлення джерел небезпеки та контролю факторів ризику. Першочерговими заходами забезпечення безпеки являються міри попередження аварійних ситуацій, які можуть привести як до забруднення навколишнього середовища, так і до виникнення пожеж. Отже, ідентифікація джерела небезпек та попередження ризиків, є одним з головних завдань забезпечення безпекової складової надійності бункерування.

Аналіз останніх досліджень. Питаннями аналізу ринку бункерувальних послуг присвячено роботи авторів Ю.Ю. Горелової, Р.Р. Марківського, Н.І. Плявіна, А.Г. Сацького, В.А. Стариковського, К.Л. Терехова, В.І. Станкевича, А.А. Суханова, Дж.В. Тілла, Д. Формбі, В. Хойера, А. Хоскінса, Г.А. Черчілля та інших. Ю.П. Кондратенко, Д.М. Підпригора досліджували автоматизацію технологічного процесу бункерування суден та розглядали

можливі підходи до вирішення проблеми підвищення ефективності технологічного процесу бункерування суден шляхом підвищення рівня його автоматизації. Але недостатньо уваги приділялось дослідженню безпеки бункерування.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Ідентифікація небезпек при бункеруванні з виявленням основних факторів ризику.

Мета статті. Ідентифікація ризиків при проведенні бункерування, оцінка рівня небезпеки та виявлення небезпек, які мають найвищий ризик та потребують прийняття заходів для попередження аварій задля досягнення безпеки бункерування. Для досягнення мети необхідно вирішити задачу визначення ризиків, які впливають на безпеку бункерування та визначити методи управління ними. Систему безпеки бункерування досліджено шляхом побудови матриці ризиків в системі координат (вірогідність події-наслідки події). Запропоновані заходи та допоміжні заходи по управлінню ризиками при бункеруванні.

Виклад основного матеріалу. Надійність бункерування забезпечується виконанням заходів, що враховують чотири складові: техніко-технологічну, комерційну, безпекову та екологічну.

Безпека – це стан, при якому ризик причинення шкоди персоналу, або надання збитку майну та навколишньому середовищу знижено до економічно- та соціально-прийняттого рівня, який підтримується шляхом безперервного процесу виявлення джерел небезпеки та контролю факторів ризику[1].

Поняття «безпека бункерування», на наш погляд, повинне розглядатись як система дій, що включає забезпечення технологічного процесу, реалізацію інструкцій та вказівок, виконання правил по техніці безпеки.

Підхід до забезпечення безпеки має бути комплексним та включати заходи наступних рівнів [2]:

1. Законодавчого (закони, нормативні акти, стандарти);
2. Адміністративного (дії загального характеру, які приймаються керівництвом організації,
3. Процедурного (міри безпеки, що реалізуються персоналом);
4. Технологічного (перевірочні листи бункерування);
вимоги до пального).

Забезпечення безпеки бункерування забезпечується виконанням наступних документів (див. рис.1).

Для забезпечення безпеки процесу бункерування на водному транспорті приймається система: «джерело небезпеки – потенційний об'єкт впливу», яка враховує здатність певного об'єкту створювати загрозу, а іншого – попереджувати цю загрозу. На сучасному етапі застосовується метод «превентивного впливу», основною метою якого є попередження виникнення інциденту, або зниження проявлення ризиків. Такий метод «ризик менеджмент» поширений в світовій практиці. Забезпечити захист від усіх виявлених ризиків нереально, тому безпека може бути забезпечена тільки при прийнятному або допустимому рівні стану взаємодії людини з середовищем [3].

Забезпечити «абсолютну безпеку» неможливо, тому на сьогодні діє принцип «прийняттого ризику» відомий як принцип ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Суть його можна сформулювати наступним визначенням: «Захисні міри, які забезпечують виконання задач безпеки високого рівня вважаються адекватними при умові, що рівні достатнього ризику є настільки низькими, наскільки це практично можливо» [4]. Достатній ризик – це така мінімальна величина ризику, яка досягається в відповідності з технічними, економічними та технологічними можливостями.

Величина прийняттого ризику визначається в результаті урахування всіх сфер: технічної, технологічної, соціальної та розраховується як результат оптимізації витрат на інвестиції в цій області [5].

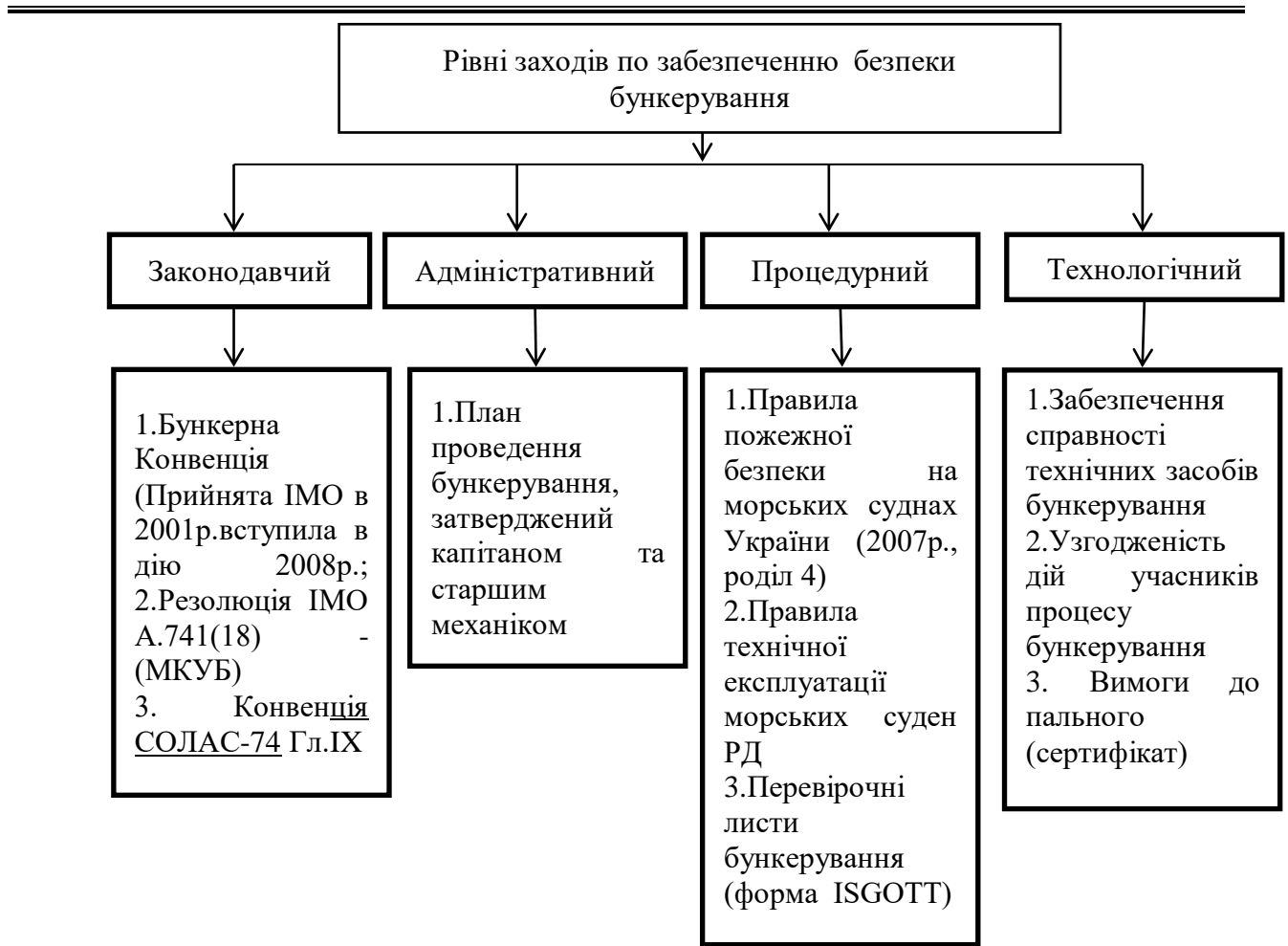


Рис. 1. Процес забезпечення безпеки бункерування.

В процедурах забезпечення безпеки в мореплавстві виділяються основні задачі, які безпосередньо пов'язані з вибором та ранжуванням заходів попередження та ліквідації наслідків аварій та інцидентів техногенного характеру:

- при фіксованих ресурсах вибрати та реалізувати такий набір заходів безпеки, впровадження яких максимально знижує ризик аварій;
- мінімізуючи витратні ресурси, обрати такий набір мір безпеки із можливих, впровадження яких знижує ризик аварій до прийнятного рівня.

Для оцінки та аналізу ризиків в морській галузі застосовуються рекомендації ІМО по відношенню до методів формалізованої оцінки безпеки (FSA), в яких визначені основні критерії інцидентів в морській діяльності [6].

Прийняті ІМО Міжнародного кодексу по управлінню безпечною експлуатацією суден та попередженням забруднення (Резолюція ІМО А.741(18) - (МКУБ) є логічним кроком, направленим на підвищення безпеки мореплавства та попередження забруднення навколишнього середовища. Главою IX, Конвенції СОЛАС-74 МКУБ був введений в дію в якості обов'язкового до застосування. Призначення кодексу МКУБ: забезпечення безпеки на судні та створення безпекових умов для виконання судових робіт (в тому числі бункерування).

Оскільки всі судові роботи проводяться людиною, призначення кодексу: забезпечення безпеки судового персоналу, зниження травматизму, та зменшення впливу «людського фактору» на аварійність. МКУБ визначає основні процедури по забезпеченню безпеки на борту судна, методи та умови їх безпечною виконання, а також способи контролю за виконанням робіт. Для того, щоб попередити інцидент, МКУБ встановлює наступні вимоги: ідентифікувати ступінь ризику, що виникає при виконанні тих чи інших судових операцій,

забезпечити персонал необхідним обладнанням та захисним одягом, провести підготовку персоналу до виконання робіт, визначити послідовність та пріоритетність дій персоналу; розробка системи обліку, контролю, та аналізу інцидентів, нещасних випадків та порушення техніки безпеки.

Відповідальність за безпеку проведення бункерування покладається на спеціально призначених осіб з числа керівного складу судна і судна-бункерувальника. До початку бункерування відповідальні особи узгоджують в письмовому вигляді:

- технологічний регламент, в т.ч. значення максимальної інтенсивності перекачування палива;
- дії, які слід вжити в разі виникнення аварійної ситуації під час перекачки палива;
- заповнення і підписання Листа контролю безпеки при бункеруванні.

Лист контролю бункерування, що заповнюється до його початку, надається в публікації ІМО «Рекомендації щодо безпечного транспортування небезпечних вантажів та супутньої діяльності на території порту» та містить наступні розділи: види палива, паливні цистерни, перевірка судна-бункерувальника (баржі) та судна, що бункерується [7].

Система безпеки бункерування заснована на аналізі ризиків. Загроза – це актуалізована небезпека. Небезпека аварії – це можливість завдання збитку людині, майну або навколишньому середовищу внаслідок аварії, а ризик аварії міра цієї небезпеки. Методологія оцінки ризиків включає п'ять основних етапів [8]:

- збір даних і оцінка всієї системи;
- ідентифікація небезпек;
- аналіз ризиків;
- оцінка ефективності діючої системи превентивних та змінюваних мір, напрацювання нових рішень;
- впровадження та вдосконалення системи безпеки.

В системах менеджменту ризиків застосовуються наступні методи: FMEA (аналіз видів та наслідків відмов), HAZOP (аналіз небезпеки та працездатності), FTA (аналіз дерева незправностей) [9]. Ці методи застосовуються при наявності достатньої статистичної бази. При відсутності таких даних можна застосувати діаграми в системі координат (вірогідність події-наслідки події). Такі діаграми представляються в матричному вигляді [10]. При такому аналізі слід виконати процедури, надані в таблиці 1.

Таблиця 1

Процедури при виконанні аналізу ризиків

	Послідовність виконання	Процедура
1.	Ідентифікація можливих подій з негативними наслідками	Розглянути, які механізми можуть вийти з ладу, які помилки може допустити персонал
2.	Визначення наслідків подій, збитки	Оцінити, на скільки важкими можуть бути результати таких подій
3.	Вірогідність подій	Визначити, з якою частотою проходять такі події
4.	Встановлення рівня ризику	Визначаються якісні характеристики: мінімальний, низький, середній, високий і максимальний.

Ідентифікація можливих подій з негативними наслідками при проведенні бункерування зображено на дереві загроз при бункеруванні (див. рис.2).



Рис.2. Дерево загроз при бункеруванні

Відносна частота появи небезпеки (чинника ризику, що надає негативну дію на процес бункерування і подальшу надійність бункерування) визначена по формулі [1].

$$W(A) = \frac{m}{n}, \quad (1)$$

де m – число з'явлення події; n – загальне число випробувань.

Стосовно даної роботи формула (1) була перетворена в наступну залежність:

$$W = \frac{S}{N}, \quad (2)$$

де S – час затримки бункерування (підвищення небезпеки аварій); N – час проведення бункерування

При визначенні W для небезпеки, пов'язаної з обмеженнями за погодними умовами, величина N позначає загальну кількість годин проведення бункерування, S – кількість годин простою, визваного несприятливими погодними умовами.

Результати визначення W для кожного чинника ризику приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Відносна частота виникнення загроз аварій при бункеруванні

Фактор ризику	N_s	S	W
Несправне обладнання	3,0	2,0	0,67
Людський фактор	4,0	3,2	0,8
Дії природних сил	5,0	2	0,4
Неякісне паливо	7	4	0,57
Аварії суміжних об'єктів	6	3	0,5

Несправне обладнання: $N_s = 3$, 0 год. – час бункерування; $S = 2,0$ год. – на ремонт, заміна обладнання; $W = 0,67$.

Людський фактор: невдала швартовка, що викликала заміну шлангу: $N_s = 4,0$ год. – час бункерування; $S = 3,2$ год. – заміна клінкету; $W = 0,8$.

Дії природних сил: $N_s = 5,0$ год. – час бункерування; $S = 2$, год. – затримка в бункеруванні; $W = 0,4$.

Неякісне паливо: $N_s = 7$ год. – час бункерування; $S = 4$ год. – затримка на рейді в очікуванні нового бункеру; $W = 0,57$.

Визначення значень відносної частоти W можна прийняти за приблизне значення вірогідності появи небезпеки F [2].

Для побудови матриці ризику для кожної небезпеки в таблиці 3 визначаємо рівень ризику R . Індeksi вірогідності F привласнені за чотирибальною шкалою, виходячи з діапазону відносної частоти W негативного впливу на процес:

- «1» – 0 - 0,25 – низька вірогідність;
- «2» – 0,26 - 0,50 – незначна вірогідність;
- «3» – 0,51 - 0,75 – середня вірогідність;
- «4» – 0,76 - 1,00 – висока вірогідність.

При оцінці наслідків C також використовувалася чотирибальна шкала, згідно якої індекс «4» було надано небезпеці, наслідки якої здатні надати катастрофічний вплив на навколишнє середовище (розлив нафти в акваторію) – *критичний*; «3» – було надано небезпеці, наслідки якої здатні надати критичні наслідки (розлив нафти на судні), які можливо локалізувати – *важкий*; «2» – привласнений небезпеці, наслідки якої значні, але дозволяють не зупиняти бункерування – *помірний*; «1» – привласнений небезпеці, наслідки якої незначні і не впливають на хід бункерування – *незначний*.

Виходячи з аналізу наслідків дії на безпеку бункерування, індекси були розподілені таким чином: «4» – несправне обладнання; «3» – людський фактор; «2» – Дії природних сил, неякісне паливо; «1» – аварії суміжних об'єктів.

Величина ризику R визначається:

$$R = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

де F – вірогідність події, S – наслідки події

Класифікація ризиків при бункеруванні по ступеню наслідків надано в таблиці 3.

Таблиця 3

Ризики при бункеруванні

№	Фактори ризику	F	C	R=FxC
1	Несправне обладнання	3	4	12
2	Людський фактор	4	4	16
3	Дії природних сил	2	2	4
4	Неякісне паливо	3	2	6
5	Аварії суміжних об'єктів	2	1	2

На основі даних табл.3 побудована матриця ризику бункерування (Рис.3).

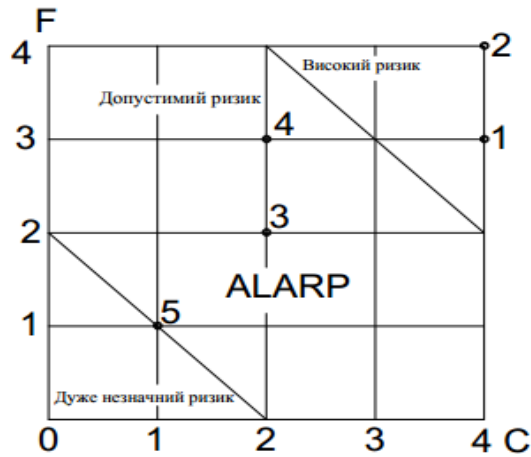


Рис.3. Матриця ризику бункерування

На рис.3 цифри напроти крапок означають небезпеки: 1- несправне обладнання – високий ризик (В), 2- людський фактор – високий ризик (В), 3- дії природних сил – допустимий ризик (Д), 4 - неякісне паливо – допустимий ризик (Д), 5 - аварії суміжних об'єктів – допустимий ризик (Д) .

Матриця ризику надає можливість визначити, що найбільший ризик при бункеруванні - людський фактор та несправне обладнання. Управління ризиками можна розглянути «в табл. 4».

Таблиця 4

Управління ризиками

	Небезпеки	Можливі наслідки	Існуючі заходи по управлінню ризиками	Тяжкість наслідків	Частота реалізація небезпеки	Ризик R	Допоміжні заходи
1	Несправне обладнання: проливи палива	Розлив, перелив, пожежа	Регулярний огляд системи	Важка	Середня	Високий (В)	Так
2	Людський фактор: втома персоналу	Будь-яка аварійна ситуація	Використання системи контролю за робочим часом	Критична	Висока	Високий (В)	Так
3	Дії природних сил	Розлив, перелив	Урахування прогнозу синоптиків	Помірна	Середня	Достатній (Д)	Ні
4	Неякісне паливо	Перелив	Перевірка сертифікату палива	Помірна	Середня	Достатній (Д)	Ні
5	Аварії суміжних об'єктів	Перелив	Безпека в морі	Помірна	Низька	Достатній (Д)	Ні

Допоміжні заходи по управлінню ризиками надані в табл. 5.

Допоміжні заходи по управлінню ризиками

№п/п Небезпеки	Допоміжні заходи по управлінню ризиками	Залишковий ризик
1. Людський фактор: втома персоналу	Забезпечення безперервного моніторингу місць з'єднання та трубопроводу	В →Н
2. Несправне обладнання: проливи палива	Планування робочих годин персоналу, що займається бункеровкою, зниження навантаження до і після бункерування	В →Н

Для кожного фактору небезпек потрібно теж будувати свою матрицю ризику для попередження аварій.

Проведені ідентифікація, аналіз ризиків та побудова матриці ризиків з подальшою оцінкою ефективності діючої системи превентивних та змінюваних мір, необхідні для впровадження та напрацювання нових рішень для вдосконалення системи безпеки бункерування.

Висновки. Для забезпечення надійності бункерування за безпековим фактором за рекомендаціями міжнародних нормативних документів по ймовірнісним методам оцінки ризиків були ідентифіковані та проранжовані ризики та їх наслідки при бункеруванні. В результаті побудови матриці ризику виявили небезпеки, які мають найвищий ризик - людський фактор та несправне обладнання. Було запропоновано допоміжні заходи по управлінню ризиками, які дозволять понизити рівень ризиків з високого до незначного, що дозволить запобігати аваріям при бункеруванні.

ЛІТЕРАТУРА

- Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] /: учебник для прикладного бакалавриата / В. Е. Гмурман. – М. : Изд-во Юрайт, 2019. – 479 с.
- Горелова, Ю. Н. К задаче оперативного управления запасами бункеровочного топлива [Текст] / Ю. Н. Горелова// Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2004. №.4. С. 33–39.
- Плявин, Н. И. Морские перевозки наливных грузов [Текст] : / М.А. Шаповал, Ю.В. Васильев., А.Г. Казимиров. –Москва: Транспорт, 1991. – 191 с.
- Семин О.А Применение вероятностных методов оценки рисков при проектировании пассажирских судов внутреннего и смешанного плавания [Текст] / О.А. Семин //Вісник Одеського національного морського університету. 2013. №. 1 . С 15–19.
- Дичко А. О., Єремєєв І. С. Аналіз ризиків і менеджмент водних екосистем. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. № 4. С.115–122.
- Washington, T. Bunker suppliers look for clarity on the voyage ahead. / Bunker Bulletin [Text] / T.Washington, J. McQueen // № 5. p.28–33.
- Bunker Fuel: Supply, Demand and Pricing. Bunkerworld Business Exchange.– [Electronic resource]. Retrieved from <http://www.iea.org/statistics/>
- Абрамовіч, А В.Оптимизация оперативного плана бункеровки судов [Текст] / А. В. Абрамовіч //Вестник морского государственного университета:экономика и управление. 2006. №.10. С.71–73.
- Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process [Text]: MSC/Circ. 1023:5 April 2002 / Intern. Maritime Organization, 2002.
- Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно- сложных систем[Текст] / И.А. Рябинин – СПб.: Изд. С.Петербург. ун-та, 2007, – 276 с.

REFERENCES

1. Gmurman, V. E.. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaja statistika: uchebnik dlja prikladnogo bakalavriata [Probability theory and mathematical statistics: a textbook for applied baccalaureate]. Moscow, Izdatel'stvo Jurajt, 2019. 479 p.
2. Gorelova, Ju. N. K zadache operativnogo upravlenija zapasami bunkerovochnogo topliva [The task of operational management of bunker fuel stocks]. Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta. 2004, no. 4, pp. 33-39.
3. Pljavin, N.I., Shapoval, M.A., Vasil'ev, Ju.V., Kazimirov A.G. Morskie perevozki nalivnyh Грузов [Sea transportations of bulk cargoes]. Moscow, Transport. 1991. 191 p.
4. Semin, O.A. Primenenie veroyatnostnyh metodov ocenki riskov pri projektirovanii passazhirskih sudov vnutrennego i smeshannogo plavaniya [The use of probabilistic risk assessment methods in the design of passenger ships of internal and mixed navigation]. Visnik Odes'kogo nacional'nogo mors'kogo universitetu. 2013, no.1, pp. 15-19.
5. Dychko, A.O., Yermieiev I.S. (2018), "Analysis of risks and management of water ecosystems", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, vol. 4, no. 4, pp. 115-122.
6. Washington, T. McQueen, J Bunker suppliers look for clarity on the voyage ahead. Bunker Bulletin., 2017, no. 4, p.28-33/
7. Bunkernoe toplivo: predlozhenie, spros i ceny. Biznes-birzha, "Bunker Fuel: Supply, Demand and Pricing. Bunkerworld Business Exchange". available at: <http://www.iea.org/statistics/> (accessed November 16, 2018).
8. Abramovich, A. V. Optimizacija operativno-go plana bunkerovki sudov [Optimization of the operational bunkering plan]. Vestnik morskogo gosudarstvennogo universiteta: jekonomika i upravlenie, 2006, no. 10, pp. 71-73.
9. Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process: MSC/Circ. 1023:5 April 2002 / Intern. Maritime Organization, 2002.
10. Rjabinin, I.A. Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh sistem [Reliability and safety of structurally complex systems]. St. Peterburg, Izd. St.-Peterb. un-ta, 2007. 276 p.

Тимощук Е.Н., Мельник Е.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БУНКЕРОВКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассмотрены безопасность бункеровки судов как один из факторов влияния на надежность процесса бункеровки на водном транспорте. Рассмотрены комплексный подход и уровни мер для обеспечения безопасности бункеровки. Для оценки и анализа рисков применены рекомендации ИМО по отношению к методам формализованной оценки безопасности (FSA) на основе принципа «приемлемого риска» известного как принцип ALARP (As Low As Reasonably Practicable). На основе рекомендаций ИМО, которые используются в настоящее время с целью управления безопасностью мореплавания, разработана последовательность исследования безопасности бункеровки. Методология оценки рисков включает пять основных этапов: сбор данных и оценка всей системы; идентификация опасностей; анализ рисков; оценка эффективности действующей системы превентивных и изменяемых мер, выработки новых решений; внедрение и совершенствование системы безопасности. Определены основные причины инцидентов при проведении бункеровки: неисправность оборудования, человеческий фактор, некачественное топливо, аварии смежных объектов, действия природных сил. Аналитическим способом вычислено относительную частоту появления опасности - фактора риска, который оказывает негативное воздействие на процесс бункеровки. Оценка последствий аварий была проведена по четырехбалльной шкале. Проведено вероятностную оценку влияния опасностей и определены уровни формализованного риска. Система безопасности бункеровки была исследована путем построения диаграммы в системе координат

(вероятность события-следствие события) в матричном виде. По полученным результатам выявлено, что человеческий фактор и неисправность оборудования являются наиболее опасными факторами в рейтинге угроз. Были предложены дополнительные меры по управлению рисками, которые позволят снизить уровень рисков с высокого до приемлемого, что позволит предотвращать аварии при bunkеровке.

Ключевые слова: безопасность, надежность, bunkеровка, идентификация опасностей, риски.

Timoshchuk O.M., Melnik O.V.

RESEARCH OF SAFETY OF BUNKING ON MARITIME TRANSPORT

The article considers the safety of bunkering of ships as one of the factors influencing the reliability of the bunkering process on water transport. A comprehensive approach and levels of measures to ensure bunkering are considered. For risk assessment and analysis, the IMO's recommendations for Formal Security Assessment (FSA) methods are based on the principle of "acceptable risk" known as ALARP (As Low As Reasonably Practicable). On the basis of the IMO recommendations currently used to manage maritime safety, a sequence of bunkering safety studies has been developed. The risk assessment methodology includes five main steps [8]: data collection and system-wide assessment; hazard identification; risk analysis; evaluation of the effectiveness of the existing system of preventive and variable measures, development of new solutions; implementation and improvement of the security system. The main causes of incidents during bunkering are identified: equipment malfunction, human factor, low-quality fuel, accidents of adjacent objects, actions of natural forces. The relative frequency of occurrence of a hazard, a risk factor that has a negative effect on the bunkering process, is calculated in an analytical manner. The consequences of the accidents were evaluated on a four-point scale. A probabilistic assessment of the impact of the hazards was carried out and the levels of formalized risk were determined. The bunkering security system is investigated by plotting a matrix (coordinate event (event probability)) diagram in a coordinate system. The results show that human factors and equipment malfunction are the most dangerous factors in the rating of threats. Auxiliary risk management measures have been proposed that will reduce the risk level from high to acceptable, which will prevent bunkering accidents.

Keywords: security, reliability, bunkering, hazard identification, risks.

Вильдяева Л.Н.

РАСЧЕТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СУДНА В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ В УСЛОВИЯХ ПОГРУЗКИ И МОРЕПЛАВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В статье рассматривается задача автоматизированного расчета метацентрической высоты судна двумя методами: по диаграммам статической и динамической остойчивости, диаграмме Рида. Рассмотрена задача аппроксимации диаграммы статической остойчивости синусоидой. Решена задача двузначности синусоиды, а именно найдена область определения аргумента, необходимая для границ интегрирования функции. Разработанный алгоритм позволяет значительно сократить время расчета с одновременным повышением точности расчета, а также дает возможность привязки к гироскопу и применить для дальнейшего воплощения его в контроллерную автоматику, способную отслеживать состояние центра тяжести во время погрузки и мореплавания в режиме реального времени, что значительно повысит безопасность эксплуатации судна.

Ключевые слова: *метацентрическая высота судна, аппроксимация синусоидой, центр тяжести, автоматизация судовых установок, автоматизированные системы регулирования, техническая эксплуатация судов, дискретный контур, гироскоп, компьютеризация.*

Анализ современного состояния проблемы. Для обеспечения безопасности эксплуатации судна во время его погрузки и во время перемещения в морских условиях необходимо правильно и с достаточно высокой точностью уметь рассчитывать метацентрическую высоту. До настоящего времени расчет метацентрической высоты т.е. центра тяжести представлял собой документацию, несвязанную с реальной работой судна. Современный уровень компьютерных технологий позволяет отслеживать состояние диаграммы статической остойчивости как во время погрузки так и во время мореплавания, что в свою очередь позволяет автоматизировать расчет метацентрической высоты в режиме реального времени. В случае опасного смещения центра тяжести компьютерные технологии позволяют подавать звуковой сигнал на самом судне, а также передавать данные через современные связи коммуникации в ближайшие наземные службы безопасности, что должно значительно повысить безопасность работы судна во время его эксплуатации.

Постановка проблемы. Компьютеризировать расчет центра тяжести судна, а также значительно (до нескольких секунд) сократить время расчета с обеспечением высокой точности расчета на протяжении всего времени эксплуатации судна.

Анализ последних исследований и публикаций. Для расчета метацентрической высоты судна необходимо построить диаграммы статической и динамической остойчивости. Диаграмма статической остойчивости отражает колебательный процесс судна и по сути является синусоидой, которую необходимо аппроксимировать.

Цель статьи. Разработать алгоритм автоматизированного расчета метацентрической высоты судна для дальнейшего воплощения его в контроллерную автоматику, способную отслеживать состояние центра тяжести во время погрузки и мореплавания.

Изложение основного материала. Разработано два метода расчета центра тяжести судна:

1. Расчет по диаграммам статической и динамической остойчивости. Применяется в большей степени при погрузке судна;
2. Расчет плеча опрокидывающего момента по диаграмме Рида. Применяется во время мореплавания.

1. Расчет по диаграммам статической и динамической остойчивости. После распределения груза по танкам и определения осадки судна, а также объемного водоизмещения необходимо определить гидростатические элементы судна по таблицам (из информации по остойчивости и прочности корпуса для капитана). По данным водоизмещения из пантокарены судна (информация по остойчивости прочности корпуса для капитана) строится диаграмма статической и динамической остойчивости. Исходными данными для расчета метацентрической высоты для обоих методов является диаграмма статической остойчивости. Диаграмма статической остойчивости представляет собой дискретную функцию $L = f(\theta)$, где L - метацентрическая высота, θ - угол крена в градусах и отражает собой колебательный процесс судна как при погрузке так и во время мореплавания по сути является синусоидой, которую необходимо аппроксимировать. Аппроксимирующая функция для кривой статической остойчивости имеет вид $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$, где θ_R - угол крена в радианах. Для определения коэффициентов аппроксимации a, b необходимо применить метод наименьших квадратов. Условная функция имеет вид: $S = \sum_1^n (a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) - L)^2 = \min$, тогда

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{da} = 2 \cdot \sum_1^n (a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) - L) \cdot \sin(b \cdot \theta_R) = 0 \\ \frac{dS}{db} = 2 \sum_1^n (a \sin(b \cdot \theta_R) - L) \cdot a \cos(b \cdot \theta_R) \cdot \theta_R = 0 \end{array} \right\}. \quad (1)$$

В результате получаем систему двух нелинейных уравнений относительно коэффициентов a, b . Решить систему возможно методом Ньютона, где:

$$\left\{ \begin{array}{l} F1 = \sum_1^n (a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) - L) \cdot \sin(b \cdot \theta_R) = 0 \\ F2 = \sum_1^n (a \sin(b \cdot \theta_R) - L) \cdot a \cos(b \cdot \theta_R) \cdot \theta_R = 0 \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Якобиан системы имеет вид:

$$A1 = \frac{dF1}{da}; B1 = \frac{dF1}{db}; A2 = \frac{dF2}{da}; B2 = \frac{dF2}{db}; C1 = -F1; C2 = -F2;$$

Коэффициенты $A1, B1, C1, A2, B2, C2$ являются коэффициентами системы линейных уравнений относительно приращений da, db .

$$\left\{ \begin{array}{l} A1 \cdot da + B1 \cdot db = C1 \\ A2 \cdot da + B2 \cdot db = C2 \end{array} \right\}. \quad (3)$$

Первоначальные значения примем $a = 1, b = 1. da = 0; db = 0$; Решая систему линейных уравнений относительно приращений da, db , получим уточненные значения коэффициентов a, b . Итерации повторять до тех пор пока не будет выполняться условие: $|a - |da|| \leq \xi : |b - |db|| \leq \xi$ В результате некоторых вычислений по методу 1 получили плечи статической и динамической остойчивости и занесли их в табл. 1.

Таблица 1

Плечи статической и динамической остойчивости

Угол крена, θ°	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00
L стат.	0,00	0,35	0,73	0,85	0,80	0,67	0,37	0,07
L динам.	0,00	0,03	0,12	0,26	0,41	0,53	0,63	0,66

В таблице 2 представлены результаты расчета кривой статической остойчивости $L = f(\theta)$ и аппроксимирующей кривой $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$ в метрах.

В результате расчета коэффициентов аппроксимации получили результат $a = 0,8476$; $b = 2,6380$. Результаты вычислений отражены в таблице 2.

Таблица 2

Сводная таблица результатов

θ°	θ_R	$L(M)$	$L_a = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$	$L - L_a$	$\frac{L - L_a}{L}$
0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,00
10,00	0,17	0,35	0,3767	0,0267	0,0763
20,00	0,35	0,73	0,6749	-0,0551	-0,0754
30,00	0,52	0,85	0,8325	-0,0175	-0,0206
35,00	0,61	0,8	0,8166	0,0166	0,0207
40,00	0,70	0,67	0,6305	-0,0395	-0,0590
50,00	0,87	0,37	0,3130	-0,0570	-0,1541
60,00	1,05	0,007	-0,0697	-0,0767	-0,00

Графическая интерпретация аппроксимации кривой статической остойчивости $L = f(\theta)$ синусоидой $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$, где L - метацентрическая высота в метрах, θ - угол крена в градусах, представлена на рис. 1.

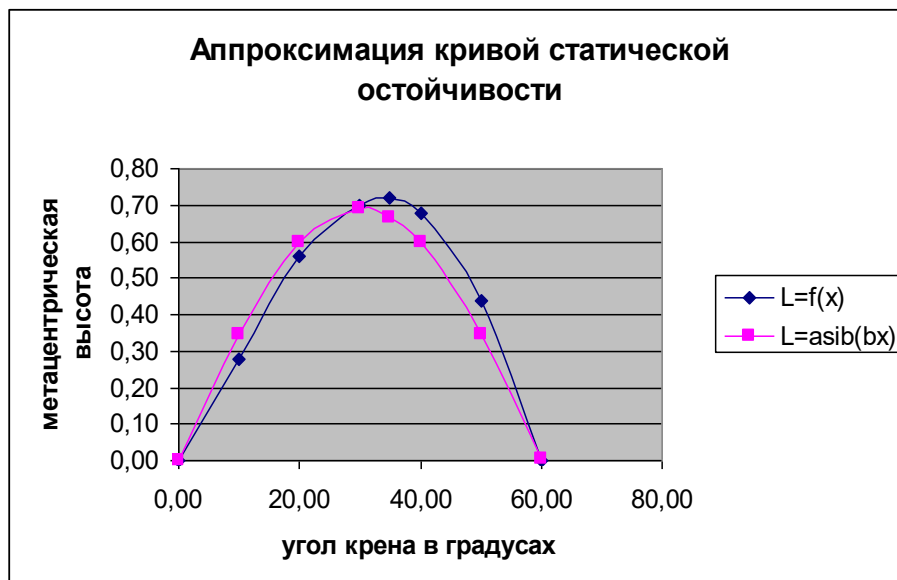


Рис.1. График аппроксимации кривой статической остойчивости $L = f(\theta)$ синусоидой $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$

По результатам статической остойчивости строится кривая динамической остойчивости и по касательной к ней определяется плечо опрокидывающего момента и критерий устойчивости судна.

Более подробно конкретный пример расчета метацентрической высоты судна рассмотрен на примере танкера «СПЛИТ» для плотности воды $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$ в статье [1].

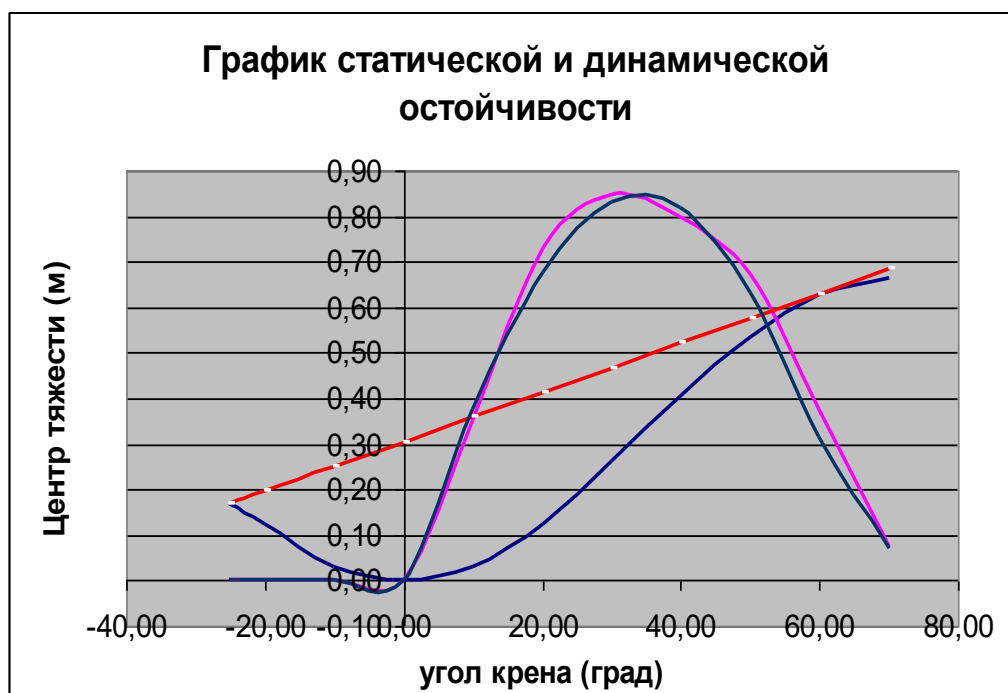


Рис.2. График касательной к кривой динамической остойчивости

2. Расчет плеча опрокидывающего момента по диаграмме Рида.

Кривая статической остойчивости представлена в таблице 3.

Таблица 3

Кривая статической остойчивости

Угол крена θ°	0,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00
L стат.	0,00	0,35	0,73	0,85	0,80	0,67	0,37	0,07

Плечо опрокидывающего момента $L_{опр}$ определяется по положению, когда площади фигур, заключенные между синусоидой и «подвижной» осью абсцисс равны $S_1=S_2$, как показано на рис. 3. Максимальный угол крена θ по левому борту является переменной. В данном случае был выбран угол $\theta_N = -14^\circ$.
$$S = \int_{\theta_1}^{\theta_2} a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) d\theta_R .$$

В условиях мореплавания углы ориентации судна, которые являются входными данными для кривой статической остойчивости можно определить в режиме реального времени с помощью гироскопа, связанного с компьютером.

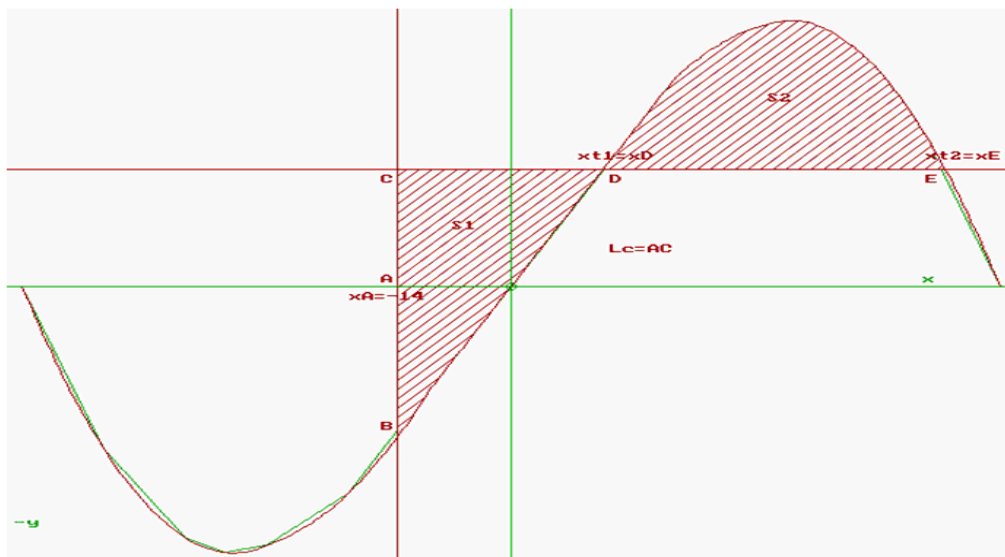


Рис.3. График определения метацентрической высоты судна по диаграмме Риды

Для определения площадей S1 и S2 представляет трудность двужначность синусоиды при одном значении опрокидывающего плеча или центра тяжести. Для решения этой задачи необходимо знать центр симметрии синусоиды в правой ее части. Из уравнения $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$ необходимо определить $\frac{dL}{d\theta_R} = a \cdot b \cdot \cos(b \cdot \theta_R) = 0$. Из этого следует, что $(b \cdot \theta_R) = \frac{\pi}{2}$, откуда угол в радианах, соответствующий симметрии синусоиды $\theta_S = \frac{\pi}{2b}$. Для данного случая $\theta_S = 0,6$. Геометрическая интерпретация определения центра симметрии синусоиды представлен на рис.4, откуда следует(рис.3) $x_D = \text{Arc sin}(a \cdot \sin(b \cdot \theta_R))$, $x_E = x_D + 2(x_S - x_D)$ или $x_E = 2 \cdot x_S - x_D$.

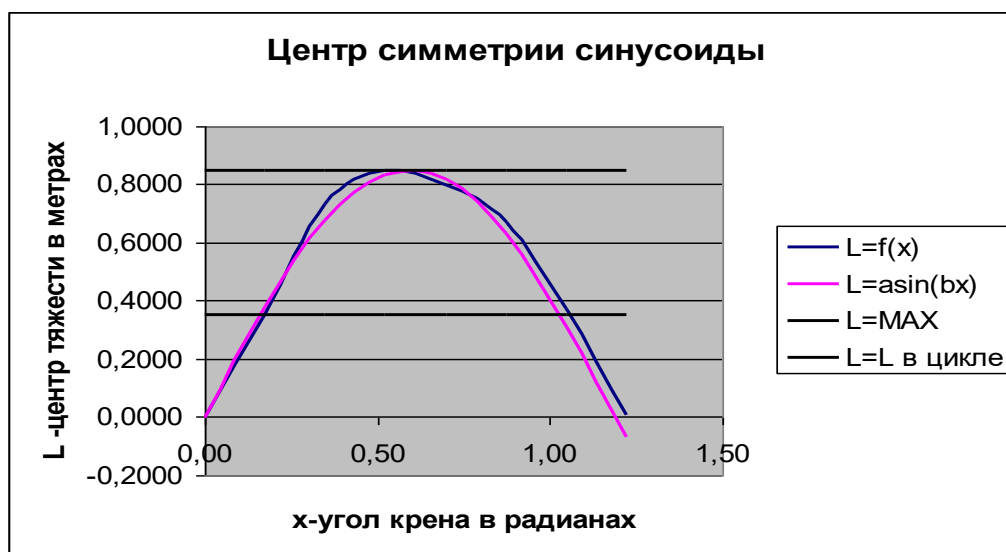


Рис. 4. Пояснение двужначности синусоиды $L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$

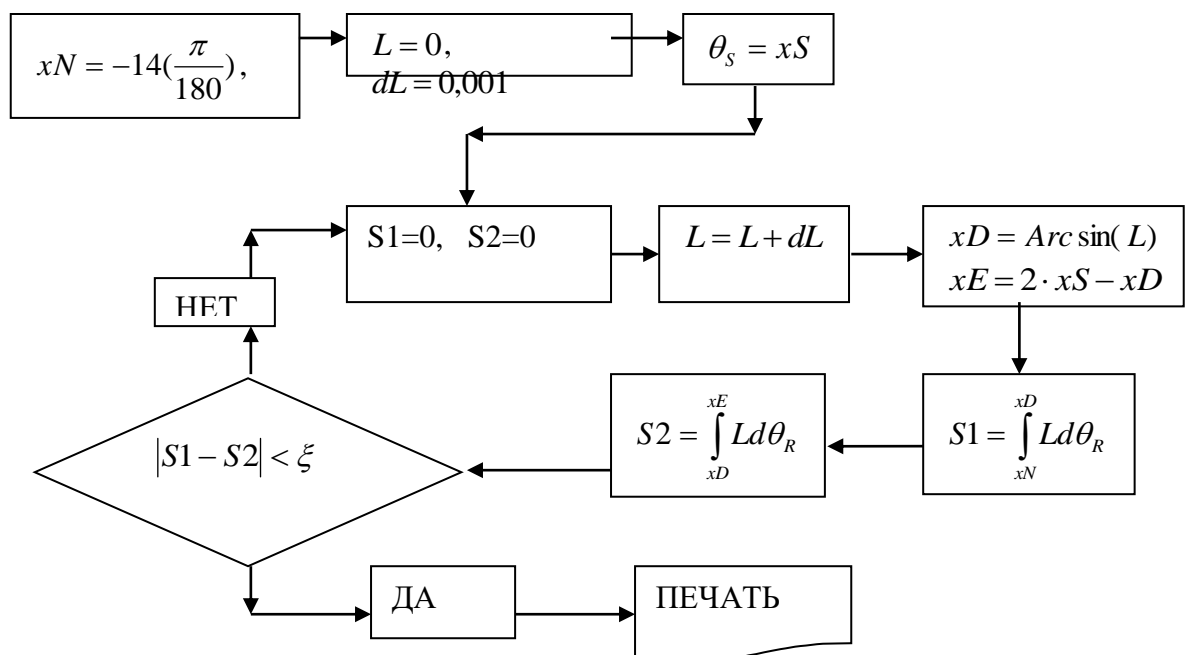
Область определения угла крена θ_R

Угол крена в градусах θ	Угол крена в радианах θ_R	Таличное $L(M)$	$L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$ $\theta_R = xD$	xD	xE	$L = a \cdot \sin(b \cdot \theta_R)$ $\theta_R = xE$
0,00	0,00	0,00	0,0000	0,00	1,2	0,0
10,00	0,17	0,35	0,3767	0,17	1,0163	0,3767
20,00	0,35	0,73	0,6749	0,35	0,8417	0,6749
30,00	0,52	0,85	0,8325	0,52	0,6671	0,8325
34,38	$\theta_S = 0,6$		0,8476	0,6	0,6	0,8476

Область определения угла крена в радианах $xD < \theta_R < xE$ по оси абсцисс показана в таблице 4. Площади $S1 = \int_{xN}^{xD} a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) = -\frac{a}{b} \cos(b \cdot xD) + \frac{a}{b} \cos(b \cdot xN)$,

$$S2 = \int_{xD}^{xE} a \cdot \sin(b \cdot \theta_R) = -\frac{a}{b} \cos(b \cdot xE) + \frac{a}{b} \cos(b \cdot xD).$$

БЛОК-СХЕМА



Выводы. Выше был представлен расчет поперечной метацентрической высоты (центра тяжести) судна т.е. по углу крена. Алгоритм расчета пригоден и для продольной устойчивости судна, т.е. по дифференту, а также для любой радиальной плоскости. Выбирая наиболее опасные отклонения есть возможность повысить безопасность эксплуатации судна, как во время погрузки так и во время мореплавания. Следует отметить, что синусоида более точно должна отражать практические условия эксплуатации судна, чем кривая статической устойчивости. Алгоритм расчета метацентрической высоты можно использовать для расчета любого типа судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вільдяєва Л.Н., Блиндарук А.А. Автоматизированный расчет центра тяжести судна при погрузке и в условиях мореплавания с учетом коэффициентов аппроксимации кривых/ Водный транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту. – К.:КДАВТ, - 2015 -№ 2 (23). –С. 217-222.
2. Вагущенко Л.Л., Кошовий А.А. Автоматизовані комплекси судноводіння. Підручник для морських академій // -Київ: КВІЦ, 2001 – 292 с.
3. Толшин В.И., Сизых В.А. Автоматизация судовых энергетических установок Учебник. – 3-е изд. Переработанное и дополненное // – М: Транслит, 2006 – 353 с.
4. Печененко В.И., Козьминых Г.В. Автоматика регулирования и управления судовых силовых установок // -М.: Транспорт 1973г.
5. Нелепин Р.А. Автоматизация судовых энергетических установок // - Л.: Судостроение 1975г. – 532 с.
6. Шиняев Е.Н. Судовые паровые котлы и их эксплуатация // - М.: Транспорт 1979г.
7. Акимов П.П. Судовые автоматизированные энергетические установки // -М: Транспорт 1980г.
8. Сыромятников В.Ф., Лубочкин Б.И. Автоматическое регулирование судовых паровых котлов // - Л.: Судостроение 1983г.
9. Архангельский В.С. Судовая автоматика // - Л.: Судостроение 1989г.
10. Сизов В.А. Судовая автоматика и контрольно измерительные приборы // М: Транспорт, 1979.
11. Журенко М, А., Таранчук Н.В. Технические средства автоматизации судовых энергетических установок // - Л.: Судостроение 1990г.
12. Балашов Е.П., Григорьев В.Л., Петров Г.А. Микро-и мини –ЭВМ // Л: Энергоатомстроение, Ленинградское отделение 1984 г.-376 с.
13. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: Учебник для вузов// -М.: Высш. Шк.,2002.-840с.: ISBN 5-06-004020-8.

REFERENCES

1. Bildiyiva L.N., Blindaruk A.A. Automated calculation of the center of gravity of the vessel during loading and in the conditions of navigation, taking into account the approximation coefficients of the curves / Water transport. Zbirnik naukovykh prac of the Kiev State Academy of Water Transport.- K.: KDAVT, 2015. № 2 (23). FROM. 217-222.
2. Vaguschenko L.L., Koshoviy A.A. Automation of the shipboard complex. Pidruchnik for marine academies // Kiev: KVIЦ, 2001 - 292 p.
3. Tolshin V.I., Szykh V.A. Automation of ship power plants. Textbook. - 3rd ed. Revised and supplemented // - M: Translit, 2006 - 353 s.
4. Pechenenko V.I., Kozminykh G.V. Automation of regulation and control of ship power plants // - M.: Transport, 1973.
5. Nelepin R.A. Automation of ship power plants L.: Shipbuilding 1975 - 532 s.
6. Shinyayev E.N. Ship steam boilers and their operation // - M.: Transport 1979.
7. Akimov P.P. Ship automated power plants // -M: Transport 1980.
8. Syromyatnikov V.F., Lubochkin B.I. Automatic regulation of ship steam boilers // - L.: Shipbuilding 1983.
9. Arkhangelsky V.S. Ship automation // - L.: Shipbuilding 1989.
10. Sizov V.A. Ship automation and instrumentation // M: Transport, 1979.
11. Zhurenko M, A., Taranchuk N.V. Technical means of automation of ship power plants // - L.: Shipbuilding 1990

-
-
12. Balashov EP, Grigoryev V.L., Petrov G.A. Micro and mini-computers // L: Energoatomstroyeniye, Leningrad branch of 1984 - 376 p.
 13. Verzhbitsky V.M. Fundamentals of numerical methods: Textbook for high schools // -М.: Higher. Shk., 2002. -840 s.

Вільдяєва Л.М.

РОЗРАХУНОК ЦЕНТРА ТЯЖІННЯ СУДНА В АВТОМАТИЗОВАНОМУ РЕЖИМІ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ТА В УМОВАХ МОРЕПЛАВАННЯ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

У роботі розглянута задача автоматизованого розрахунку метацентричної висоти судна двома методами: по діаграмах статичної та динамічної остійності судна, по діаграмі Ріда. Розглянута задача апроксимації діаграми статичної остійності синусоїдою. Розв'язана задача двозначності синусоїди тобто знайдена область визначення аргументу, яка необхідна для границь інтегрування функції. Розроблений алгоритм дозволяє значно скоротити час розрахунку з одночасним підвищенням точності розрахунку, а також дає можливість прив'язати до гіроскопу і застосувати для подальшого втілення його в контролерну автоматику, здатну відстежувати стан центра ваги під час навантаження і мореплавання в режимі реального часу, що значно підвищить безпеку експлуатації судна.

Ключові слова: *центр тяжіння судна, математична модель, апроксимація синусоїдою, чисельні методи, автоматизація судових енергетичних установок, автоматизовані системи регулювання, технічна експлуатація суден, дискретний контур, гіроскоп, комп'ютеризація.*

Vildiaieva L.M.

AUTOMATED CALCULATION OF CENTER FOR VESSELS LOADING AND UNDER THE CONDITIONS OF NAVIGATION IN REAL TIME

In the paper the problem of automated calculation of the metacentric height of the vessel is considered by two methods: according to the diagrams of static and dynamic stability of the vessel - according to the diagram of Reed. The problem of approximation of the diagram of static stability with a sinusoid is considered. The ambiguity problem of the sinusoid wave is solved – the domain of definition of the argument necessary for the boundaries of the integration of the function is found. The developed algorithm allows to significantly reduce the calculation time while increasing the accuracy of the calculation, and also makes it possible to apply the gyroscope and controller automation, which is able to track the state of the center of gravity during loading and navigation in real time, which will significantly increase safety.

Keyword: *vessel center of gravity, mathematical model, approximation, numerical methods, automation of marine power plants, automated control systems, technical exploitation of vessels, gyroscope, computerization.*

Шевченко А.П., Пліта Л.Л.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Відомо, що рівень безаварійного судноводіння, показники якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів продовжують покращуватися. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення заданого рівня надійності технічних засобів. Значна роль в цьому напрямку – рішення завдання прогнозування технічного стану засобів водного транспорту. Це ще більш підкреслює актуальність наукових досліджень з метою підвищення ефективності технічної експлуатації морських та річних транспортних засобів за рахунок використання інформації про прогноз їх технічного стану.

На теперішній час для забезпечення гарантованого рівня достовірності прогнозування технічного стану засобів водного транспорту активно використовують прогресивні апаратні та програмні рішення. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду розробки та впровадження систем прогнозування технічного стану як комплектуючих підсистем, так і засобів водного транспорту в цілому свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності за рахунок розвитку математичного та алгоритмічного забезпечення. Найбільш актуальним в цьому напрямку є використання моделей та методів штучного інтелекту, а саме, так званих м'яких обчислень.

Ключові слова: *модель, метод, прогнозування, технічний стан, засоби водного транспорту, методи штучного інтелекту, м'які обчислення.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В сучасних умовах не викликає сумніву те, що саме водний транспорт, як інфраструктурна галузь, має розвиватися швидкими темпами. На думку експертів у 2020-2022 роках, очікується збільшення обсягу перевезення вантажів морськими та річними судами до 2500 млн. тон; переробка вантажів у державних торговельних портах також збільшиться та становитиме близько 240 млн. тон; обсяги пасажирських перевезень становитимуть більш 10900 млн. пасажирів.

Дослідження, яке виконане в межах даної дисертації показує, що рівень безаварійного судноводіння, показники якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів продовжують покращуватися. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення заданого рівня надійності технічних засобів. Значна роль в цьому напрямку – рішення завдання прогнозування технічного стану засобів водного транспорту. Це ще більш підкреслює актуальність наукових досліджень з метою підвищення ефективності технічної експлуатації морських та річних транспортних засобів за рахунок використання інформації про прогноз їх технічного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Технічний стан ЗВТ є суттєвим фактором забезпечення безаварійного судноводіння. Аналіз офіційних статистичних даних стосовно аварійності на водному транспорті 2016-2019 р.р наведено на рис.1.

Загальна кількість аварійних подій, що сталися протягом 1-го півріччя 2019 року, у порівнянні з 2018 роком збільшилась на 10 аварійних подій (200 %), кількість загиблих та зниклих – збільшилась на 6 осіб (600 %). Кількість травмованих осіб збільшилась на 4 осіб (80 %).».

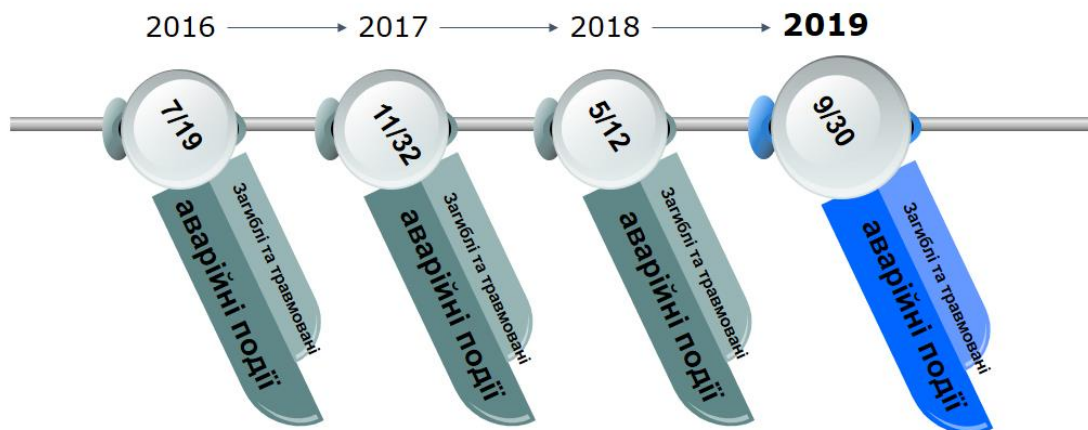


Рис.1. Аналіз аварійності на водному транспорті 2016-2019 р.р.

Актуальність досліджень підкреслює ї наступна офіційна інформація.

За результатами проведених розслідувань аварійних подій, що трапилися за період січень-червень 2019 року, встановлено, що причинами їх виникнення були наступні (див. рис. 2.).

Матеріали НДР за темою: «Підвищення ефективності операторської діяльності в суднових ергатичних системах на морському транспорті», (Одеська Національна морська академія) (рис. 3) також підтверджують, що значна кількість аварійних ситуацій обумовлена так званим технічними причинами.

Таким чином, аналіз стану безпеки руху засобів морського та водного транспорту України дозволяє зробити висновок про те, що саме «технічні причини» є найбільш значною причиною аварійності на морському та річному флоті за останні роки.

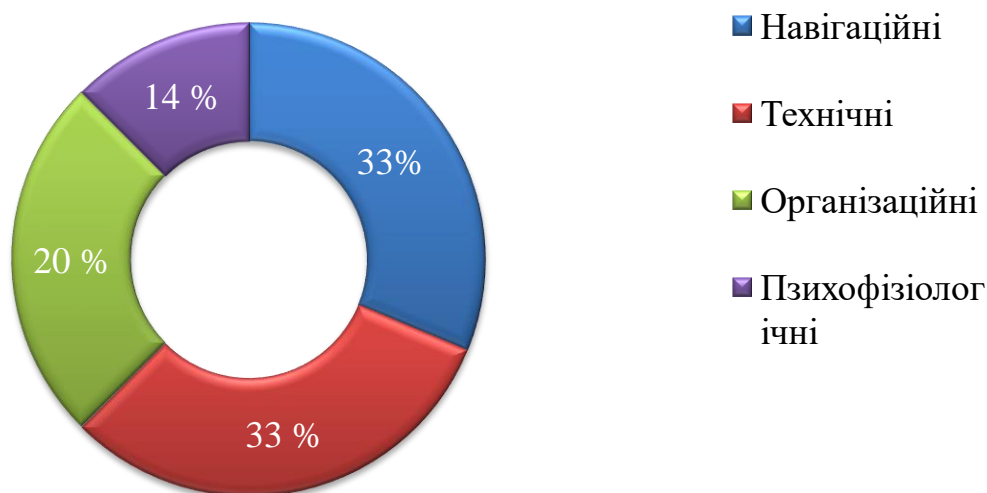


Рис. 2 .Статистика аварійних подій за причинами виникнення у першому півріччі 2019 року

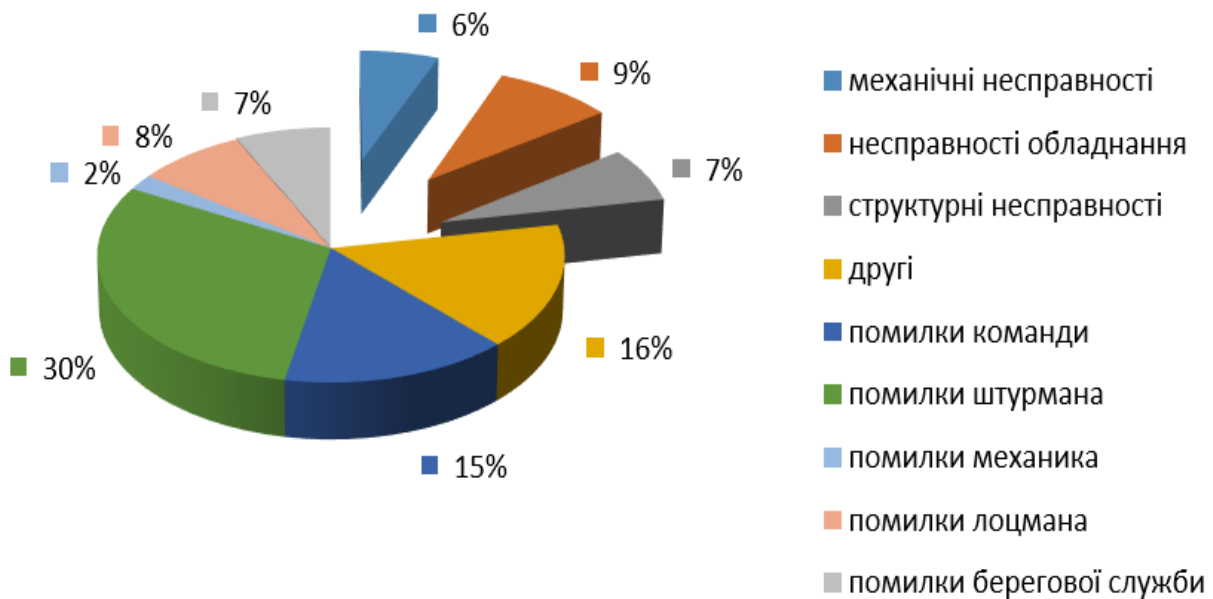


Рис.3. Причини аварійних ситуацій на морському транспорті

Тому дослідження, які спрямовані на «...розроблення методів підвищення ефективності ... прогнозування технічного стану засобів транспорту, що забезпечують високу ефективність їх використання та надійність роботи» є актуальними та важливими для безаварійного судноводіння [1].

Визначення технічного стану судна є обов'язковою рисою його експлуатації, яке виконуються згідно ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення» [1] та інших керівних документів. Наприклад, «Інструкція з проведення технічного нагляду за суднами рибної промисловості України, що не підлягають нагляду класифікаційного товариства» [1,2] вимагає: «4.1. Технічний стан судна визначається за результатами огляду його корпусу, надбудови, пристроїв, обладнання, механічної установки, електрообладнання та перевірки протипожежного захисту».

Для класифікації придатності судна до плавання існують три оцінки технічного стану: «придатне», «обмежено придатне» та «заборонене до експлуатації». Судна, які «обмежено придатні», можуть допущені до плавання за умови обмеження: району плавання та віддалення від берега; допустимої потужності двигуна; вантажопідйомності [3,4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Тому ціллю даної статті є аналіз методів прогнозування технічного стану засобів водного транспорту та постановка наукового завдання з метою покращення достовірності прогнозування технічного стану

Визначення напрямків підвищення достовірності прогнозування технічного стану суден. Дослідження показали те, що сучасні засоби діагностики та прогнозування технічного стану ЗВТ базуються на використанні ознак та характеристик різноманітних фізичних явищ, реалізацію складних технологій збору, обробки, зберігання, передавання та представлення інформації.

Тому достовірні оцінка технічного стану ЗВТ як на стадії експлуатації, так і в загалі передбачає використання відповідних діагностичних апаратних та програмних засобів, складовими частинами якого є технологічне, апаратне, математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення.

У зв'язку з цим основні напрямки підвищення достовірності прогнозування технічного стану суден спрямовані на розвиток математичних методів виділення і розпізнавання діагностичної інформації, створення ефективних вимірювальних комплексних систем збору, обробки та

представлення інформації, пошук діагностичних ознак деградації технічного стану, синтез алгоритмів прогнозування, орієнтованих на застосування тих чи інших методів і засобів прогнозування [4,5].

Слід зазначити, що розширене впровадження засобів прогнозування технічного стану ЗВТ, з одного боку, стимулюється неухильно зростаючими вимогами до надійності і безпеки експлуатації суден і кораблів, але з іншого боку, пов'язано з необхідністю вирішення цілого ряду проблем, пов'язаних з недостатньою вивченістю алгоритмів експлуатаційних відмов та пошкоджень найбільш навантажених вузлів і деталей, відсутністю необхідної кількості статистичних даних про характеристики експлуатаційних відмов, складністю отримання адекватних але повних та достовірних моделей оцінки та прогнозування технічного стану комплектуючих ЗВТ та ін. [5,7].

З іншого боку на ринку представлена найширша номенклатура діагностичних приладів і систем, (як вітчизняних, так і імпортованих) що розрізняються особливостями методичного, математичного, алгоритмічного, програмного та апаратного забезпечення, та мають різні принципи дії, функціональні можливості, метрологічні характеристики, області застосування, масогабаритні параметри, елементну базу, співвідношення ціни та ін. [7,8].

На думку експертів це призвело до того, що на зміну проблеми дефіциту діагностичних методик і приладів прийшла нова проблема – проблема вибору компонентів діагностичного забезпечення, яке здатне забезпечити потрібний рівень достовірності прогнозування та діагностування. Рішення цієї проблеми вимагає, як правило, проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на аналіз специфічних умов експлуатації ЗВТ, конструктивних особливостей обладнання, аналіз умов навантаження і характерних експлуатаційних пошкоджень найбільш відповідальних вузлів і деталей, визначення можливих діагностичних ознак, розробки діагностичних методів і приладів, здатних функціонувати в суднових умовах експлуатації [5–8].

Таким чином, головною тенденцією еволюції систем контролю та прогнозування технічного стану як суднового обладнання, так і ЗВТ в цілому слід вважати перехід від екстенсивного розвитку систем централізованого контролю до якісної зміни їх функціональних можливостей за рахунок застосування спеціальних діагностичних методик, алгоритмів і апаратури, адаптованих до специфічних особливостей об'єктів діагностування.

Тут слід зауважити, що практична реалізація цього завдання за своєю складністю і багатоплановістю не поступається завдання забезпечення високого рівня автоматизації суднових технічних засобів.

Варте звернути увагу на те, що сучасний високо достовірний процес прогнозування ТС безумовне пов'язаний саме з комп'ютерною обробкою інформації з застосуванням передових технологій. Тому цей напрям – широкий спектр питань штучного інтелекту (ШІ) [9].

Під штучним інтелектом розуміють комплексний науковий напрямок, метою якого є створення і застосування програмно-апаратних засобів, що дозволяють моделювати процес людського мислення (окремі функції творчої діяльності) і забезпечувати діалог з комп'ютером мовою, природною для людини. ШІ – це метафорична назва нових інформаційних технологій обробки інформації, створених фахівцями різноманітних галузей науки і техніки (математиками, інженерами, психологами, лінгвістами, військовими вченими та ін.).

Основними напрямками застосування систем ШІ, з точки зору їхнього використання є: навчальні програми; логіко-лінгвістичні моделі; гібридні експертні системи; системи підтримки прийняття рішень (СППР); обробка зображень; розпізнавання образів (ситуацій).

Термін "м'які обчислення" (Soft Computing) був запроваджено в 1994 р. основоположником теорії нечітких множин Л.Заде (Zadeh, Lotfi A., «Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing», Communications of the ACM, March 1994, Vol. 37 No. 3, pp 77-84.). Традиційний термін "штучний інтелект" був розширений до термін "обчислювальний інтелект", який пов'язують з концепцією м'яких обчислень і м'яких знань. На нашу думку, термін "м'які обчислення" в математичному та алгоритмічному сенсі базується на наступних

моделях та методах: теорія можливостей; нечіткі множини, нечітка логика, нечітке управління і споріднені з ними формалізми для моделювання невизначеності; можливосте-імовірнісні моделі та методи прийняття рішень; еволюційне моделювання та генетичні алгоритми; системи з хаотичною динамікою [9].

Таким чином, перспективні напрямки підвищення достовірності прогнозування ТС ЗВТ в алгоритмічному сенсі, безумовно базуються та так званих м'яких обчисленнях (рис.4).



Рис.4. Напрямки підвищення достовірності прогнозування ТС ЗВТ

Створення ефективного інтелектуалізованого діагностичного забезпечення передбачає, перш за все проведення системного аналізу об'єктів діагностування та прогнозування з метою виділення і типізації характерних процесів деградації технічного стану найбільш навантажених і відповідальних вузлів і деталей, що лімітують безвідмовність і довговічність обладнання, визначення раціональної глибини діагностування, систематизації діагностичних завдань і подальшого аналізу і вибору методів і засобів діагностування, а також визначення вихідних передумов для дослідження і розробки принципово нових діагностичних методик.

Постановка наукового завдання.

Дослідження, яке виконане в межах наукової праці показує, що рівень безаварійного судноводіння, показники якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів продовжують покращуватися. Особлива увага приділяється саме заходам забезпечення заданого рівня надійності. Значна роль в цьому напрямку – рішення завдання прогнозування технічного стану засобів водного транспорту.

Незважаючи на стрімкий розвиток теорії штучного інтелекту взагалі, актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів прогнозування технічного стану засобів водного транспорту на основі м'яких обчислень, вирішенню цього завдання і присвячена дана робота.

Дамо символічну формалізацію наукового завдання.

Потрібне визначити кортеж

$$\langle \beta, T, X, G, M \rangle ,$$

де β – лінгвістична змінна технічного стану ЗВТ;

T – множина термів лінгвістичної змінної β ;

$T = \{ \text{«придатне»}, \text{«обмежено придатне»}, \text{«заборонене до експлуатації»} \}$,

X – універсум (область значень лінгвістичної змінної технічного стану ЗВТ);

G – синтаксична процедура, яка описує процес генерування з множини T нових значень лінгвістичної змінної β ;

M – семантична процедура, яка визначає відповідність кожному новому значенню лінгвістичної змінної β (яке отримане за допомогою G) елементам деякої нечіткої множини.

Структурне-логічна схема постановки наукового завдання наведено на рис.5.



Рис.5. Структурне-логічна схема постановки наукового завдання

Таким чином, надана формальна постановка актуального нового наукового завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів прогнозування технічного стану засобів водного транспорту на основі м'яких обчислень, що безпосередньо впливає на підвищення достовірності прогнозу ТС за рахунок автоматизації та комп'ютеризації. Доцільно підкреслити, що данні моделі та методи реалізуються саме в математичному, алгоритмічному та програмному забезпеченні бортової комп'ютерної системи, наприклад, в так званій інтегрованої мостикової системі (Integrated Bridge System) [10, 11].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. На даний час водний транспорт України у цілому характеризується покращенням рівня безпеки судноводіння, показників якості та ефективності перевезень пасажирів та вантажів. Доведено те, що водний транспорт з метою сприяння швидкому економічному, соціальному та політичному розвитку країни має розвиватися випереджальними темпами. Очікується, що у 2020-2022 роках обсяги перевезення вантажів збільшаться в порівнянні з 2010 роком на 40 %, переробка вантажів у державних портах – на 45 %, обсяги пасажирських перевезень – на 30 %.

2. На підставі результатів аналізу досвіду експлуатації та розвитку транспортної галузі України та провідних країн світу встановлено, що в сучасних умовах технічні фактори, які впливають на аварії водного транспорту складають до 30% від загальної кількості. А це

безумовно, підкреслює необхідність забезпечення заданого рівня надійності ЗВТ.

3. На думку фахівців загальна проблема надійності засобів водного транспорту має достатню кількість складових, з яких завдання прогнозування технічного стану ЗВТ є важливим та актуальним. В сучасних умовах існує багато напрямків вирішення цього завдання, але дослідження показали, що на даний час існує необхідність пошуку нових підходів, методів та моделей. Це пов'язано з тим що в більшості ситуацій відсутня статистична або будь-яка апріорна інформація про можливі зовнішні впливи та дестабілізуючі фактори. Забезпечення високого рівня достовірності прогнозу потребує ефективних підходів, з яких найбільш доцільним є той, що заснований на штучному інтелекті.

4. Аналіз існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності складних технічних систем, до яких повною мірою відноситься й інтелектуальна транспортна система, дозволив зробити висновок про формування за останні роки нового пріоритетного підходу, пов'язаного із реалізацією принципів теорії штучного інтелекту – м'яких обчислень. Таким чином, загальне наукове завдання щодо розвитку моделей, методів, методик та алгоритмів прогнозу технічного стану ЗВТ на основі м'яких обчислень є важливим та актуальним для науки та практики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті М. Ноняка за 2017 рік. Державна служба України з безпеки на транспорті : веб сайт. URL: <http://dsbt.gov.ua/storinka/publichnyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhaula-0> (дата звернення: 09.12.2018).
2. Абрамов О.В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения. Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4 (24). С. 108–115.
3. Михайлова Т.І, Бойко С.О., Шевченко А.П.Спосіб прогнозування відмов агрегатів суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень. Новітні технології. 2019. Вип.1(8). С.52–58.
4. Будолак С.Ю., Ткаченко В.В., Гуменніков Р.В., Шевченко А.П. Метод структурного синтезу системи управління засобів водного транспорту. Наукоємні технології. 2019. №1(41). С.101–108. DOI: 10.18372/2310-5461.41.13535.
5. Управління технічною експлуатацією флоту : конспект лекцій. URL: http://www.kma.ks.ua/ua/images/2_library/methodical/sud_energ/department/avtomatyka/utef/u1.pdf (дата звернення: 09.12.2018).
6. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. / Богомья В.І. та ін. ; за ред. О. М. Тимощук. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.
7. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації судового обладнання./ Богомья В.І. та ін. ; за ред. О. М. Тимощук. Київ, ДУІТ, 2018, 305 с.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. Москва: Вильямс, 2006. 1104 с.
9. Седова Н. А., Седова Н. А. Теоретические аспекты нейросетевого управления курсом судна. Транспортное дело России. Москва: Морские вести России, 2006. Спецвыпуск № 7.С. 54– 57.
10. Равин А.А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения : дис.... д-ра техн. наук : 05.08.05. URL: <http://docplayer.ru/44925881-Ravin-aleksandr-aleksandrovich-diagnosticheskoe-obespechenie-sudovogo-energeticheskogo-oborudovaniya-problemy-i-resheniya.html> (дата звернення: 30.11.2018).

-
11. Разработка метода оценки и прогнозирования технического состояния судовых сложных систем / В. В. Вычужанин та ін. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. №6/9 (84). URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/85605/87615> (дата звернення: 06.01.2020).

Shevchenko A.P., Plita L.L.

ANALYSIS OF METHODS FOR FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF WATER VEHICLES

Information on the level of crash-free operation and the efficiency of break passengers and trucks are improving. Special attention is paid to the capture of the specified levels of reliability of technical characteristics. A significant battle in this case - the decision was made to predict the technical age of water transport. This is even more than the actual actual scientific results using the highest efficiency of the technical services of maritime and uniform vehicles, which were submitted for verification of their technical condition.

To date, for the guaranteed reliable reliability of forecasting the technical condition of water transport, the active use of software solutions. The analysis of foreign and domestic experience developed and proposed a systematic forecasting of the technical condition as a composite subsystem, so he proposed water transport in general to provide a significant number of its capabilities for the development of mathematical and algorithmic software. The most relevant in this is the use of models and methods of artificial intelligence, namely, the so-called many calculations.

Key words: *model, method, forecasting, technical condition, water transport equipment, artificial intelligence methods, necessary examinations.*

Шевченко А.П., Плита Л.Л.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Сведения, уровень безаварийного судинопадиння, работают и эффективность перерыва пассажиров и грузовиков, улучшаются. Специальное внимание уделяется самому захвату заданных уровней надежности технических характеристик. Значительный бой в этом деле - решение решено прогнозировать техническое старость водного транспорта. Это еще больше, чем актуальные фактические научные результаты с использованием наивысшей эффективности технических служб морских и равномерных транспортных средств, поступивших на проверку их технического состояния.

На сегодняшний день для гарантированного достоверного достоверности прогнозирования технического состояния водного транспорта активное использование программного решения. Анализ зарубежного и отечественного опыта разработан и предложил системную прогнозирования технического состояния как составленного подсистемы, так что он предложил водный транспорт в целом, чтобы обеспечить значительное количество своих возможностей для развития математического и алгоритмического обеспечения. Наиболее актуальным в этом является использование моделей и методов искусственного интеллекта, в частности, так взвешенных многих вычислений.

Ключевые слова: *модель, метод, прогнозирования, техническое состояние, оборудование водного транспорта, методы искусственного интеллекта, необходимые обследования.*

Костановський В. В., Мачалін І.О.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

В роботі проведено короткий аналіз моделей надійності АФАР, запропонованими вченими і інженерами за останні 20 років. Розглянуто модель надійності приймальної АФАР за критерієм допустимого підвищення мінімального рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості амплітудно-фазового розподілу антеною решітки. Проаналізовано модель надійності передавальної АФАР за критерієм допустимого зниження максимальної дальності РЛС. Показано, що розглянуті моделі надійності є наближеними (використовують експонентний закон розподілу відмов АФАР) і тому можуть використовуватися тільки для наближеного визначення середнього напрацювання до відмови антеною решітки. Для визначення імовірнісних показників надійності АФАР: ймовірності безвідмовної роботи, інтенсивності відмов, щільності розподілу відмов, гамма-відсоткових ресурсу і ін. Необхідні більш універсальні моделі надійності, що враховують структуру і складність побудови антеною решітки як системи, що складається з величезної кількості основних і резервних приймально-передавальних каналів і модулів. У роботі розроблені і досліджені універсальні моделі надійності АФАР багатофункціональної РЛС з дворівневої структурною схемою надійності (дворівнева АФАР). Універсальні моделі надійності враховує два основних фізичних критерію відмови АФАР: допустиме зниження максимального рівня дальності РЛС і припустиме збільшення мінімального рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості антеною решітки. Як законів розподілу відмов випромінюючих (передавальних) і прийомних каналів і модулів антеною решітки застосовується експоненціальне розподіл (характеризує раптові відмови), немонотонний диффузійний розподіл (характеризує поступові відмови) і композиція експоненціального і дифузійного немонотонного закону розподілів (характеризує спільне прояв раптових і поступових відмов). У статті представлені рівняння і формули для визначення показників надійності передавальної, приймальної та приймально-передавальної АФАР: середнього напрацювання до відмови, ймовірності безвідмовної роботи та ін.

В роботі розглянуто три ілюстративних прикладу розрахунку показників надійності передавальної, приймальної та приймально-передавальної АФАР при експоненційному розподілі відмов каналів і модулів антеною решітки. Проведено аналіз впливу інтенсивностей відмов випромінюючих каналів і модулів джерел вторинного живлення на середній наробіток до відмови АФАР. Представлені в статті універсальні моделі надійності АФАР рекомендується використовувати при розробці нових багатофункціональних РЛС з АФАР, а також можуть бути корисні студентам і аспірантам університетів і вищих навчальних закладів в навчальному процесі.

Ключові слова: показники надійності, середнє напрацювання до відмови, активна фазована антенна решітка, передаючі і прийомні канали антеною решітки

1. Введение

Морские многофункциональные радиолокационные станции (РЛС) являются технически сложными, дорогостоящими радиоэлектронными системами. Они совмещают функции обнаружения и точного сопровождения целей с возможностью наведения большого количества зенитных управляемых ракет по выбранным целям. Особую роль в современной

радиоэлектронике играют фазированные антенные решетки (ФАР). Технологии создания ФАР за последние 20-25 лет развиваются наиболее интенсивно. Их применение позволило увеличить скорость обзора пространства, улучшить характеристики антенных систем, обеспечить возможность многофункциональной работы РЛС различного назначения. Создание надежных радиолокационных средств с ФАР является долгосрочной целью и приоритетной задачей военно-технической политики. Ввиду расширения объема решаемых задач создаются качественно новые системы следующего поколения, развиваются технологии РЛС с активными ФАР (АФАР). В мире большое внимание уделяется разработке новых и модернизации состоящих на вооружении многофункциональных РЛС боевых кораблей. Более 30 лет на вооружении ВМС США находится корабельная многофункциональная радиолокационная станция AN/SPY-1. За это время разработано пять основных модификаций этой РЛС [1]. Широкое применение АФАР нашли в многофункциональных РЛС наземных зенитных ракетных комплексов США: Patriot (РАС-3), MEADS, THAAD. При этом АФАР многофункциональных РЛС могут включать в свой состав до несколько десятков тысяч активных сверхвысокочастотных (СВЧ) модулей. Учитывая, что АФАР многофункциональных РЛС являются дорогостоящими радиоэлектронными системами ответственного назначения с большим ресурсом и длительным сроком службы, то актуальной является проблема разработки методов расчета надежности.

2. Краткий обзор

Разработке моделей надежности АФАР посвящен ряд работ американских и отечественных исследователей [2-10]. Американскими учеными А. К. Агравалом и Э. Л. Хольцманом [2-4] рассматривалась модель надежности АФАР РЛС по критерию допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков.

В работе [2] исследуется модель надежности приемной АФАР, представленной матрицей из 8000 элементов, со значением амплитуды главного бокового лепестка распределения Тейлора, равного минус 40 дБ, и гексагональной структурой размещения излучателей, расстояние между элементами которой составляет половину длины волны. Критерием отказа АФАР при этом считается повышение (выше допустимого уровня) минимального уровня ближних боковых лепестков диаграммы направленности амплитудно-фазового распределения антенной решетки. Отказ АФАР фиксируется при превышении допустимого количества отказов любого из трех видов компонентов антенной решетки: приемо-передающих модулей, модулей управления и модулей источников вторичного электропитания. В работе [2] представлены значения предельно допустимых количеств отказов компонентов АФАР при повышении уровня боковых лепестков на 3 дВ:

$$F_{T/R} = 256, F_{CM} = 5, F_{PS} = 5$$

и при повышении уровня боковых лепестков на 6 дВ: $F_{T/R} = 512, F_{CM} = 10, F_{PS} = 10$.

Предельные количества отказов компонентов АФАР:

приемо-передающих модулей – $F_{T/R}$, модулей управления - F_{CM} и модулей источников

питания - F_{PS} определялись с использованием метода статистического моделирования уровня боковых лепестков диаграммы направленности амплитудно-фазового распределения антенной решетки.

В работе [2] представлена формула для определения средней наработки на отказ АФАР ($MTBF_{ANT}$):

$$MTBF_{ANT} = \frac{1}{\frac{N_{T/R}}{F_{T/R} MTBF_{T/R}} + \frac{N_{CM}}{F_{CM} MTBF_{CM}} + \frac{N_{PS}}{F_{PS} MTBF_{PS}}} \quad (1)$$

Из формулы (1), можно вывести формулу для расчета интенсивности отказов АФАР:

$$\lambda_{ANT} = \lambda_{T/R} + \lambda_{CM} + \lambda_{PS}, \quad (2)$$

где

$$\lambda_{T/R} = \frac{N_{T/R}}{F_{T/R} \cdot MTBF_{T/R}}, \lambda_{CM} = \frac{N_{CM}}{F_{CM} \cdot MTBF_{CM}}, \lambda_{PS} = \frac{N_{PS}}{F_{PS} \cdot MTBF_{PS}}.$$

Характер формулы (2) показывает, что для модели надежности АФАР РЛС в работе [2] используется экспоненциальное распределение отказов.

В работах [5,6,7] рассматриваются модели надежности невосстанавливаемой ФАР с одноуровневой структурной схемой надежности (далее одноуровневая ФАР). В работе [5] рассматривается модель надежности невосстанавливаемой ФАР, структура которой включает: $N(t=0) = n + m$ СВЧ элементов, находящихся в начальный момент времени ($t=0$) в работоспособном состоянии, в числе которых n - рабочих и m - резервных элементов.

Критерием отказа невосстанавливаемой ФАР, является отказ $(m+1)$ -го СВЧ элемента в момент времени $t = T_{0_APAR}$, то есть выполнение условия 1: $N(t = T_{0_APAR}) = N(t=0) - m - 1$ или условия 2: $N(t = T_{0_APAR}) = n - 1$.

В работе [5] выведена простая формула для расчета средней наработки до отказа АФАР при экспоненциальном распределении отказов СВЧ элементов.

В работах [6,7] исследуется модель надежности ФАР при различных законах распределения отказов СВЧ модулей. Рассматриваются показатели надежности СВЧ модулей ФАР, которые учитывают внезапные и постепенные отказы, для различных законов распределения отказов:

- для экспоненциального распределения (E-R);
- для диффузионного немонотонного распределения (DN-R);
- для распределения Вейбулла (W-R);
- для обобщенного показательного распределения (OP-R);
- для смеси распределений – экспоненциального и Вейбулла (E+W-R).

Критерием отказа ФАР, скомпонованую из $N = n + m$ СВЧ модулей (n - основных та m - резервных модулей), является отказ $m+1$ модуля в момент времени $t_0 = T_{0_APAR}$

Аналитически условие отказа ФАР формулируется следующим образом

$$N(t_0 = T_{0A}) = N - m - 1, \quad (3)$$

Если $N(t_0 = T_{0A}) = NP_M(t_0 = T_{0A})$, то с учетом выражения (3) формулируется уравнение (4) и (5) для определения средней наработки до отказа ФАР

$$P_M(T_{0A}) = 1 - \frac{m}{N} - \frac{1}{N} \quad (4)$$

или

$$\frac{N-m}{N} = P_M(T_{0A}), \quad (5)$$

где $P_M(t_0)$ - вероятность безотказной работы СВЧ модулей.

В работах [6,7] проведены исследования поведения вероятности безотказной работы, плотности распределения отказов и интенсивности отказов одноуровневой АФАР при различных законах распределения отказов СВЧ модулей.

В работах [8,9] рассматривается обобщенная вероятностно-физическая модель надежности АФАР с двухуровневой структурной схемой надежности (далее двухуровневая АФАР). В модели надежности двухуровневой АФАР РЛС используется два критерия отказов: критерий допустимого уменьшения количества излучающих каналов в антенной решетке и критерий допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности амплитудно-фазового распределения антенной решетки. В работах [8,9] выведены уравнения для определения средней наработки до отказа АФАР, получены аналитические выражения для вероятности безотказной работы, плотности распределения вероятности и интенсивности отказов АФАР. Проведены исследования средней наработки до отказа АФАР при экспоненциальном (внезапные отказы) и диффузионном немонотонном (постепенные отказы) распределениях отказов излучающих каналов.

В работе [10] представлена модель надежности передающей АФАР по критерию допустимого снижения максимальной дальности радиолокатора. Выведены трансцендентное уравнение и приближенная формула для определения средней наработки до отказа антенной решетки в зависимости от относительного снижения максимальной дальности РЛС и интенсивностей отказов приемо-передающих каналов и модулей электропитания.

Достоинствами моделей надежности АФАР, представленных в работах [2-10], являются:

- сравнительно простые аналитические соотношения для определения средней наработки до отказа АФАР, практически не зависящие от количества излучающих элементов в антенной решетке;
- критерии отказов АФАР, которые являются ограничениями для основных определяющих параметров в процессе функционирования антенной решетки;
- возможность определения основных показателей надежности и технического обслуживания АФАР: средней наработки до отказа, вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, гамма-процентного ресурса и потребного количества запасных каналов и модулей.

Однако применение моделей надежности АФАР РЛС [2-10], возможно при ряде ограничений:

а) для моделей надежности одноуровневой АФАР:

- возможность расчета показателей надежности для АФАР только одного типа: приемной или передающей АФАР;
- возможность использования только одного из критериев отказов: или допустимого снижения максимальной дальности радиолокатора, или допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков антенной решетки;

б) для модели надежности АФАР по критерию допустимого снижения максимальной дальности радиолокатора:

- возможность использования только экспоненциального распределения для отказов антенной решетки и приближенных формул для определения интенсивности отказов АФАР;
- большие погрешности определения вероятности безотказной работы АФАР при использовании экспоненциального распределения отказов (см. рис. 1);

в) для модели надежности двухуровневой АФАР:

- невозможность (напрямую) использования критерия допустимого снижения максимальной дальности локатора для расчета показателей надежности универсальной приемо-передающей АФАР.

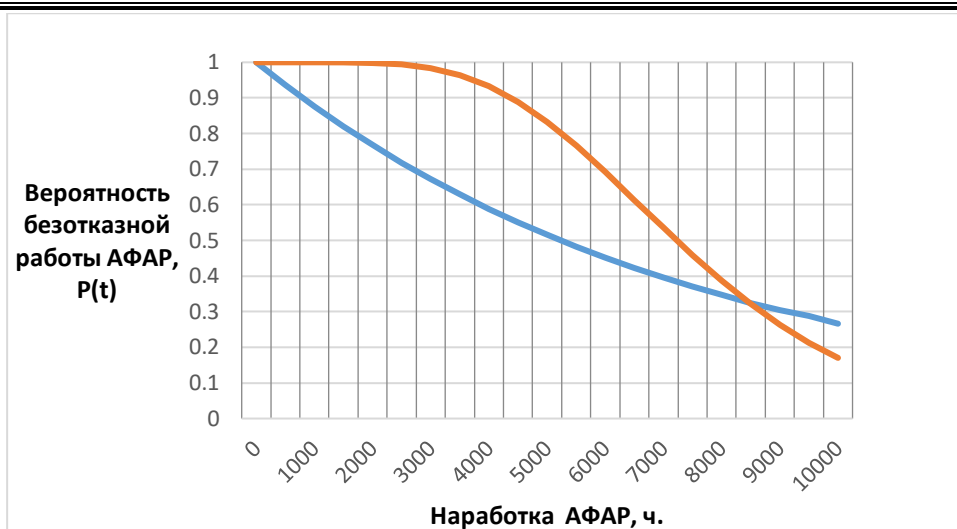


Рис. 1. Графики вероятности безотказной работы АФАР:

для модели надежности по критерию снижения максимальной дальности радиолокатора – синяя линия (экспоненциальное распределение отказов), для модели надежности двухуровневой АФАР- красная линия (биномиальное распределение отказов)

3. Постановка проблемы. Цель исследования

Исходя из изложенного выше в обзоре, для проектирования, производства и эксплуатации многофункциональных РЛС с АФАР является актуальной и необходимой постановка и решение проблемы разработки универсальной модели надежности АФАР, которая бы учитывала два главных физических критерия отказа: снижение максимальной дальности локатора и повышение уровня боковых лепестков диаграммы направленности антенной решетки при отказе излучающих (передающих) и приемных каналов и модулей антенной решетки. Цель исследования – разработка и исследование универсальных моделей надежности АФАР РЛС, учитывающих два главных физических критерия отказа: снижение максимальной дальности локатора и повышение минимального уровня боковых лепестков при отказе излучающих (передающих) и приемных каналов и модулей антенной решетки.

4. Разработка универсальных моделей надежности АФАР РЛС

4.1 Модели отказов приемных и передающих каналов подрешетки и модулей вторичных источников электропитания (табл. 1)

Таблица 1

Модели отказов приемных и передающих каналов и модулей вторичных источников электропитания, учитывающие внезапные и постепенные отказы

Тип распределения отказов	Вероятность безотказной работы
Экспоненциальное распределение (ER) (внезапные отказы)	$P_{ER}(t) = \exp(-t / T_{0_MOD_ER}) \quad (6)$
Диффузионное немонотонное (DNR) (постепенные отказы)	$P_{MOD.}(t) = \Phi\left(\frac{T_{0_MOD.} - t}{\sqrt{T_{0_MOD.}t}}\right) - \exp(2)\Phi\left(-\frac{T_{0_MOD.} + t}{\sqrt{T_{0_MOD.}t}}\right). \quad (7)$
Композиция распределений экспоненциального и диффузионного немонотонного (ER и DNR) (внезапные и постепенные отказы)	$P_{MOD_ER*DNR}(t) = \exp(-\frac{t}{T_{0_MOD_ER}}) \left\{ \Phi\left[\frac{T_{0_MOD_DNR} - t}{\sqrt{T_{0_MOD_DNR}t}}\right] - \exp(2)\Phi\left[-\frac{T_{0_MOD_DNR} + t}{\sqrt{T_{0_MOD_DNR}t}}\right] \right\} \quad (8)$

4.2 Универсальная модель надежности передающей АФАР РЛС

Структурная схема надежности передающей двухуровневой АФАР РЛС включает:

- N_R – общее количество излучающих (передающих) каналов;
- S_R – количество передающих(излучающих) антенных подрешеток;
- G_R – количество излучающих каналов в передающей антенной подрешетке;
- m_{GR} - допустимое количество отказов излучающих каналов в передающей антенной подрешетке;
- m_{SR} - допустимое количество отказов передающих антенных подрешеток в передающей АФАР.

Критерии отказа передающей АФАР:

- **первый критерий отказа** – допустимое снижение максимальной дальности радиолокатора;
- **второй критерий отказа** – допустимое количество отказов излучающих антенных подрешеток.

Алгоритм расчета показателей надежности передающей АФАР включает три последовательных шага:

Первый шаг:

Определение значения средней наработки до отказа передающей АФАР $T_{0_APAR_1}$, по критерию допустимого снижения максимальной дальности локатора из решения трансцендентного уравнения (9) [10]:

$$\left(1 - \frac{\Delta D}{D}\right)^4 = 9 - 2P_{RAD_AN_M}(T_{0_APAR}) - 2P_{RAD_M_SPALAR}(T_{0_APAR}) - 3P_{SPS}(T_{0_APAR}), \quad (9)$$

где $P_{RAD_AN_M}(T_{0_APAR})$ - вероятность безотказной работы излучающего (передающего) канала антенной решетки;

$P_{RAD_M_SPALAR}(T_{0_APAR})$ - вероятность безотказной работы излучающего (передающего) канала модуля антенной подрешетки;

$P_{SPS}(T_{0_APAR})$ - вероятность безотказной работы модуля вторичного источника питания;

$\frac{\Delta D}{D}$ - допустимое снижение максимальной дальности радиолокатора.

Второй шаг:

Рассчитывается допустимое число отказов антенных передающих подрешеток m_{SR} двухуровневой АФАР (которое приближенно обеспечивает значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_1}$, определенное на первом шаге) и значение средней наработки до отказа передающей АФАР $T_{0_APAR_2}$, (используя модель надежности двухуровневой АФАР) из решения уравнения:

$$P_{SPS}(t = T_{0_RAD_APAR})P_{RAD_SLAPAR}(t = T_{0_RAD_APAR}) = 1 - C_2 - \frac{1}{S_0}, \quad (10)$$

где вероятность безотказной работы передающей подрешетки определяется по формуле

$$P_{RAD_SLAPAR}(t) = P_{SPS}(t) \sum_{i=0}^{m_{RAD_CHAN.}} C_{G_0}^i [P_{RAD_CHAN.}(t)]^{G_0-i} [Q_{RAD_CHAN.}(t)]^i, \quad (11)$$

Примечание:

При расчете $T_{0_APAR_2}$ двухуровневой АФАР принимается условие, что $m_{GR} = 2G_R \times \frac{\Delta D}{D}$

Третий шаг:

Используя значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_2}$ и значение допустимого количества отказов антенных передающих подрешеток m_{SR} двухуровневой АФАР, определяются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и другие показатели надежности передающей АФАР:

$$P_{RAD.APAR}(t) = \sum_{i=0}^{m_{RAD.SLAPAR}} C_{S_0}^i [P_{RAD.SLAPAR}(t)]^{S_0-i} [Q_{RAD.SLAPAR}(t)]^i, \quad (12)$$

4.2 Универсальная модель надежности приемной АФАР РЛС

Структурная схема надежности приемной АФАР РЛС включает:

N_P – общее количество приемных каналов;

S_P – количество приемных антенных подрешеток;

G_P – количество приемных каналов в приемной антенной подрешетке;

m_{GP} – допустимое количество отказов приемных каналов в приемной антенной подрешетке;

m_{SP} – допустимое количество отказов приемных антенных подрешеток в приемной АФАР

Критерии отказа приемной АФАР:

- **первый критерий отказа** – допустимое снижение максимальной дальности радиолокатора;

- **второй критерий отказа** – допустимое количество отказов приемных антенных подрешеток.

Алгоритм расчета показателей надежности приемной АФАР включает два последовательных шага:

Первый шаг:

Используя модель надежности двухуровневой АФАР, для допустимого количества отказов антенных подрешеток m_{SP} (допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности) из решения трансцендентного уравнения (13) рассчитывается значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_REC}$ приемной АФАР:

$$P_{REC.MOD.}(t = T_{0_REC.APAR}) P_{SPS}(t = T_{0_REC.APAR}) P_{REC.SLAPAR}(t = T_{0_REC.APAR}) = 1 - C_1 - \frac{1}{S_0} \quad (13)$$

и вероятности безотказной работы приемной подрешетки по формуле:

$$P_{RES.SLAPAR.}(t) = P_{REC.MOD.}(t) P_{SPS}(t) \sum_{i=0}^{m_{REC.CHAN.}} C_{G_0}^i [P_{REC.CHAN.}(t)]^{G_0-i} [Q_{REC.CHAN.}(t)]^i, \quad (14)$$

Примечание:

При расчете $T_{0_APAR_REC}$ двухуровневой АФАР принимается условие, что $m_{GR} = G_R \times \frac{\Delta D}{D}$

Второй шаг:

Используя значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_REC}$ и значение допустимого количества отказов антенных приемных подрешеток m_{SP} двухуровневой АФАР, определяются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и другие показатели надежности приемной АФАР:

$$P_{REC.APAR}(t) = \sum_{i=0}^{m_{REC.SLAPAR}} C_{S_0}^i [P_{RES.SLAPAR}(t)]^{S_0-i} [Q_{REC.SLAPAR}(t)]^i, \quad (15)$$

4.3

Универсальная модель надежности прямо-передающей АФАР РЛС

Структурная схема надежности приемо-передающей двухуровневой АФАР РЛС включает:

N – общее количество приемных и передающих каналов;

S – количество приемо-передающих антенных подрешеток;

G – количество приемных и передающих каналов в приемо-передающей антенной подрешетке;

m_G – допустимое количество отказов приемных и передающих каналов в приемо-передающей антенной подрешетке;

m_S – допустимое количество отказов приемо-передающих антенных подрешеток в приемо-передающей АФАР.

Критерии отказа приемо-передающей АФАР:

- **первый критерий отказа** – допустимое снижение максимальной дальности радиолокатора;

- **второй критерий отказа** – допустимое количество отказов приемо-передающих антенных подрешеток, определяемых допустимым повышением минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности

Алгоритм расчета показателей надежности приемо-передающей АФАР включает четыре последовательных шага:

Первый шаг:

Определение значения средней наработки до отказа $T_{0_APAR_1}$, передающей АФАР по критерию допустимого снижения максимальной дальности локатора из решения трансцендентного уравнения (9):

Второй шаг:

Рассчитывается значение допустимого количества отказов антенных передающих подрешеток m_{SR} двухуровневой АФАР (которое обеспечивает (приблизительно) значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_1}$, определенное на первом шаге) и соответствующее ему значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_2}$, передающей части АФАР, используя модель надежности двухуровневой АФАР, из решения уравнения

$$P_{SPS}(t = T_{0_RAD_APAR})P_{RAD.SLAPAR}(t = T_{0_RAD_APAR}) = 1 - C_2 - \frac{1}{S_0}, \quad (16)$$

где вероятность безотказной работы передающей подрешетки вычисляется формуле:

$$P_{RAD.SLAPAR}(t) = P_{SPS}(t) \sum_{i=0}^{m_{RAD.CHAN.}} C_{G_0}^i [P_{RAD.CHAN.}(t)]^{G_0-i} [Q_{RAD.CHAN.}(t)]^i, \quad (17)$$

Примечание: При расчете $T_{0_APAR_2}$, двухуровневой АФАР принимается условие, что

$$m_{GR} = 2G_R \times \frac{\Delta D}{D}$$

Третий шаг:

Используя модель надежности двухуровневой АФАР, для допустимого количества отказов антенных подрешеток m_{SR} (допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности) из решения трансцендентного уравнения (13) рассчитывается соответствующее ему значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_REC}$, приемной части АФАР.

Примечание: При расчете $T_{0_APAR_REC}$, двухуровневой АФАР принимается условие, что

$$m_{GR} = G_R \times \frac{\Delta D}{D}.$$

Четвертый шаг:

Используя значение средней наработки до отказа $T_{0_APAR_2}$, и значение допустимого количества отказов приемо-передающих антенных подрешеток m_S двухуровневой АФАР, определяются вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и другие показатели надежности приемной и передающих частей АФАР по формулам (12) и (15).

5. Иллюстративные примеры определения показателей надежности приемной, передающей и приемо-передающей АФАР при использовании универсальных моделей надежности

5.1 Пример расчета показателей надежности передающей АФАР

Структурная схема надежности передающей двухуровневой АФАР РЛС включает:

$N_R = 6400$ передающих (излучающих) каналов; $S_R = 100$ передающих (излучающих) антенных подрешеток; $G_R = 64$ передающих (излучающих) каналов в передающей антенной подрешетке; $m_{GR} = 13$ допустимое количество отказов излучающих каналов в передающей антенной подрешетке; m_{SR} - допустимое количество отказов передающих антенных подрешеток в передающей АФАР.

Отказы передающих каналов и модулей распределяются по экспоненциальному закону (внезапные отказы).

Интенсивности отказов передающих (излучающих) каналов антенных модулей $\lambda_{RAD.AN.M.}$ изменяются в диапазоне от $0,000004 \text{ ч}^{-1}$ до $0,000013 \text{ ч}^{-1}$. Интенсивность отказов передающих (излучающих) каналов модулей антенной подрешетки $\lambda_{RAD.M.SPALAR} = 0,000001 \text{ ч}^{-1}$.

Интенсивности отказов модулей вторичного электропитания λ_{SPS} изменяются в диапазоне от $0,000005 \text{ ч}^{-1}$ до $0,000020 \text{ ч}^{-1}$. Допустимое количество отказов передающих антенных подрешеток в передающей АФАР m_{SR} , изменяется от 1 до 10.

На рис. 2 представлены графики зависимостей средней наработки до отказа передающей АФАР от допустимого снижения максимальной дальности лоатора $\Delta D/D$ для одноуровневой АФАР (при расчете по критерию допустимого снижения максимальной дальности лоатора (красная линия)) и для двухуровневой АФАР (по критерию допустимого снижения количества излучающих каналов в антенной решетке (синяя линия)).

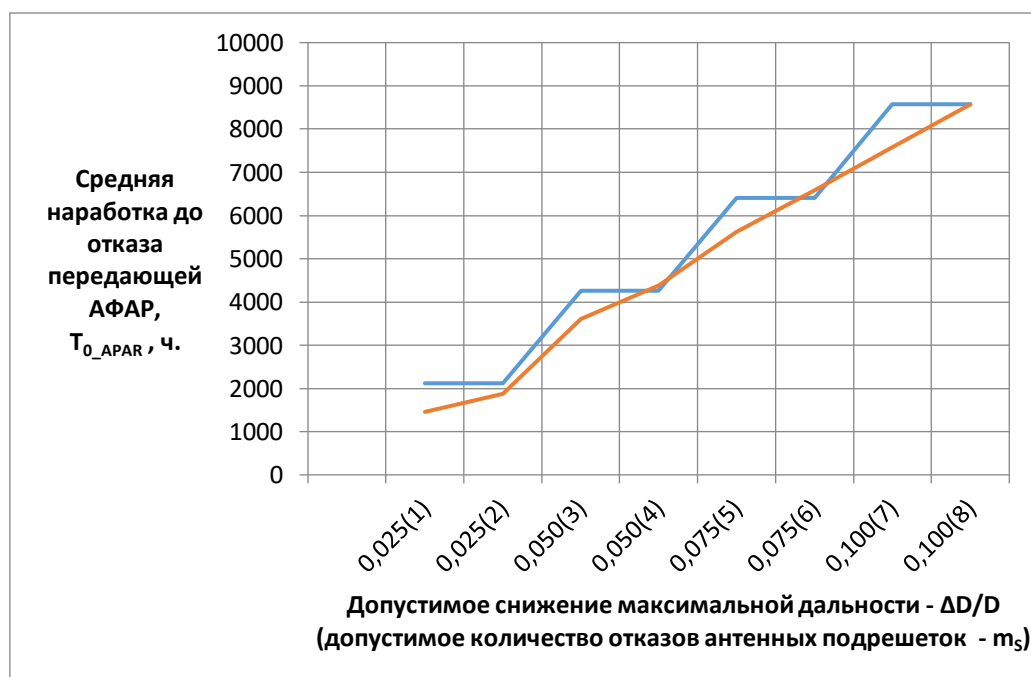


Рис. 2. Графики зависимости средней наработки до отказа передающей АФАР для двух критериев отказов

На рис. 2 допустимое количество отказов передающих антенных подрешеток двухуровневой АФАР зависит от допустимого снижения максимальной дальности лоатора $\Delta D/D$ и изменяется по следующей схеме: для $\Delta D/D=0,025$ - $m_{SR} = 1,2$; для $\Delta D/D = 0,050$ - $m_{SR} = 3, 4$; для $\Delta D/D = 0,075$ - $m_{SR} = 5, 6$; для $\Delta D/D = 0,100$ - $m_{SR} = 7, 8$.

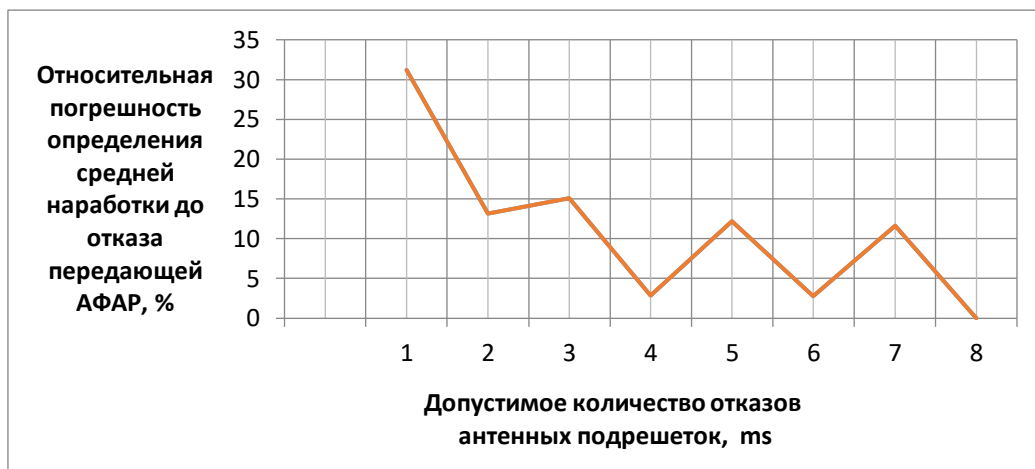


Рис. 3. График зависимости относительной погрешности определения средней наработки до отказа передающей АФАР от допустимого количества отказов антенных подрешеток

Как видно из рис. 3 относительная погрешность определения значения средней наработки до отказа передающей АФАР для двухуровневой АФАР (по сравнению с двухуровневой АФАР) составляет от 0 до 15%, что вполне удовлетворяет условию проведения расчетов надежности АФАР в пределах инженерной точности.

На рис. 4 представлены графики зависимости средней наработки до отказа передающей АФАР $T_{0_AFAR_1}$, модель одноуровневой АФАР) от интенсивностей отказов передающих каналов антенных модулей при различных значениях интенсивностей отказов модулей электропитания.

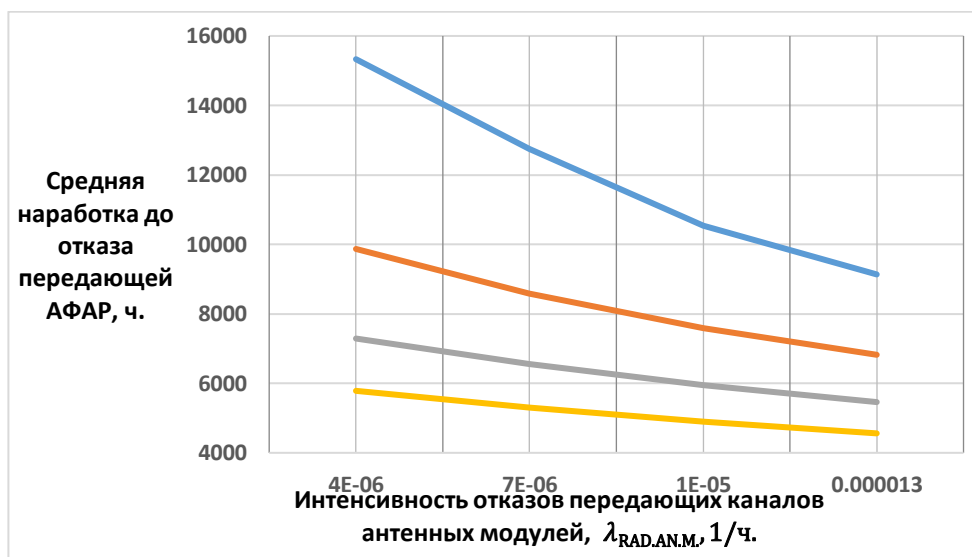


Рис.4. Графики зависимости средней наработки до отказа передающей одноуровневой АФАР и передающей части приемо-передающей АФАР для $\Delta D/D = 0,100$ от интенсивностей отказов передающих каналов антенных модулей

На рис.4 наведено: при различных интенсивностях отказов модулей вторичного электропитания $\lambda_{ME} = 0,000005$ 1/ч. - линия синего цвета; при $\lambda_{ME} = 0,000010$ 1/ч. - линия

красного цвета; при $\lambda_{ME} = 0,000015$ 1/ч. - линия зеленого цвета; при $\lambda_{ME} = 0,000020$ 1/ч. - линия фиолетового цвета

На рис. 5 представлены графики зависимости средней наработки до отказа передающей АФАР $T_{0_APAR_2}$, (модель двухуровневой АФАР) от интенсивностей отказов передающих каналов антенных модулей для допустимого снижения максимальной дальности радиолокатора $\Delta D/D = 0,100$ при различных значениях допустимых отказов передающих антенных подрешеток.

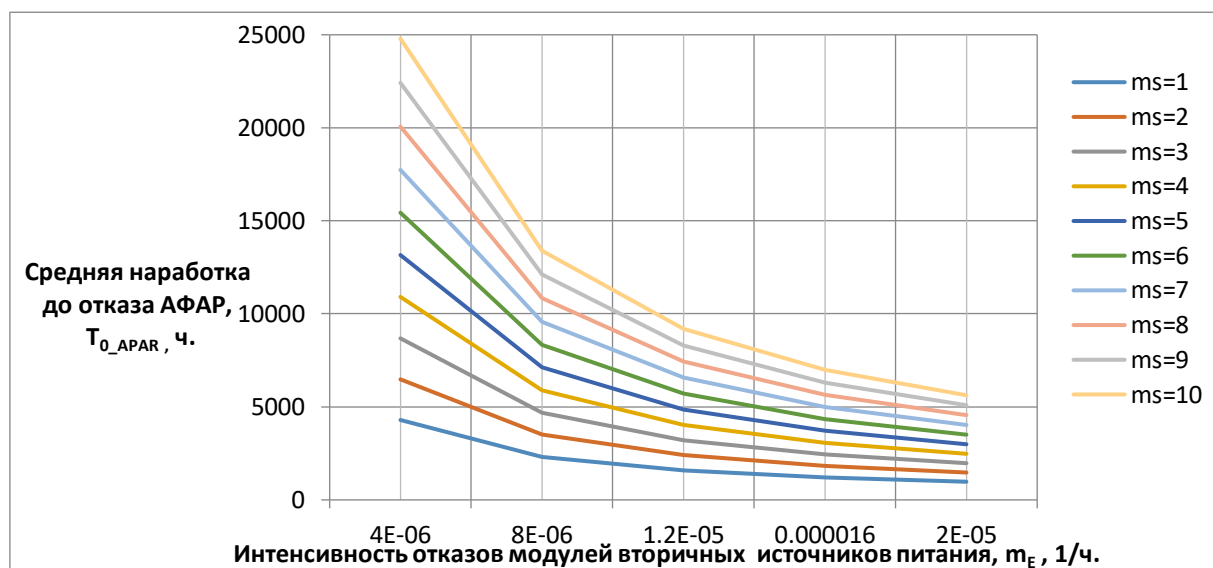


Рис. 5. Графики зависимости средней наработки до отказа передающей АФАР T_{0_APAR} от интенсивностей отказов модулей вторичного электропитания λ_{ME} для $\Delta D/D = 0,100$ при различных значениях допустимого количества отказов антенных подрешеток m_{SR}

5.2 Пример расчета показателей надежности приемной АФАР РЛС

Структурная схема надежности приемной АФАР РЛС включает:

$N_p = 6400$ – общее количество приемных каналов; $S_p = 100$ – количество приемных антенных подрешеток; $G_p = 64$ – количество приемных каналов в приемной антенной подрешетке; $m_{GP} = 6$ - допустимое количество отказов приемных каналов в приемной антенной подрешетке; m_{SP} - допустимое количество отказов приемных антенных подрешеток в приемной АФАР.

Отказы приемных каналов и модулей электропитания распределяются по экспоненциальному закону (внезапные отказы).

Интенсивности отказов приемных каналов антенных модулей: $\lambda_{REC.AN.M.} = 0,0000007$ ч⁻¹. Интенсивность отказов, приемных каналов модулей антенной подрешетки: $\lambda_{REC.M.SPALAR} = 0,0000007$ ч⁻¹. Интенсивности отказов модулей вторичного электропитания λ_{SP} изменяются в диапазоне от $0,000005$ ч⁻¹ до $0,000020$ ч⁻¹.

Допустимое количество отказов приемных антенных подрешеток в приемной АФАР m_{SP} , изменяется от 1 до 5. На рис. 6 представлены графики зависимостей средней наработки до отказа приемной АФАР от интенсивностей отказов модулей вторичного электропитания при различных значениях допустимого количества отказов приемных антенных подрешеток.

5.3 Пример расчета показателей надежности приемо-передающей АФАР РЛС

Исходные данные раздела 5.3 соответствуют исходным данным разделов 5.1 и 5.2, за исключением количества допустимых отказов приемных каналов антенных модулей: $m_{GP} = 13$.

Результаты расчетов показывают, что показатели надежности передающей части приемо-передающей АФАР соответствуют показателям надежности передающей АФАР (раздел 5.1), а показатели надежности приемной части приемо-передающей АФАР соответствуют

показателям надежности приемной АФАР (раздел 5.2). Для приемо-передающей АФАР в целом надежность будут определяться показателями надежности приемной АФАР, так как они имеют более низкие значения по сравнению с показателями надежности передающей АФАР.

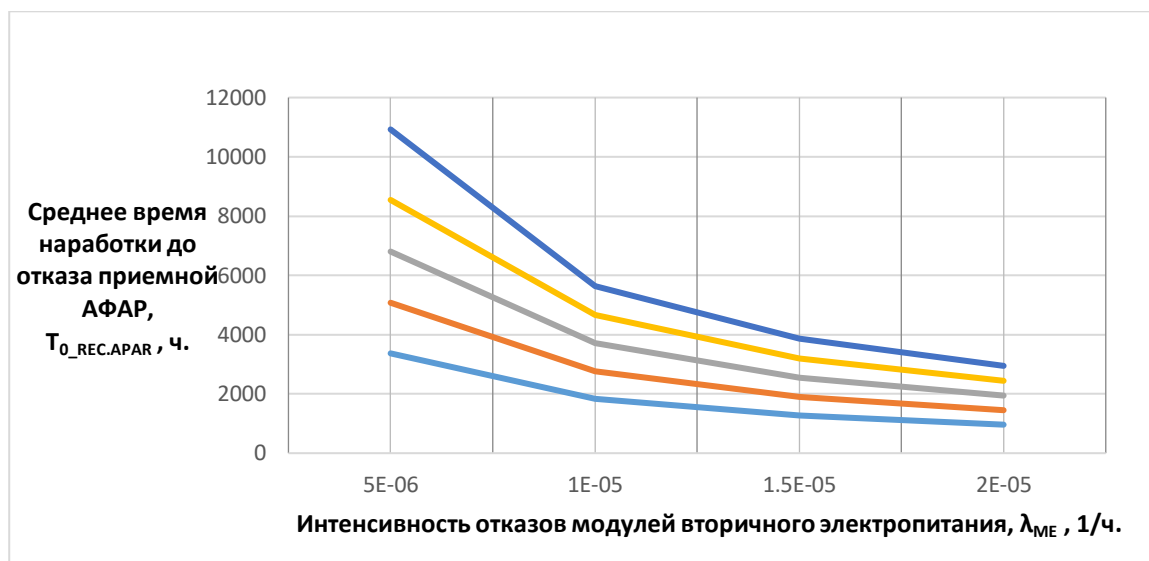


Рис. 6. Графики зависимости средней наработки до отказа приемной АФАР $T_{0_АФАР}$ от интенсивностей отказов модулей вторичного электропитания λ_{ME} при различных значениях допустимого количества отказов антенных подрешеток m_{SP} : при $m_{SP} = 1$ - синяя линия; при $m_{SP} = 2$ - красная линия; при $m_{SP} = 3$ - зеленая линия; при $m_{SP} = 4$ - фиолетовая линия; при $m_{SP} = 5$ - голубая линия

6. Выводы

6.1 Проведен анализ и систематизация моделей надежности АФАР РЛС, разработанных за последние 20 лет.

6.2 Модель надежности АФАР РЛС по критерию допустимого снижения минимальной дальности лоатора может служить приближенной моделью для определения средней наработки до отказа передающей АФАР.

6.3 Модель двухуровневой АФАР, учитывающая два критерия отказов: допустимое снижение количества излучаемых модулей и допустимое снижение количества приемных подрешеток, является основой для построения универсальных моделей надежности для передающей, приемной и приемо-передающей АФАР.

6.4 Универсальные модели надежности АФАР позволяют определить следующие показатели надежности антенной решетки: среднюю наработку до отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, гамма-процентные ресурсы и др.

6.5 Средняя наработка до отказа передающей и приемо-передающей АФАР в значительной мере зависит от значений интенсивностей отказов излучающих (приемных) каналов и источников вторичного питания.

6.6 Средняя наработка до отказа приемной АФАР в значительной мере зависит от интенсивностей отказов источников вторичного питания.

6.7 Предлагаемые в данной статье универсальные модели надежности АФАР рекомендуется использовать при проектировании новых многофункциональных РЛС с АФАР и разработке их системы технического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пак Я., Стрелецкий А. Развитие систем ПВО-ПРО боевых кораблей ВМС США [Текст]: / М. : Зарубежное военное обозрение.- 2017 - №5- С. 66-75.
 2. Ashok K. Agrawal Active Phased Array Design for High Reliability, [Text] / Ashok K. Agrawal and Eric L. Holzman // IEEE Transactions on aerospace and electronic systems - Vol. 35 - NO. 4 - October 1999 - p.p. 1204 -1211.
 3. Ashok K. Agrawal. Beamformer Architectures for Active Phased-Array Radar Antennas, [Text] / Ashok K. Agrawal, and Eric L. Holzman // IEEE Transactions on antennas and propagation - Vol. 47 - No. 3 -march 1999 - p.p. 432 – 442.
 4. Ashok K. Agrawal. Active Phased Array Antenna Development for Modern Shipboard Radar Systems , [Text] / Ashok K. Agrawal, Bruce A. Kopp, Mark H. Luesse, and Kenneth W. O’Haver //Active phased array antenna development Johns Hopkin sapl technical direct - Volume 22 /// - Number 4 (2001) - p.p. 600-612.
 5. Kostanovskii V. V. A mathematical model for calculating the reliability of nonreducible phased antenna arrays, [Text] / Kostanovskii V.V. //Measurement Techniques - 2014 -Т. 57 - № 1. /// М.: С. 87-90.
 6. Костановський В. В. Математичні моделі надійності типових апертур фазованих антенних решіток, які враховують раптови та поступові відмови модулів надвисоких частот. / Науковий журнал: Математичні машини і системи - // - НАНУ, 2014 р. № 2 – 142 – 150 с.
 7. Костановский В. В., Козачук О. Д. Вероятностный анализ безотказности и долговечности апертур фазированных антенных решеток в процессе проектирования. [Текст]: / Науковий журнал: Математичні машини і системи. // – НАНУ, 2015 р. №3. С. 201–213 с.
 8. V. Kostanovskyi, I. Machalin, O. Kozachuk, I. Terentyeva. Construction of a generalized probabilistic-physical model of reliability of two-level active phased antenna array / Eastern-European journal of enterprise technologies, 3/9 (99) 2019/ УДК.623.6-523.8:6234 DOI:10.15587/1729-4061.2019.168525, стр. 31-40.
- Построение обобщенной вероятностно-физической модели надежности двухуровневой активной фазированной антенной решетки В. В. Костановский, И. А. Мачалин, О. Д. Козачук, И. А. Терентьева.
9. Костановський В. В. Визначення області існування показників надійності в залежності від допустимих значень показників ефективності активної фазованої антенної решітки / Науковий журнал: Математичні машини і системи - // - НАНУ, 2019 р. № 4, 154 – 164 с.
 10. Костановський В. В., Демченко О. В., Козачук О. Д., Мачалін І. О. Модель розрахунку показників надійності АФАР за критерієм допустимого зниження максимальної дальності РЛС [Текст]/ Науковий журнал: Наукоємні технології, №1, 2020 р.

Костановский В.В., Мачалин И.А.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

В работе проведен краткий анализ моделей надежности АФАР, предложенными учеными и инженерами за последние 20 лет. Рассмотрена модель надежности приемной АФАР по критерию допустимого повышения минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности амплитудно-фазового распределения антенной решетки. Проанализирована модель надежности передающей АФАР по критерию допустимого снижения максимальной дальности РЛС. Показано, что рассмотренные модели надежности являются приближенными (используют экспоненциальный закон распределения отказов АФАР) и поэтому могут использоваться только для приближенного определения средней наработки до отказа антенной решетки. Для определения вероятностных показателей надежности АФАР: вероятности безотказной работы, интенсивности

отказов, плотности распределения отказов, гамма-процентных ресурса и др. необходимы более универсальные модели надежности, учитывающие структуру и сложность построения антенной решетки как системы, состоящей из огромного количества основных и резервных приемо-передающих каналов и модулей. В работе разработаны и исследованы универсальные модели надежности АФАР многофункциональной РЛС с двухуровневой структурной схемой надежности (двухуровневая АФАР). Универсальные модели надежности учитывает два основных физических критерия отказа АФАР: допустимое снижение максимального уровня дальности РЛС и допустимое увеличение минимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности антенной решетки. В качестве законов распределения отказов излучающих (передающих) и приемных каналов и модулей антенной решетки применяется экспоненциальное распределение (характеризует внезапные отказы), немонотонное диффузионное распределение (характеризует постепенные отказы) и композиция экспоненциального и диффузионного немонотонного закона распределений (характеризует совместное проявление внезапных и постепенных отказов). В статье представлены уравнения и формулы для определения показателей надежности передающей, приемной и приемо-передающей АФАР: средней наработки до отказа, вероятности безотказной работы и др. В работе рассмотрено три иллюстративных примера расчета показателей надежности передающей, приемной и приемо-передающей АФАР при экспоненциальном распределении отказов каналов и модулей антенной решетки. Проведен анализ влияния интенсивностей отказов излучающих каналов и модулей источников вторичного питания на среднюю наработку до отказа АФАР.

Представленные в статье универсальные модели надежности АФАР рекомендуется использовать при разработке новых многофункциональных РЛС с АФАР, а также могут быть полезны студентам и аспирантам университетов и ВУЗов в учебном процессе.

Ключевые слова: показатели надежности, средняя наработка до отказа, активная фазированная антенная решетка, передающие и приемные каналы антенной решетки.

Kostanovskiy V., Machalin I.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF UNIVERSAL RELIABILITY MODELS OF AN ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY OF A MULTIFUNCTIONAL RADAR STATION

The paper provides a brief analysis of the AFAR reliability models proposed by scientists and engineers over the past 20 years. The reliability model of the receiving AFAR is considered according to the criterion of permissible increase in the minimum level of the side lobes of the radiation pattern of the amplitude-phase distribution of the antenna array. The reliability model of the transmitting AFAR is analyzed according to the criterion of the permissible decrease in the maximum radar range. It is shown that the considered reliability models are approximate (they use the exponential distribution law of AFAR failures) and therefore can only be used to approximate the mean time between failure of the antenna array. To determine the probabilistic indicators of AFAR reliability: the probability of failure-free operation, the failure rate, the distribution density of failures, the gamma-percent resource, etc. more universal reliability models are needed that take into account the structure and complexity of constructing an antenna array as a system consisting of a huge number of primary and backup receivers transmitting channels and modules. In the work, universal reliability models of the AFAR reliability of a multifunctional radar with a two-level structural reliability scheme (two-level AFAR) were developed and investigated. Universal reliability models take into account two basic physical criteria of AFAR failure: an acceptable decrease in the maximum level of radar range and an acceptable increase in the minimum level of side lobes of the antenna array radiation pattern. As the laws of distribution of failures of the emitting (transmitting) and receiving channels and modules of the antenna array, an exponential distribution (characterizes sudden failures), a nonmonotonic diffusion distribution (characterizes gradual failures), and a composition of the exponential and diffusive nonmonotonic distribution law (characterizes the joint manifestation of sudden and gradual failures) . The article presents

equations and formulas for determining the reliability indicators of a transmitting, receiving and receiving-transmitting AFAR: the average operating time to failure, the probability of failure-free operation, etc. Three illustrative examples of calculating the reliability indicators of a transmitting, receiving, and transmitting AFAR with an exponential distribution are considered channel failures and antenna array modules. The analysis of the effect of the failure rates of the emitting channels and the modules of the secondary power sources on the mean time between failures of the AFAR is performed. The universal AFAR reliability models presented in the article are recommended to be used when developing new multifunctional radars with AFAR, and can also be useful to students and graduate students of universities and universities in the educational process.

Key words: *reliability indicators, mean time between failures, active phased antenna array, transmitting and receiving channels of the antenna array.*

Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Кудрявцев В.Г.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ КІНЦІВОК СУДЕН І СКЛАДІВ НА ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЗАСОБАМИ ECDIS

У статті розглянуто алгоритм контролю положення суден і складів на траєкторії руху, якій вирішує проблему автоматизованого високоточного контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху засобами ECDIS. Створений алгоритм автоматизованого контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху, шляхом використання координатного курсора ECDIS в якості високоточного кутомірно-далекомірною пристрою, дозволяє, при розміщенні в носі і кормі судна антен приймачів ГНСС, сформувані на ЕК їх електронні позначки зі своїми координатними курсорами. Ці курсори можливо використовувати, при реалізації автоматичного, за допомогою цифрових слідячих систем захоплення (до повного збігання кодів координат) і супроводження їх кінцями контролюємих об'єктів (географічні координати яких знаходяться в електронній базі даних) для високоточного автоматичного вимірювання пеленгів і дистанцій до підводних і надводних небезпек в режимі "on-line" в цілях контролю за їх допомогою положення кінцівок суден та складів відносно небезпек з точністю порівняної з точністю роботи ГНСС в спеціальних режимах. Експериментальні дослідження, які були проведені шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання, підтвердили високу очікувану точність роботи запропонованого алгоритму, якій базується на однойменному способі.

Ключові слова: алгоритм, судно, спосіб, автоматизований контроль, координатний курсор, пеленг, дистанція, безпека плавання, траєкторія руху.

Постановка проблеми. Аналіз аварійних морських подій великотоннажних суден та складів, які пов'язані з посадками на мілину і торканнями ґрунту, навалами на інші судна і гідротехнічні споруди та причали свідчать про те, що тих рівнів безпеки, які існують в даний час з використанням суднових і берегових систем, у тому числі ECDIS з існуючими функціями безпеки, недостатньо для надійного забезпечення навігаційної безпеки плавання.

Найбільшу небезпеку для судноплавства в прибережній зоні представляють підводні рифи та інші малорозмірні підводні небезпеки, які не можуть бути виявлені радіолокаційними системами взагалі і на безпечній дистанції за допомогою існуючих ехолотів. Незнання відстаней до них від кінцівок суден і складів з необхідною точністю, при плаванні в безпосередній близькості, призводить до зіткнення з ними суден і іноді подальшої загибелі від затоплення або перекидання. В зв'язку з цим необхідна розробка додаткових заходів щодо підвищення навігаційної безпеки плавання суден і складів в прибережній зоні, на акваторіях гаваней і портів.

Мета роботи. Розробка алгоритму автоматизованого контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху засобами ECDIS.

Виклад основного матеріалу досліджень. Райони прибережного плавання, обмежені умови гаваней і портів, які характеризуються відносно малими глибинами і великою інтенсивністю судноплавства є місцем переважної кількості тяжких аварій і загибелі суден. Аналіз таблиці [4] показує, що друге місце за кількістю аварійних морських подій займають посадки суден на мілину, які як правило є наслідком значних похибок у визначенні місця розташування судна щодо навігаційних небезпек. Найбільш явно ця проблема проявилася у 2012р при зіткненні з підводними рифами в жовтні місяці контейнеровоза «Рена» поблизу Нової Зеландії і в січні пасажирського суперлайнера «Коста-Конкордія» в Тіренском морі в прибережній зоні Італії.

Поява на морських та річкових суднах ECDIS і приймачів ГНСС, які дозволили в значній мірі автоматизувати високоточний контроль за місцем розташування суден на траєкторії руху

в режими “on-line”, не привела до значного зниження аварійності, пов’язаної з посадками на мілину або підводні рифі, зіткненнями і навалами. Використання функцій: «завдання безпеки» [1], «виявлення поточної небезпечної ізобати і небезпечних об’єктів» [2], а також «автоматичного захоплення і супроводу цілей при накладенні зображення РЛС на ЕК» [1,2] в існуючих ECDIS, які використовуються при провідці суден та складів в каналах і на акваторіях портів і гаваней не вирішує в повній мірі завдання безпечного плавання в складних умовах. Цьому сприяють такі об’єктивні чинники, як:

1. Невідповідність габаритів існуючих каналів і фарватерів габаритам сучасних великотоннажних суден і складів, які в багатьох портах світу і на підходах до них обмежені своєю осадкою і розмірами. Це призводить, при плаванні на мілководді, до погіршення керованості і збільшення радіусів циркуляції, які не завжди підлягають точному обліку при плаванні на циркуляції і як наслідок вихід однієї з кінцівок судна за межі смуги руху, що стає причиною торкань ґрунту і посадок на мілину.

2. Вплив на безпеку плавання конструктивних особливостей суден і їх маневрених характеристик, закладених на стадії проектування:

- великотоннажність суден визначає довгий гальмівний шлях як при пасивному так і активному гальмуванні, який становить тисячі метрів і через відсутність на судах високоточних автоматичних вимірювачів дистанцій до навігаційних небезпек, особливо підводних, в достатній мірі не контролюється;

- значна частина сучасних суден є одновальною, що негативно позначається на їх маневреності та поворотності і з урахуванням дуже великої парусності, особливо контейнеровозів, автомобілевозів і газозовів, призводить до того, що часом при сильному вітрі не вистачає зусиль вінторульового комплексу для утримання суден в заданій смузі на траєкторії руху або на лінії створу.

3. Суднові системи безпеки у вигляді ехолотів, РЛС і ECDIS також мають обмеження в своїх можливостях і за своїми технічними характеристиками не в змозі гарантовано забезпечувати безпеку плавання в будь-яких умовах і районах:

- навігаційні ехолоти не в змозі завчасно інформувати судоводіїв про небезпеки поблизу різких підняття дна у вигляді рифів, одиночних банок або затонулих великогабаритних об’єктів, так як вони вимірюють глибину тільки під кілем судна в місці установки вібраторів;

- РЛС, при точності вимірювання дистанцій в 3% від використовуваної шкали і пеленга в 1° , при плаванні поблизу берегів з низькою відбивною здатністю, також не в змозі забезпечити необхідну [4] точність визначення координат місця судна;

- в судових ECDIS не в повній мірі використовуються можливості високоточного місця судна по ГНСС, що працюють в спеціальних режимах, (точність яких порівнянна з точністю масштабу електронної карти) для коригування траєкторії руху судна по пеленгам і дистанціям на підводні і надводні навігаційні небезпеки від свого високоточного місця в автоматичному «on - line» режимі.

Інформація, яка наведена в табл.1 виконана Токійським інститутом морського флоту за період з 2002 по 2008 рік., свідчить про те, що при плаванні в прибережній 3-х мильній зоні за 7 років в світовому флоті 469 суден стали учасниками посадок на мілину і зіткнень [4]. На кінцівки суден при цьому доводиться 55% випадків від загальної кількості АМП [3], тобто ніс і корма є найбільш вразливими частинами корпусу судна, особливо у великогабаритних суден та складів [10,11].

Проблема полягає в відсутності практично на всіх судах торговельного і пасажирського флоту високоточних засобів для автоматичного контролю положення носа і корми судна на траєкторії руху відносно підводних навігаційних небезпек, що вкрай важливо при плаванні на мілководді і поблизу рифів. Вимоги до точності судоводіння в залежності від району плавання наведені в таблиці 2 [4].

Комплексне використання можливостей ECDIS та системи рознесених в кінцівки судна антен приймачів ГНСС дозволяє вирішити цю задачу. Для цього необхідно автоматизувати в ECDIS процес автоматичної координатної прив'язки, захоплення і супроводу кінцями рухливих координатних курсорів, що виходять з високоточних позицій носа і корми судна на електронній карті (ЕК) навігаційних орієнтирів, що мають високоточну геодезичну основу і координати яких внесені в електронну базу ECDIS. При точному збігу координат

навігаційних орієнтирів з координатами кінців координатних курсорів судноводій отримує з досить високою точністю положення носа і корми свого судна на траєкторії руху і буде в змозі контролювати їх положення по пеленгам і дистанціям відносно орієнтирів або навігаційних небезпек в режимі «on-line».

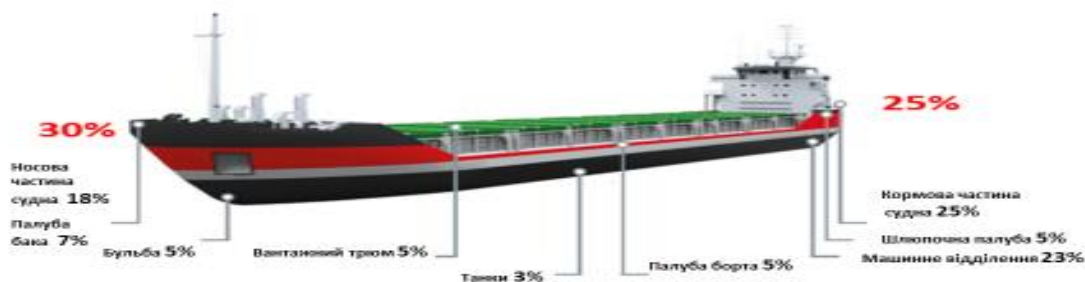


Рис.1 Розподіл наслідків АМІ по частинах корпусу судна

Таблиця 2

Стандарти точності судноводіння

Район плавання	Гранична точність координат (P=95%), м
Акваторії портів	1
Прибережні води	10
Обмежені води	10
Внутрішні водні шляхи	10
Моря і океани	10 - 100

Відомий спосіб відображення позиції судна на ЕК по даним ГНСС в виді єдиної позначки, яка відповідає розташуванню антени приймача ГНСС, не в повній мірі реалізує можливості ECDIS і в умовах неможливості точного обліку інерційно- гальмівних характеристик та елементів поворотності, не дозволяє вирішити в повній мірі проблеми безпечного судноводіння в складних умовах плавання [5,9,11]. Відмінною особливістю даного алгоритму, від застосовуваних раніше, є те, що контроль знаходження судна на траєкторії руху відбувається з урахуванням його положення відносно навігаційних небезпек по пеленгам і дистанціям від «себе», тобто від свого високоточного місця.

Найбільш близьким до запропонованого технічним рішенням, вибраним як прототип, є використання функцій: «завдання безпеки» [1], «виявлення поточної небезпечної ізобати і небезпечних об'єктів» [2] в існуючих ECDIS, а також автоматичного захоплення і супроводу цілей в ЗАРП. В основу алгоритму, що розробляється, поставлено завдання створити алгоритм автоматизованого контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху, шляхом використання координатного курсора в якості високоточного кутомірно-далекомірного пристрою, який дозволяє, при розміщенні в носі і кормі судна антен приймачів ГНСС GPS і ГЛОНАСС, сформулювати на ЕК їх електронні позначки зі своїми координатними курсорами. Ці курсори можливо використовувати, при реалізації автоматичного, за допомогою цифрових слідячих систем (ЦСС), цифрового захвату їх кінцями контролюємих об'єктів, географічні координати яких знаходяться в електронній базі даних (до повного збігання кодів координат) для високоточного вимірювання пеленгів і дистанцій до підводних і надводних небезпек в режимі «on-line» в цілях контролю за їх допомогою положення кінцівок суден та складів відносно небезпек з точністю порівняної з точністю роботи ГНСС в спеціальних режимах [6,7,9].

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати розміщення антен ГНСС в кінцівках суден і відповідне доопрацювання програмного забезпечення ECDIS, яке дозволило б виробляти автоматичну прив'язку географічних координат кінців координатних курсорів к

географічним координатам підводних та надводних небезпек і після їх високоточної кодової синхронізації відстежувати їх положення в процесі руху суден на заданій траєкторії, по аналогії з роботою автоматичного захоплення і супроводу цілей в ЗАРП. Суть запропонованого алгоритму полягає в тому, що в ECDIS йде постійне автоматичне порівняння поточних значень пеленгів і дистанцій на небезпечні об'єкти від позначок носової та кормової кінцівок суден на ЕК з їх заздалегідь встановленими на ЕК огорожувальними небезпечними дистанціями ДНБ. і пеленгами ПНБ на ці небезпечні об'єкти. При досягненні поточними значеннями Д_{нкі} (Д_{ккі}), П_{нкі} (П_{ккі}) небезпечних величин автоматично виробляються попереджувальні звукові і світлові сигнали. У разі відсутності на них реакції з боку вахтового помічника капітана або капітана судна, за ознаками відсутності маневру судна, яка може бути пов'язана з їх обмеженими фізичними можливостями або промахами в розрахунках і оцінки ситуації по інформації від інших менш точних засобів судноводіння, в ECDIS самостійно формуються виконавчі сигнали управління на засоби керування напрямком руху і рушії судна. Це призводить до завчасної автоматичної зміни курсу і (або) швидкості судна для безпечного проходження кінцівками судна навігаційних небезпек.

Вихідною інформацією блоків вироблення поточних значень дистанцій і пеленгів від носу і корми судна до небезпечних об'єктів є: поточні полярні координати небезпечних об'єктів відносно носу судна, D_{нкі}, П_{нкі}; поточні полярні координати небезпечних об'єктів відносно корми судна, D_{ккі}, П_{ккі}.

По поточним полярним координатам положення небезпечних об'єктів відносно носу і корми судна і завчасно, при плануванні рейсу, введеними в електронну базу ECDIS небезпечних значень дистанцій і пеленгів в блоці виконується постійний розрахунок відхилень поточних значень пеленгів і дистанцій від їх небезпечних значень

$$\begin{aligned} \Delta D_{нкі} &= D_{нкі} - ДНБ; \\ \Delta П_{нкі} &= П_{нкі} - ПНБ; \\ \Delta D_{ккі} &= D_{ккі} - ДНБ; \\ \Delta П_{ккі} &= П_{ккі} - ПНБ. \end{aligned} \quad (1)$$

При досягненні нерівностями (2) значень

$$ДНБ \geq D_{нкі}, ПНБ \geq П_{нкі}; ДНБ \geq D_{ккі}, ПНБ \geq П_{ккі}, \quad (2)$$

в блоці формування сигналів і команд виробляються: попереджувальні звукові і світлові сигнали про небезпеку; сигнал виклику капітана на ходовий місток; керуючі сигнали на гвинторульової комплекс.

Використання полярних координат для контролю безпечного проходження кінцівками судна небезпечних об'єктів є найбільш зручним так як вони найбільш часто використовуються в штурманської практиці судноводіння.

Ефективність роботи алгоритму (рис.2), який реалізує раніше запропонований спосіб [6,7], залежить в першу чергу від точності визначення географічних координат кінцівок судна і небезпечних об'єктів на ЕК, а також полярних координат, за допомогою яких виконується контроль безпечного проходу носу і корми судна відносно небезпечних об'єктів.

Точність визначення географічних координат кінцівок судна на ЕК в свою чергу залежить від точності спеціального режиму роботи ГНСС GPS і ГЛОНАСС, який в диференціальному режимі з імовірністю P=95% становить $\hat{M}_{DGPS} = \pm 10$ м. Точність розташування на ЕК електронних позначок носу і корми судна та небезпечних об'єктів залежить від граничної точності масштабу карти, яка для масштабу M=1:25 000 становить $\hat{M}_{ГТМ} = \pm 5$ м.[8]. Гранична точність масштабу карти ($\hat{M}_{ГТМ}$) в метрах наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Гранична точність масштабу карти.

Масштаб карти	1:500000	1:200000	1:100000	1:50000	1:25000	1:10000	1:500
$\hat{M}_{ГТМ}$	100	40	20	10	5	2	0,1

Розрахунок граничної точності визначення дистанцій \widehat{M}_D до небезпечних об'єктів можна виконувати за формулою яка приведена нижче:

$$\widehat{M}_D = \sqrt{\widehat{M}_{ГТМ}^2 + \widehat{M}_{DGPS}^2}, \quad (3)$$

де: \widehat{M}_D – гранична точність визначення дистанції;
 \widehat{M}_{DGPS} – гранична точність визначення місця судна за допомогою DGPS;
 $\widehat{M}_{ГТМ}$ – гранична точність масштабу ЕК.

Так, для ЕК масштабу $M=1:25\ 000$ згідно враження 3 гранична точність визначення дистанції становить $\widehat{M}_D=\pm 12,2\text{м.}$, яка на порядок вище точності вимірювання відстаней за допомогою радіолокаційних станцій (РЛС).

Експериментальні дослідження, які були проведені шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання, підтвердили високу точність запропонованої моделі [6,7]. Високоточна координатна прив'язка кінця курсора з об'єктом, за результатами проведеного експерименту, що моделює автоматичне цифрове захоплення об'єктів, по точності вимірювання дистанцій в 28 разів, по точності вимірювання пеленгів в 5 разів перевищує точність вимірювань цих навігаційних параметрів за допомогою існуючого ручного візуального суміщення. Кінцеві результати експерименту, виконаного по 200 ітераціям для кожного способу вимірювання, при відстані між судном і навігаційним об'єктом (маяком) в 10 миль, наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

СКП вимірювання пеленгів і дистанцій за результатами експерименту

Спосіб вимірювання	Існуюче візуальне ручне суміщення позначек		Координатне ручне суміщення позначек		За допомогою РЛС	
	П	Д	П	Д	П	Д
СКП вимірювання	$\pm 0,25^\circ$	$\pm 95,9\text{м.}$	$\pm 0,05^\circ$	$\pm 3,44\text{м.}$	$\pm 1,0^\circ$	$\pm 141,3\text{м.}$

На підставі викладеного можна розраховувати на те, що при реалізації запропонованого алгоритму в практиці судноводіння стане можливим вимірювати відстані від носу і корми великотоннажних суден і складів до навігаційних та інших небезпек в межах точності роботи спеціальних режимів ГНСС.

Розрахунок полярних координат проводиться рішенням системи з 4-х рівнянь по високоточним формулам сферичної тригонометрії шляхом перетворення географічних координат носу (φ_n, λ_n) і корми (φ_k, λ_k) судна і координат небезпечного об'єкту ($\varphi_{но}, \lambda_{но}$) по наведеним нижче формулам (4)

$$\begin{aligned} \cos \mathbf{Dн} &= \sin \varphi_n \times \sin \varphi_{но} + \cos \varphi_n \times \cos \varphi_{но} \times \cos(\lambda_{но} - \lambda_n); \\ \cos \mathbf{Dк} &= \sin \varphi_k \times \sin \varphi_{но} + \cos \varphi_k \times \cos \varphi_{но} \times \cos(\lambda_{но} - \lambda_k); \\ \text{ctg} \mathbf{Пн} &= \cos \varphi_n \times \text{tg} \varphi_{но} \times \text{cosec}(\lambda_{но} - \lambda_n) - \sin \varphi_n \times \text{ctg}(\lambda_{но} - \lambda_n); \\ \text{ctg} \mathbf{Пк} &= \cos \varphi_k \times \text{tg} \varphi_{но} \times \text{cosec}(\lambda_{но} - \lambda_k) - \sin \varphi_k \times \text{ctg}(\lambda_{но} - \lambda_k). \end{aligned} \quad (4)$$

Алгоритм роботи ECDIS, який реалізує корисну модель для запропонованого способу, представлений на рис. 2. Застосування формул сферичної тригонометрії для розрахунку дистанцій і пеленгів на небезпечні об'єкти є допустимим в силу незначних відстаней на яких пропонується використовувати даний алгоритм, тому можна умовно прийняти ортодромічеській пеленг рівним локсодромічеському (Порт. = Плок.).

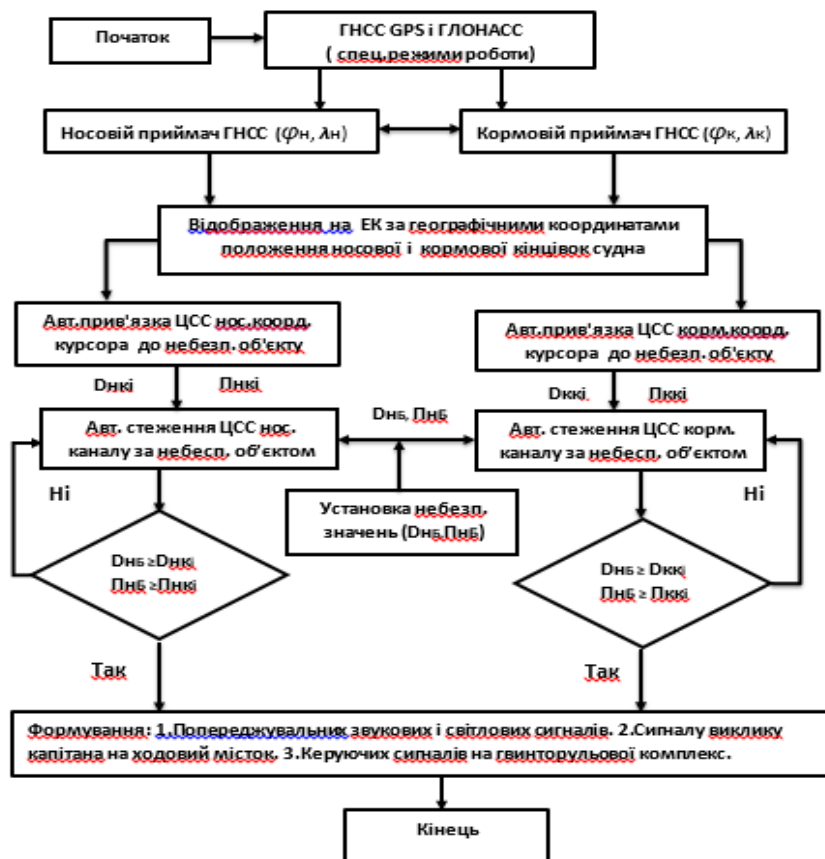


Рис. 2. Алгоритм роботи ECDIS

Пропонований алгоритм може бути застосований при вирішенні таких високоточних завдань судноводіння як:

- прогнозування місцезнаходження судна (складу) на траєкторії руху з урахуванням напрямків і відстаней до навігаційних об'єктів (небезпек) та визначення інерційно-гальмівних характеристик суден, які безперервно змінюються;
- визначення відстаней до навігаційних орієнтирів, підводних рифів, банок і затонулих об'єктів та напрямків на них від носу і корми судна або складу;
- здійснення контролю за сумарним зносом суден від вітру і течії при плаванні по фарватерам, каналам і річкам для виведення їх на ось суднового ходу і точку початку повороту;
- забезпечення підходу судна до причалу по траєкторії, яка задається пеленгом зближення носу судна з коренем причалу і контролю дистанції до кореня і торця причалу від кінцівок судна одночасно в процесі його швартування.

Надійність роботи даного алгоритму забезпечується високими точностними характеристиками спеціальних режимів ГНСС і високою ймовірністю їх безвідмовної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. dKart Navigator 9000. Керівництво користувача, 2011.
2. NAVI – SAILOR 3000. Керівництво користувача, 2002.
3. ANNUAL OVERVIEW OF MARINE CASUALTIES AND INCIDENTS 2016. // European Maritime Safety Agency. – 2016. – С. 119.
4. Навігаційне забезпечення мореплавства: виробничо-практичний посібник. /С.В.Симоненко, М.Ф.Голодов.// -К.: ДУ «Держгідрографія», 2014. – С.26-27.
5. Давидов В.С. Математична модель забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні. /Косяковський А.В., Давидов В.С., Овчіннікова А.І.//ЦНДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Збірник наукових праць. Вип.3(23) 2019.- С.117-122.

-
6. Давидов В.С., Овчинникова А.И. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Спосіб контролю местоположення крупногабаритних судов и составов на траектории движения путем использования координатного курсора ЭКНИС в режиме высокоточного угломерно-дальномерного устройства», № 88994 від. 28.05.2019р.
 7. Давидов В.С. Овчинникова А.И. Спосіб контролю місце розташування великогабаритних суден і складів на траєкторії руху шляхом використання координатного курсора ЕКНІС в режимі високоточного кутомірно-далекомірного пристрою. ХДМА, Сборник научных трудов «Научный вестник», вип.№1(18)- 2018, С.4-9;
 8. Давыдов В.С. Повышение безопасности эксплуатации крупнотоннажных судов путем оптимизации использования ЭКНИС./Давыдов В.С., Демичев В.В., Кожухаренко Р.В., Овчинникова А.И. //Водный транспорт, вып.1(24), К. : КГАВТ,- 2016, С.20-24.
 9. Богом'я В.І., Давидов В.С., Кожухаренко Р.В., Демічев В.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Спосіб контролю местоположення крупнотоннажных морских судов на траектории движения путем использования системы приемников ГНСС сопряженных с ЭКНИС», № 6083 від 6.05.2015.
 10. Богомья В.И. Анализ некоторых эксплуатационных свойств современных крупнотоннажных судов, методов и систем их обеспечения при плавании в стесненных условиях. /Богомья В.И., Давыдов В.С., Кожухаренко Р.В.//Збірник наукових праць-«Водний транспорт».-К.,КДАВТ,2014-вип.3(21).-С.23-31.
 11. Богомья В.И. Пути повышения эффективности обеспечения безопасности плавания крупнотоннажных судов в сложных навигационных условиях./Богомья В.И., Давыдов В.С., Кожухаренко Р.В., Демичев В.В. //Збірник наукових праць-«Водний транспорт».-К.,КДАВТ, 2014-вип.1(19)-С. 66-70.

Bogomya V.I., Davydov V.S., Doronin V.V., Kudryavtsev V.G.

AN ALGORITHM FOR AUTOMATED CONTROL OF THE POSITION OF THE EXTREMITIES OF SHIPS AND WAREHOUSES ON THE TRAJECTORY OF MOVEMENT BY MEANS OF ECDIS

The article deals with the algorithm of control of the position of ships and warehouses on the trajectory, which solves the problem of automated high-precision control of the position of the extremities of ships and warehouses on the trajectory of motion by means of ESDIS. The algorithm of automated control of the position of the extremities of ships and warehouses on the trajectory, using the ECDIS coordinate cursor as a high-precision angular-rangefinder device, allows, when placed in the nose and stern of the vessel antennas GNSS receivers, to form on the EC their electronic markers with their coordinate cursors. These cursors can be used, when implemented automatically, using digital tracing systems (to the full coincidence of coordinate codes) and accompanying their finely controlled objects (geographical coordinates of which are in the electronic database) for high-precision automatic measurement of bearings and distances to underwater and of surface hazards in on-line modes for the purpose of controlling their position using the extremities of ships and warehouses relative to hazards with an accuracy comparable to the accuracy of GNSS operation in special ymah. Experimental studies, which were carried out by computer simulation, confirmed the high expected accuracy of the proposed algorithm, which is based on the same method.

Keywords: algorithm, vessel, method, automated control, coordinate cursor, bearing, distance, navigation safety, trajectory.

Тараненко С.В., Прістуна С.В., Колесник В.В., Пастух О.В., Гойжевський О.В.

УПРАВЛІННЯ ГРЕБНИМИ ЕЛЕКТРОРУШІЯМИ ПРИ ПЛАВАННІ В УМОВАХ ХИТАВИЦІ

У статті розглянуто питання управління судном з електрорушієм в умовах хитавиці. При ході судна в умовах хвилювання зміна моменту генератора така, що дизель працює в режимах перевантаження з різкою зміною механічних моментів, а навантаження на електрорушій, викликане квазівипадковою хитавицею, значно скорочує експлуатаційні характеристики пропульсивного комплексу. В статті визначено основні фактори, впливаючи на різку зміну навантаження на електрорушій та проаналізовано можливості управління стохастичними процесами за допомогою технології нечіткої логіки. Аналіз хитавиці судна, вказує на випадковий характер постійно діючого обурення різної величини і тривалості. При роботі ГЕУ в таких умовах мають місце коливання моменту опору на гребному валу (якщо відсутнє відповідне регулювання збудження ГЕД), моментів опору на валах дизелів, що визначаються електромагнітними моментами генераторів. Квазістаціонарний характер зміни M_g пояснюється таким же характером зміни моменту опору обертанню гребного гвинта. Характер кореляційних функцій свідчить про ергодичності процесу. Стабілізація кутової швидкості зміною упору лопатей азиподу (ГРК) дає можливість уникнути перевантаження, а, отже оптимізувати закон управління ГРК.

Ключові слова: управління гребними електродвигунами, нечітка логіка, закони управління

Постановка проблеми

При роботі ГЕУ в динамічних режимах, наприклад, при ході судна на хвилюванні, можуть виникати неприпустимі навантаження, здатні викликати аварію первинних двигунів. Дизелі вкрай чутливі до перевантажень. Вони здатні витримати перевантаження по потужності не більше ніж на 10% протягом не більше 1 години. При ході судна в умовах хвилювання зміна моменту генератора така, що дизель працює в діапазоні від режимів, відповідних їх зовнішній характеристиці при перевантаженні, до режимів, відповідних нульовій подачі палива. Це видно з розгляду кривої ходу паливної рейки, яка часто протягом декількох секунд (більше трьох) знаходиться в положенні упору або ж відкидається до положення, відповідного відсіченні подачі палива.

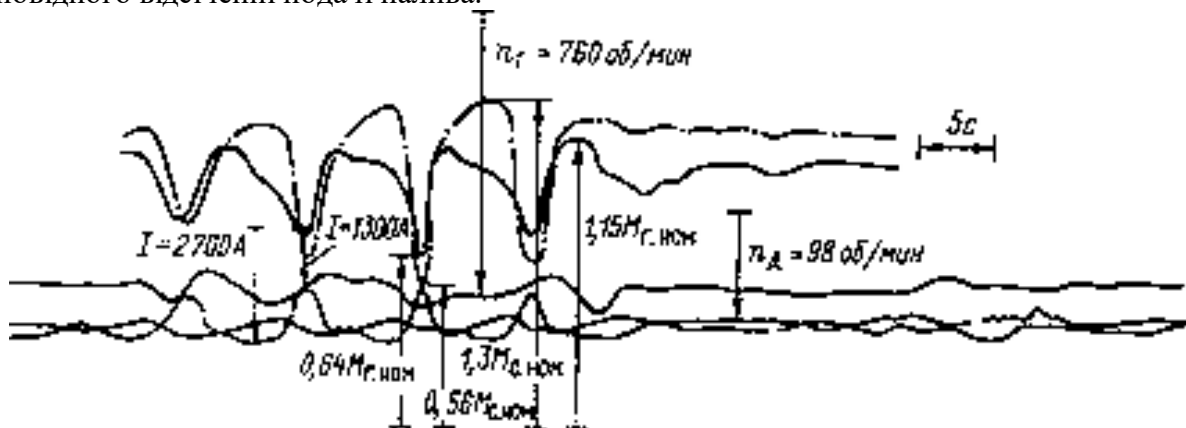


Рис. 1. Зміна параметрів ГЕУ при ході в умовах хвилювання

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням перехідних процесів у системі управління гребними електрорушійними машинами приділили увагу Яровенко В.А., Черников П.С., Варбанец Р.А., Зарицкая Е.И., Подлях А.Е. та інші.

Мета дослідження полягає в знаходженні такого закону управління, який би зменшив коливання визначених параметрів (кутова швидкість, напруга, потужність) гребного електрорушійника.

Основні результати дослідження. Коливання струму головного ланцюга призводять до істотних коливань моменту опору на валу дизеля, що визначається в основному електромагнітним моментом генератора M_g . Коливання моменту генератора знаходяться в межах (1,15-0,64) M_g .ном. Таким чином, при хитавиці судна система збудження з трьохобмотковим збудником генераторів, що реалізує лише одну жорстку лінію зворотнього зв'язку по току головного ланцюга і не має автоматичного регулювання збудження ГЕД, не забезпечує сприятливу роботу дизель-генераторів. Зазначене може призвести до аварій окремих вузлів і перш за все дизелів ГЕУ. На рис. 2 приведена осцилограма роботи ГЕУ виробничого рефрижератора «Буревісник» при ході судна в умовах п'ятибального хвилювання з періодом качки 5 с. У схему головного струму включені два дизель-генератора. Діапазон коливань основних параметрів становить: частоти обертання дизеля- (0,95-1,08), частоти обертання ГЕД - (0,96-1,16), струму головного ланцюга - (0,644-1,18) напруги генератора- (0,914 -1,12) U_g .ном.

Ідеальною системою автоматичного управління ГЕУ, що забезпечує відсутність перевантажень при роботі в умовах взаємодії гребного гвинта з водою, буде система, при якій в будь-який момент роботи ГЕУ виконується рівняння $P = kM_d N_d = \text{const}$, де M_d — момент ГЕД; N_d — частота обертання ГЕД; k — коефіцієнт пропорційності. При роботі ГЕУ в таких умовах мають місце коливання моменту опору на гребному валу (якщо відсутнє відповідне регулювання збудження ГЕД), моментів опору на валах дизелів, що визначаються електромагнітними моментами генераторів. Квазістаціонарний характер зміни M_g пояснюється таким же характером зміни моменту опору обертанню гребного гвинта. Характер кореляційних функцій свідчить про ергодичності процесу (рис. 3).

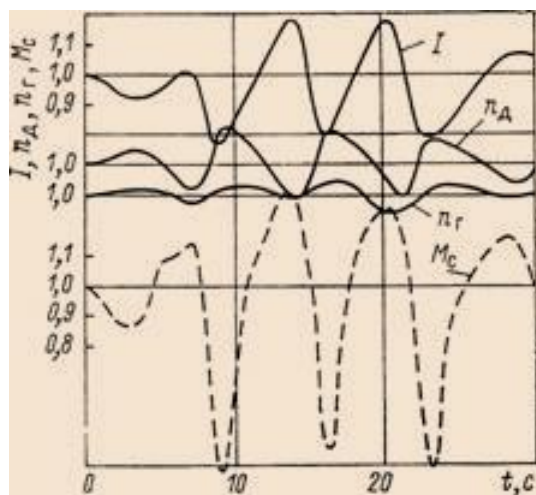


Рис. 2. Осцилограма роботи ГЕУ виробничого рефрижератора «Буревісник» при ході судна в умовах п'ятибального хвилювання з періодом качки 5 с

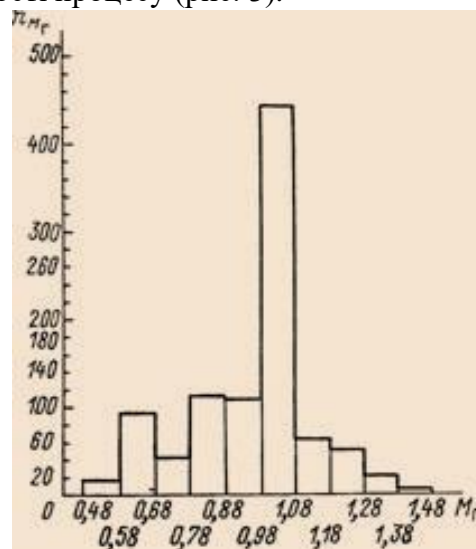


Рис. 3. Гістограма розподілу моментів генератора ГЕУ при хитавиці судна

Розподіл моментів генератора характеризує симетрію можливих моментів по відношенню до середнього значення. Частоту їх появи N_m наближено можна описати нормальним законом розподілу випадкової величини, що свідчить про близькість до стаціонарного процесу, причому частота появи моментів $m < m(t)$ більш імовірна, ніж частота появи моментів $m > m(t)$.

Так як, і Мд і Nd випадкові величини, доцільно застосувати методологію нечіткої логіки.

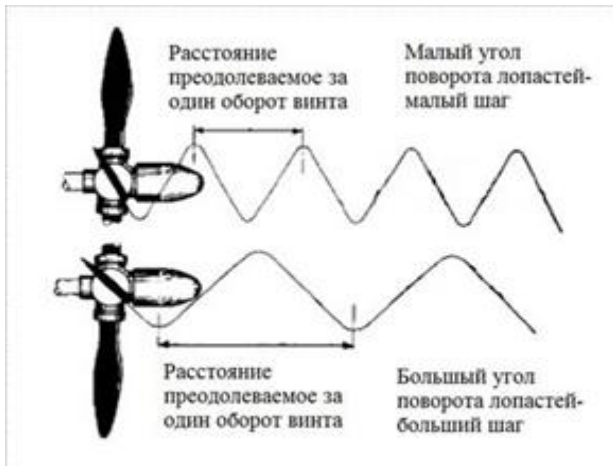


Рис. 4. Характеристика ГРК

Стабілізація частоти обертання Nd забезпечується двома засобами: зміною кута установки лопатей ВРШ і ступенем заповнення мастилом порожнини гідромуфти. Застосуємо перший варіант. Гвинт регульованого кроку (ГРК, ВРШ) - це гребний гвинт, у якого регулюється кут розвороту лопатей. Лопаті такого гвинта розгортаються спеціальним механізмом в будь-яке положення в діапазоні “повний вперед - стоп-повний назад”. В залежності від ступеня розвороту лопатей, не змінюючи роботи головного двигуна, судну можна надати або рух вперед, або зупинитися на місці, або створити рух назад.

При експлуатації всіх видів ГРК застосовується принципово однакова система управління. Гідравлічна система управління ГРК дає можливість широко використовувати в якості головного двигуна неререверсивні силові установки (турбіни, дизелі великої потужності і т. д.).

Впровадження ГРК на судах дозволяє поліпшити маневрені якості судів. До них в першу чергу відноситься зменшення гальмівного шляху (за рахунок швидкого переключення лопатей гвинта на режим роботи заднього ходу) і періоду гальмування. Гасіння інерції починається майже негайно після дачі команди “Назад повний” (окремі суду з повного ходу зупиняються за 1 хв при гальмівному шляху 1-1,5 корпусу). На судах з ГРК полегшується виконання багатьох видів маневрів при зйомці з якоря і постановці на якір, при швартуванні судна до причалу і лагом до іншого судна, при розбіжності судів для запобігання зіткнень і т. д. Змоделюємо різні ситуації і це буде система правил нечіткого виведення.

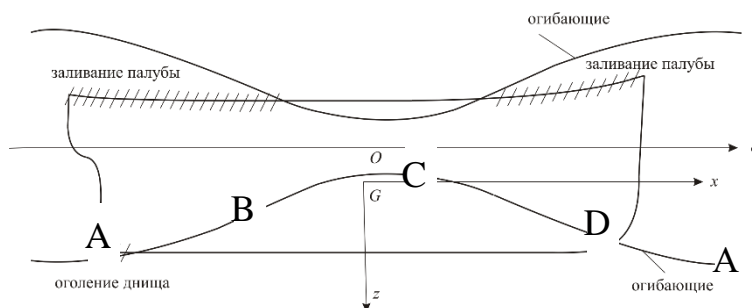


Рис. 5. Характеристика хитавиці:

- A – оголення днища, вихід ГРК на поверхню;
- B – розгін корпусу судна по хвилі з частковим зануренням ГРК;
- C – найбільше занурення носу та корми судна (ГРК), заливання палуби;
- D – підйом на хвилю з найбільшим опором судну.

Враховуючи рівняння електричної машини необхідно зі зміною моменту опору (M_c) змінювати момент сили (ГРК) зміною кута гвинтів.

Для обчислень задаємо правила вхідних та вихідних змінних величин (рис. 6), а саме кут диференту судна від -10 до +10 (можливо змінювати величину, в залежності від району плавання та фізико-кліматичних особливостей формування морських хвиль хитавиці), а також кутову швидкість гвинту регульованого кроку (омега) в межах 20% від номінальної величини (150 об/хв).

Крім цього, вихідною величиною будемо вважати, кут ГРК, який змінюється в межах від 30 до 40 град. В результаті обчислень маємо поверхню управління ГРК (кут гвинтів) (рис. 7).

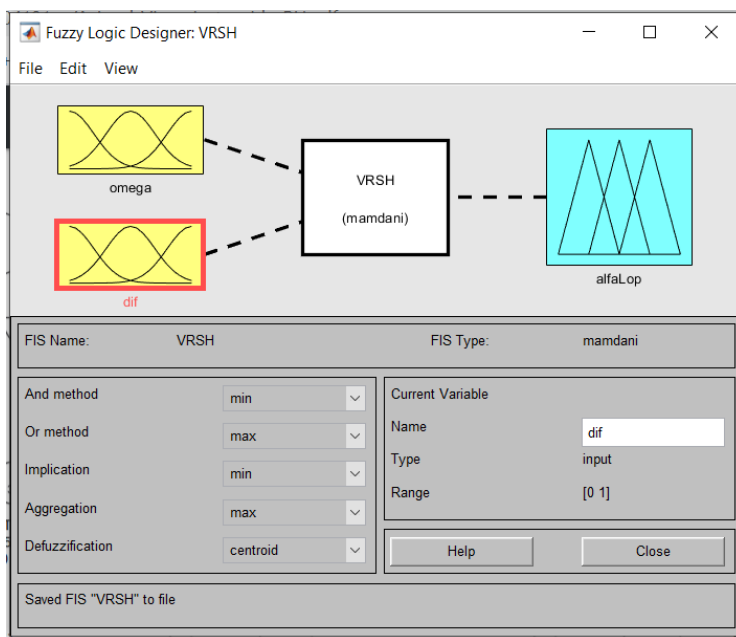


Рис.6. Умови, які впливають на роботу ГРК

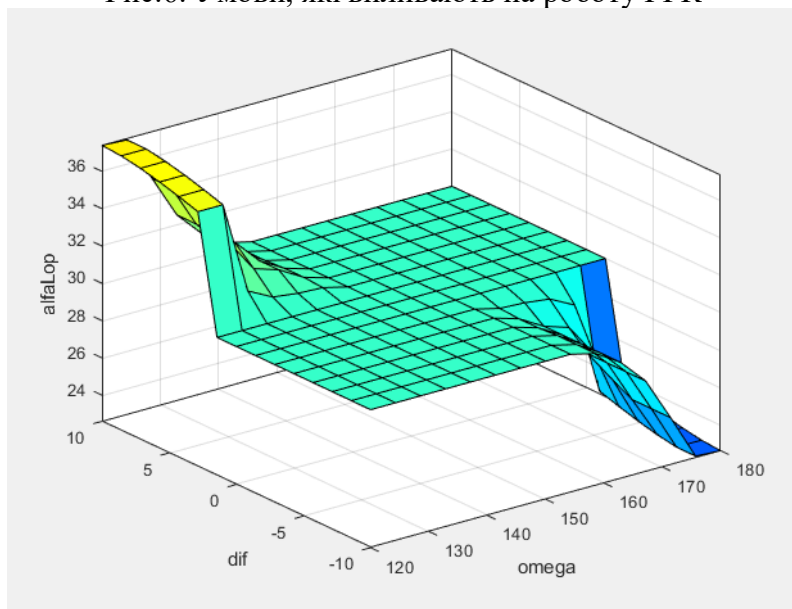


Рис. 7. Поверхня управління кутом ГРК

Висновок

Стабілізація роботи електрорушійної установки при плаванні в умовах хитавиці можлива з використанням технологій нечіткої логіки, в тому числі за рахунок зміни кута ГРК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Оптимальное управление гребными электродвигателями электроходов при реверсировании / В.А. Яровенко, П.С. Черников, Р.А. Варбанец, Е.И. Зарицкая // *Електротехніка і електромеханіка*. — 2018. — № 6. — С. 38-46.
2. Яровенко В.А., Черников П.С. Метод расчета переходных режимов гребных электроэнергетических установок // *Електротехніка і електромеханіка*. — 2017. — №6. — С. 32-41.
3. Яровенко В.А. Расчет и оптимизация переходных режимов пропульсивных комплексов электроходов. — Одесса: «Маяк», 1999. — 188 с.
4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. СПб: Питер, 2001. 480 с.

5. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. СПб: Питер. 2000. 432 с.
6. Искусственный интеллект. Кн. 2. Модели и методы: Справочник I Под ред. д. А.Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
7. Клини С. Математическая логика. . М.: Мир, 1973. 480 с.
8. Ковальски Р. Логика в решении проблем. М.: Наука. 1990. 280 с.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
10. Черников П.С., Яровенко В.А., Зарицкая Е.И. Влияние параметров электроходов на показатели качества работы электроэнергетических установок при маневрировании // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Електричні машини та електромеханічне перетворювання енергії». – 2018. – №5(1281). С. 46-54.

REFERENCES

1. Optimal control of electric propulsion electric motors during reversing / V.A. Yarovenko, P.S. Chernikov, R.A. Varbanets, E.I. Zaritskaya // Electrical engineering and electrical engineering. - 2018. - No. 6. - S. 38-46.
2. Yarovenko V.A., Chernikov P.C. The method of calculating the transient conditions of rowing electric power plants // Elektrotehnika i elektromekhanika. - 2017. - No. 6. - S. 32-41.
3. Yarovenko V.A. Calculation and optimization of transient modes of propulsive complexes of electric ships. - Odessa: "The Lighthouse", 1999. - 188 p.
4. Dyakonov V., Kruglov V. Mathematical expansion packages MATLAB. Special reference. St. Petersburg: Peter, 2001.480 s.
5. Gulyaev A. Visual modeling in MATLAB: a training course. SPb: Peter. 2000.432 s.
6. Artificial intelligence. Prince 2. Models and Methods: Handbook I Ed. D. A. Pospelova. M. : Radio and communications, 1990. 304 p.
7. Wedges S. Mathematical Logic. . M.: Mir, 1973.480 s.
8. Kowalski R. Lorika in solving problems. M. : Science. 1990.280 s.
9. Kofman A. Introduction to the theory of fuzzy sets. M. : Radio and communication, 1982. 432 p.
10. Chernikov P.S., Yarovenko V.A., Zaritskaya E.I. The influence of parameters of electric ships on the performance indicators of electric power plants during maneuvering // Visnik NTU "KhPI". Seria "Electric Machines and Electric Power Engineering". - 2018.- No. 5 (1281). S. 46-54.

Taranenko S.V., Pristupa S.V., Kolesnyk V.V., Pastukh O.V., Goyzhevsky O.V.

CONTROL OF ROWING ELECTRIC MOVEMENTS WHEN SWIMMING IN THE CONDITIONS

The article considers the issue of control of a ship with electric propulsion in the conditions of oscillation. When the vessel is moving in excitement, the change in the torque of the generator is such that the diesel engine operates in overload modes with a sharp change in mechanical torques, and the load on the electric propulsion caused by quasi-random oscillation significantly reduces the performance of the propulsion system. The article identifies the main factors influencing the sharp change in the load on the electric motor and analyzes the possibilities of controlling stochastic processes using fuzzy logic technology. Analysis of the ship's oscillation indicates the random nature of the constant disturbance of varying magnitude and duration. During operation of GEU in such conditions there are fluctuations of the moment of resistance on a propeller shaft (if there is no corresponding regulation of excitation of GED), the moments of resistance on shafts of diesels which are defined by electromagnetic moments of generators. The quasi-stationary nature of the change in Mg is explained by the same nature of the change in the moment of resistance to rotation of the propeller. The nature of correlation functions indicates the ergodic nature of the process. Stabilization of the angular velocity by changing the stop of the blades of the azipod (GRP) makes it possible to avoid overload and, therefore, to optimize the control law of the GRP.

Keywords: control of rowing motors, fuzzy logic, control laws.

Лопатюк С.П.

МОДЕРНІЗАЦІЇ НАВЧАННЯ ІНЖЕНЕРНІЙ ГРАФІЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ МОЖЛИВОСТЕЙ САПР AUTOCAD

Сучасні інноваційні тенденції в освіті передбачають активне залучення ресурсів Інтернету до процесу навчання технічним спеціальностям. При виконанні складних креслень, розрахунків, спільної роботи над проектами пропонується використовувати комплексний хмарний сервіс. Програмне забезпечення САПР Autodesk надає можливість по новому організувати навчання студентів інженерній графіці в межах однієї платформи.

В статті обґрунтовано необхідність проведення змін в організації навчання з дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» при підготовці спеціалістів водного транспорту з урахуванням вимог модернізації освітнього процесу.

На основі можливостей AutoCAD-17 щодо трьохвимірного моделювання розглядаються алгоритми формування просторових моделей геометричних об'єктів з різних поверхонь видавлюванням і за допомогою логічних операцій: об'єднання, віднімання і перетину. Обговорюються можливості створення і організації роботи зі спільним кресленням, особливості параметричного проектування, використання хмарних технологій в процесі створення, зберігання і модифікації креслень.

***Ключові слова:** модернізація освіти, інженерна графіка, ІТ - компетентність, САПР AutoCAD, хмарні технології, професійно-орієнтована підготовка.*

Постановка проблеми. В умовах перманентного зменшення кількості аудиторних годин на вивчення технічних дисциплін нагальними потребами є інтенсифікація процесу навчання, вдосконалення методики викладання, впровадження освітніх інновацій. Одним із головних завдань є технічна, технологічна та організаційна модернізація навчального процесу, яка реалізується шляхом впровадження поширених інноваційних технологій.

Вступ. Сучасні інноваційні тенденції в освіті передбачають активне залучення хмарних технологій (англ. "cloud computing") до процесу навчання технічним спеціальностям. При виконанні складних креслень, розрахунків, спільної роботи над проектами пропонується використовувати ресурси Інтернету [1, 3-7, 9]. Програмне забезпечення САПР Autodesk, яке має більше 10 млн. користувачів в світі, на сьогодні надає можливість за допомогою хмарних сервісів A360, Fusion 360 організувати навчання студентів інженерній графіці на базі комплексного хмарного CAD/CAE/CAM інструмента в межах однієї платформи.

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні та викладенні основних напрямків інноваційних методик викладання інженерної графіки для студентів технічних спеціальностей.

Основний текст дослідження. При викладанні дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» студентам спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт» основна увага приділяється таким питанням [3, 4, 10]:

- підвищенню ІТ – компетентності студентів за допомогою використання САПР AutoCAD;

- професійно-орієнтованої підготовки, що базується на вимогах стандарту вищої освіти за спеціальністю 271 «Річковий та морський транспорт» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти»;
- сприянню організації спільної роботи студентів і викладача із залученням сучасних засобів організації навчального процесу.

З дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» розроблений електронний навчально-методичний комплекс, що складається з робочої навчальної програми, конспекту лекцій, методичних вказівок із завданнями для самостійної роботи студентів, електронних тестів навчаючої системи на базі технологій Orentest, комплекту екзаменаційних білетів. Для закріплення набутих знань для студентів спеціалізації «Управління судновими технічними системами та комплексами» в навчальний план включена дисципліна «Комп’ютерна графіка та 3Д-моделювання» - 30 годин лабораторних аудиторних занять для подальшого ознайомлення з можливостями системи AutoCAD.

На сьогодні опрацьовується версія AutoCAD-17 [1]. З урахуванням ширших і більш зручних можливостей цієї версії щодо 3-х вимірного моделювання опрацьовуються алгоритми формування просторової моделі деталі на основі 2Д-полілінії, формування тіла з різних поверхонь видавлюванням і за допомогою логічних операцій: об’єднання, віднімання і перетину(рис.1, 2, 3).

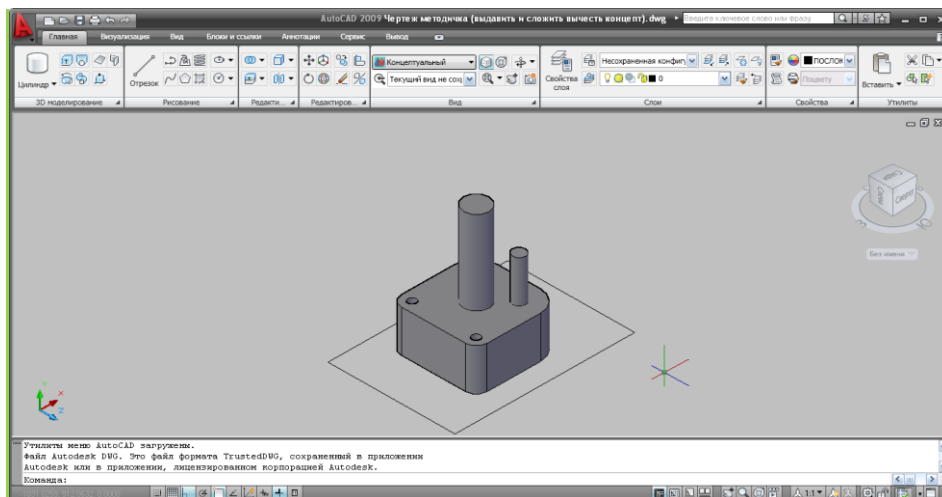


Рис.1. Просторова модель деталі, побудованої на основі 2Д-полілінії

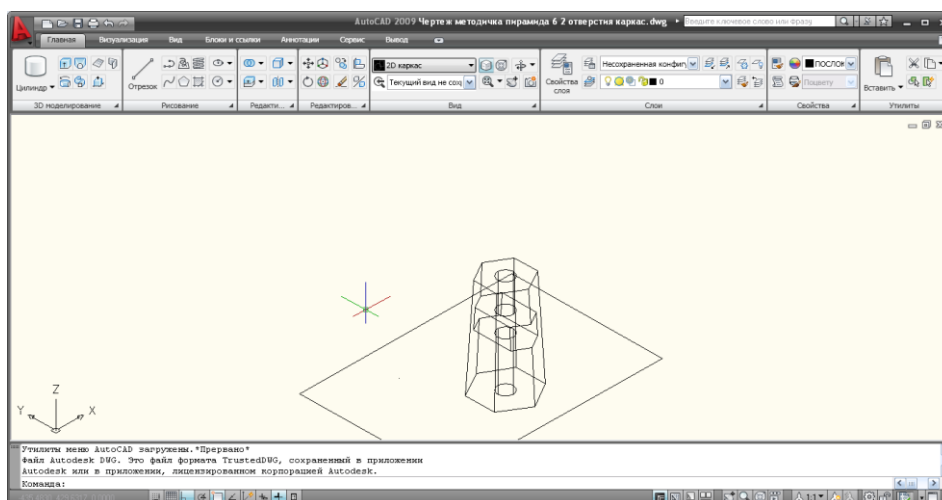


Рис.2. Многогранна поверхня з двома отворами

На кресленні 3 представлена просторова модель деталі, побудованої із 2Д-полілінії методом обертання.

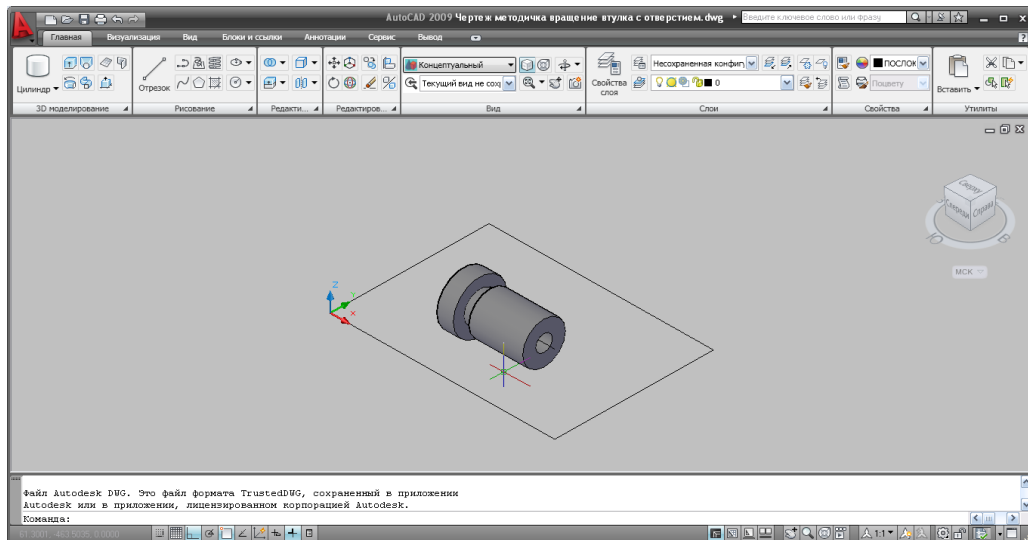


Рис.3. Деталь, побудована методом обертання 2Д-полілінії

На рисунку 4 поверхня утворена за допомогою команди зсуву, при цьому контур для зсуву представлений 2Д-сплайном, а траєкторія зсуву – відрізком.

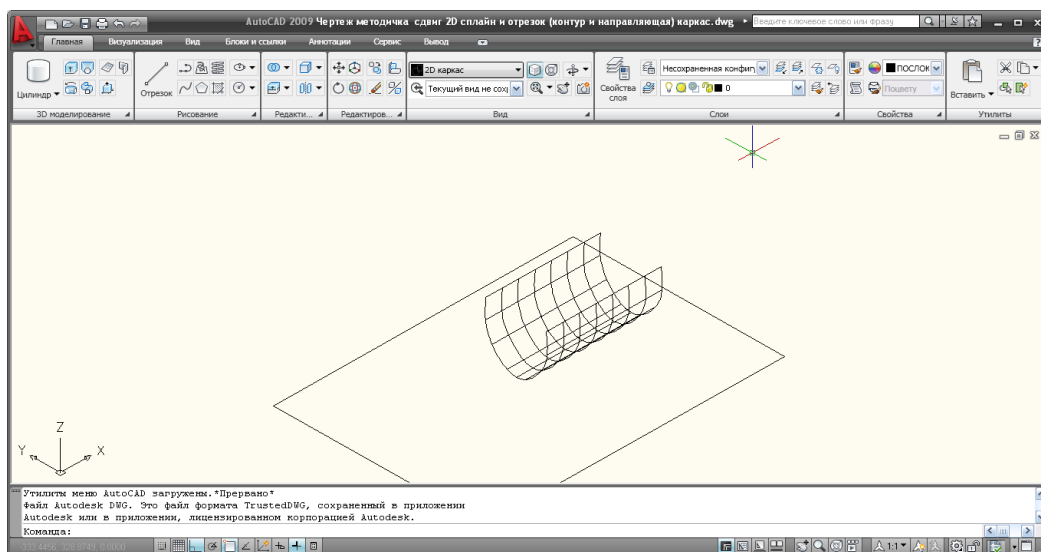


Рис.4. Кінематична поверхня в каркасному вигляді

AutoCAD дозволяє представити утворену поверхню у каркасному вигляді (що іноді привабливіше для розуміння способу утворення поверхні, рис.4) або неперервному вигляді.

В AutoCAD-17 значно розширені і спрощені можливості команд редагування геометричних об'єктів для 2D-моделювання. Так команда «Trim» (в російській версії «Обрезать»), яка надає можливість підрізати зайві частини таких об'єктів як дуги, відрізки, кола, має опцію одразу вибрати всі об'єкти в якості ріжучих кромки, а потім отримати результат, вказавши мишею на частини, які потрібно підрізати. Можна вибирати одразу декілька об'єктів для підрізання рамкою, що значно прискорює побудову. Крім того, з'явилась спеціальна опція подовження кромки, коли геометричні об'єкти не перетинаються. Команда «Extend» (російська версія «Удлинить») дозволяє подовжувати прямі лінії, відрізки

до граничної кромки (декількох кромок). Рамкою можна обирати декілька ліній (відрізків). Якщо задається декілька граничних кромок, то перше «клацання» по миші обирає першу граничну кромку для подовження, друге «клацання» - другу граничну кромку і так далі. Команда «Lengthen» (російська версія «Увеличить») дає змогу змінити довжину незамкненого відрізка або дуги: збільшити (при додатному значенні, заданому для опції Delta), зменшити (при від'ємному значенні, заданому для опції Delta). Опції команди передбачають визначення зміни довжини в відсотках та динамічну зміну, яка відображається на екрані.

Математичний апарат T - сплайнів – це одна з особливостей моделювання форми поверхонь в AutoCAD-17. T – сплайн є подібним раціональному B – сплайну (NURBS) і використовується для створення поверхні довільної форми. Головна відмінність T-сплайнів від NURBS полягає в тому, що базові точки NURBS-поверхні мають утворювати топологічну подібність прямокутній решітці, в той час як у T-сплайнів припустимі так звані внутрішні T-точки з трьома, а не чотирма сусідніми. При моделюванні поверхонь за допомогою T-сплайнів вдається скоротити кількість базових точок вдвічі у порівнянні з NURBS [3,8].

Редагування об'єктів за допомогою «ручок» дозволяє швидко змінювати геометричні об'єкти, використовуючи тільки мишу, без застосування спеціальних команд. «Ручками» («Grips») називають невеличкі сині квадрати, які з'являються при виборі об'єкта і є опорними точками для побудови (кінцеві точки, центри, базові точки для побудови сплайнів). «Ручка» стає активною після безпосереднього клацання по ній і змінює колір на червоний. Після цього точку можна використовувати для редагування геометричного об'єкта (розтягування, перенесення, повертання, масштабування і дзеркального відображення). Можна зробити активними одразу декілька точок, утримуючи кнопку «Shift» при виборі (рис.6).

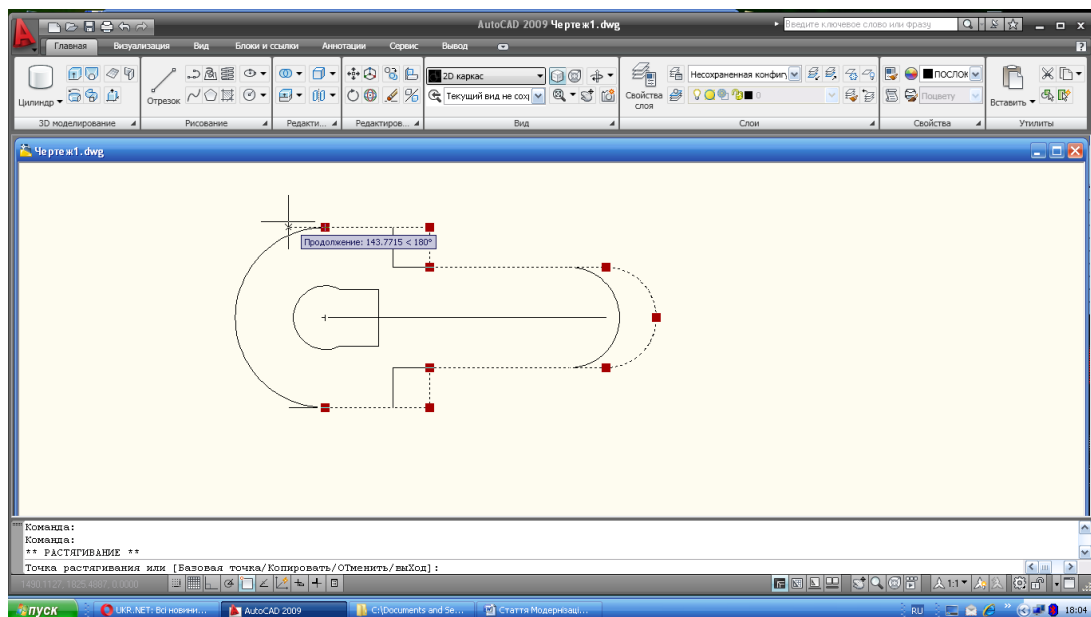


Рис.6. Редагування креслення за допомогою «ручок»

В AutoCAD є корисна можливість об'єднувати групу накреслених об'єктів в блок з метою повторної вставки в це або інше креслення. Блок можна зберегти у вигляді файлу на диск, можна створити бібліотеку блоків. Використання вже створених блоків значно пришвидшує процес креслення, зменшує кількість помилок, дозволяє створювати спільне креслення, сформоване із блоків, створених різними авторами. Для ідентифікації блоків існує можливість присвоєння їм різних написів, які задаються так званими атрибутами. Тобто можна створити креслення, в якому позначити однакові (різні) блоки різними іменами або різним пояснювальним текстом.

Система AutoCAD дозволяє вставляти на креслення різні растрові зображення (формати bmp, jpeg, gif та ін.), які можливо редагувати. Наприклад, можна створити складальне креслення двигуна в розрізі і вставити на креслення фотографію цього двигуна. Тобто створити якісне креслення з корисною ілюстрацією. Можливо також вставити на поле креслення за необхідності Excel – таблиці, графіки, діаграми..

Центр управління AutoCAD (AutoCAD Design Center) дозволяє ефективно редагувати і створювати нові креслення з використанням раніше сформованих. Робота з Центром управління AutoCAD подібна до дій при пошуку об'єктів за допомогою провідника Windows. Можна вставляти в нове креслення блоки, попередньо збережені креслення і зображення. Пошук файлів креслень здійснюється при перегляді локальних, мережевих дисків і Інтернету.

При необхідності створення взаємозв'язаних креслень AutoCAD надає можливість здійснити це за допомогою так званих зовнішніх посилань. Наприклад, можна створити колективне креслення з використанням команд вставок і не відслідковувати зміни в складових загального креслення. Якщо використати апарат зовнішніх посилань, зміни в загальному спільному кресленні відбуваються автоматично. Взаємозв'язані креслення рекомендується зберігати в окремій спільній папці. Використання такої методики вимагає певної кваліфікації, але сам процес такої співпраці є цікавим і повчальним.

Параметричне проектування в AutoCAD-17 продовжує удосконалення алгоритмів встановлення геометричних або розмірних залежностей між об'єктами на кресленні. Такі залежності дозволяють автоматично зберігати геометричні властивості або взаємопов'язаність розмірів об'єктів креслення при різних модифікаціях. Цей апарат є корисним для опрацювання, наприклад, декількох геометричних або розмірних рішень, що пропонуються в конкретному проекті. Також він запобігає помилкам, які можуть виникнути в разі модифікації проекту, залишивши сталими певні геометричні властивості або розмірні залежності.

Використання хмарних технологій практикується в багатьох закордонних закладах [5]. В Україні хмарний офісний сервіс «Microsoft Office 365» запроваджують, наприклад, у Сумському державному університеті для організації спільної роботи викладачів і студентів та ефективності дистанційного навчання.

Для використання хмарних технологій при навчанні дисципліні «Нарисна геометрія та інженерна графіка» найбільш відомими є програмні продукти компанії Autodesk, а саме платформи AutoCAD 360, Fusion 360 [1,3, 5].

Запустивши хмарний сервіс A360 в Інтернеті, можна спільно працювати з іншими користувачами над 2D і 3D- кресленнями за допомогою графічних засобів AutoCAD, одночасно або поступово переглядаючи та редагуючи їх. Для оптимальної роботи рекомендується Google Chrome, також підтримуються такі браузері: Mozilla Firefox 19 Microsoft Internet Explorer 10 або пізніші версії. Сервіс розпізнає підтримує понад 50 форматів файлів САПР, серед них: DWG, DWF, IGES, STEP, STL. Підтримуються команди завантаження креслень з електронної пошти; навігації, панорамування, масштабування, вимірювання відстаней, кутів, площ; документування послідовності виконаних дій.

Autodesk Fusion 360 – це комплексний хмарний CAD/CAE/CAM інструмент, створений компанією Autodesk. В Fusion 360 зручно виконувати моделювання твердих тіл з використанням знайомих команд: «видавлювання», «обертання», «спряження», «втягування», «зсуву», «булеві операції». Параметризація геометричних характеристик елементів дозволяє здійснювати автоматичне оновлення моделі при оновленні параметра. Можливе імпортування файлів формату STL, сканованих з реального об'єкту, для створення 3D-моделі. Fusion 360 супроводжується бібліотекою стандартних деталей (стандарти ISO та ін.), які можна використовувати для створення складальних одиниць. До Fusion 360 можна імпортувати понад 50 різних форматів (SLDPRT, SAT, IGES, STEP, STL, OBJ та ін.). Сервіс зберігає початковий файл і на його основі створює власний комплексний формат F3D.

Хмарний експорт включає в себе формати: Inventor, IGES, SAT, SMT, STEP, DWG, DXF, STL, FBX, і F3D. Експортувати можна на локальний комп'ютер або в хмару. Для реальної перевірки всіх з'єднань складальної одиниці активізується середовище Motion Study. Можливо встановити порядок і спосіб взаємодії рухомих з'єднань для перевірки остаточної картини кінематики за допомогою анімації динамічного руху. Модель, підготовлена для друку на 3D-принтері, може бути попередньо оглянута, також можливо автоматично створити множину підтримуючих платформ для поверхонь, що нависають. Друк 3D-моделей виконується через ряд програмних утиліт, які включають в себе Autodesk PrintStudio (можна напряму працювати з 3D-принтером Autodesk Ember).

AutoCAD 360 – це мобільний додаток, хмарний програмний комплекс для автоматизованого проектування, створений компанією Autodesk. Програмне забезпечення комплексу надає можливість завантажувати і відкривати 2D-креслення DWG з електронної пошти або зовнішнього накопичувача, створювати, редагувати і обмінюватись кресленнями через мобільні пристрої [3].

Переваги використання хмарних технологій полягають у можливостях [6]:

- організації спільної роботи студентів і викладача;
- організації дослідницької роботи з потужною технічною, інформаційною і науковою базою;
- створення лабораторій, орієнтованих на хмарні технології, з конкретних спеціалізованих напрямків, з інтерактивним доступом до найсучасніших інструментів моделювання, інформаційних ресурсів, підтримки користувачів [9].

До недоліків хмарних технологій можна віднести такі:

- відсутність вітчизняних провайдерів хмарних сервісів, зокрема розглянутих вище сервісів компанії Autodesk;
- відсутність вітчизняного стандарту і законодавчої бази використання хмарних технологій.

Запровадження хмарних технологій в навчальний процес вищої школи забезпечить:

- ефективність використання навчальних площ;
- скорочення витрат на оснащення і підтримку комп'ютерних аудиторій і економію за рахунок оптимізації матеріально-технічної бази навчального закладу;
- якісно новий рівень знань студентів, що відповідатиме сучасному рівню інформаційних технологій;
- ліцензійну чистоту програмного забезпечення, яке використовується в навчальному процесі.

Висновки. Дисципліна «Нарисна геометрія та інженерна графіка» є фундаментальною базою для вивчення спеціальних дисциплін: прикладна механіка, теорія і будова судна, суднові енергетичні установки та електрообладнання суден. Застосування сучасних хмарних технологій сприятиме інтеграції викладацького та студентського середовищ навчального закладу у міжнародний освітньо-науковий простір. Удосконалення і модернізація навчальних програм з урахуванням чинних міжнародних стандартів, залучення хмарних сервісів в процес навчання мають сприяти підвищенню якості професійної підготовки фахівців і рівня їх конкурентоспроможності на ринку праці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний портал Autodesk, web-сторінка «Образование» <http://www.autodesk.ru/education/country-gateway#eligibility>
2. Жарков Н.В., Финков М.В. AutoCAD 2017. Полное руководство.- СПб.: Наука и Техника, 2017. -624с.
3. Хмарні послуги Autodesk A360, web-сторінка <http://www.autodesk.com/products/a360/overview>

4. Лопатюк С.П., Гуренкова О.В., Серова Т.О., Велигдан Н.В. Щодо професійної компетентності майбутніх фахівців галузі водного транспорту // Матеріали статей міжнародної наукової конференції «Імплементация сучасних технологій навчання у навчальний процес», Київ, 17-18 березня 2015р. -К.:НУХТ, 2015.-С.327-330
5. Лопатюк С.П., Федотов В.Г., Зорька О.В., Велигдан Н.В., Лупіна Т.О. Серова Т.О. Про підготовку компетентних фахівців галузі водного транспорту // Науковий вісник львівської академії Серія: Педагогічні науки.Зб. наук.праць.Вип.1-Кропивницький, 2017.- С.336-342
6. Шекербекова Ш.Т., Несипкалиев У. Возможности, внедрение и использование облачных технологий в образовании // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6-1. – С. 51-55; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6841> (дата обращения: 16.01.2020)
7. Рассовицька М. В. Місце та роль хмарних технологій у професійно-практичній підготовці майбутніх фахівців з прикладної механіки [Електронний ресурс] / Журнал «Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University». Series «Pedagogical Sciences». 06.12.2017. Випуск 13. – URL: <http://ped-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/1634>
8. Бакенов А.С. Т-сплайны: геометрическая гибкость и возможность локального изменения представления поверхности [Електронний ресурс] // Geometric Modeling. Computer Graphics in Education, GraphiCon 2017, 24–28 September 2017.- Perm, Russia.– URL: <http://www.graphicon.ru/ru/conference>
9. Шоль Д. Опыт создания лаборатории на основе программных продуктов Autodesk.// Autodesk Community Magazine, №2(5) , 2013.- С.130-133. URL: <http://community.autodesk.ru>
10. Лопатюк С.П. Особливості викладання дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» для студентів спеціальності «Річковий та морський транспорт» // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи розвитку», Київ, 16-17 травня 2019 р. –К.: ДУІТ, 2019.-С.364-366

REFERENCE

1. Official Autodesk portal, Education web-portal <http://www.autodesk.ru/education/country-gateway#eligibility>
2. Zharkov N.V., Finkov M.V. AutoCAD 2017. A complete guide .- SPb .: Science and Technology, 2017. -624s.
3. Cloud service of the Autodesk A360, web-site <http://www.autodesk.com/products/a360/overview>
4. Lopatuk S.P., Gurenkova O.V., Serova T.O., Veligdan N.V. On the professional competence of future specialists in the water transport industry // Materials of articles of the international science conference "Implementation of modern educational technologies in the educational process", Kyiv, march 17-18 2015. -К.: NUHT, 2015.-S.327-330
5. Lopatuk S.P., Fedotov V.G., Zorka O.V., Veligdan N.V., Lupina T.O. Serova T.O. On the training of competent personnel for water transport industry // Scientific Bulletin of the Flight Academy: Pedagogical Sciences. Digest of articles. Issue 1 -Кропивницький, 2017.- P.336-342
6. Shekerbekova Sh.T., Nesipkaliev U. Opportunities, implementation and use of cloud technologies in education // International Journal of Applied and Basic Research. - 2015. - No. 6-1. - S. 51-55; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6841> (accessed: 01.16.2020)
7. Rassovitska M.V. The place and role of cloud technologies in the professional and practical training of future specialists in applied mechanics [Electronic resource] / Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University magazine. Series "Pedagogical Sciences". 12/06/2017. VIP 13. - URL: <http://ped-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/1634>

8. Bakenov A.S. T-splines: geometric flexibility and the ability to locally change the surface representation // Geometric Modeling. Computer Graphics in Education, GraphiCon 2017, 24–28 September 2017.- Perm, Russia.–URL: <http://www.graphicon.ru/ru/conference>
9. Schol D. Experience in creating a laboratory based on software Autodesk.// Autodesk Community Magazine, No. 2 (5), 2013.- P.130-133. URL: <http://community.autodesk.ru>
10. Lopatuk S.P. Peculiarities of teaching the discipline "Descriptive Geometry and Engineering Graphics" for students of the specialty "River and Sea Transport" // Materials of the international scientific-practical conference “Water transport: current status and development prospects”, may 16- 17. –К .: DUIT, 2019.-P.364-366

Лопатюк С.П.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ САПР AUTOCAD

Современные инновационные тенденции в образовании предполагают активное использование ресурсов Интернета в процессе обучения техническим специальностям. При создании сложных чертежей, расчетов, совместной работы над проектами предлагается использовать комплексный облачный сервис. Программное обеспечение САПР Autodesk дает возможность по новому организовывать обучение студентов инженерной графике на основе единой платформы.

В статье обоснована необходимость проведения изменений в организации обучения дисциплине «Начертательная геометрия и инженерная графика» при подготовке специалистов водного транспорта с учетом требований модернизации образовательного процесса.

С использованием возможностей AutoCAD-17 в трехмерном моделировании рассматриваются алгоритмы формирования пространственных моделей геометрических объектов из разных поверхностей выдавливанием и с помощью логических операций: объединения, вычитания и пересечения. Обсуждаются возможности создания и организации работы с совместным чертежом, особенности параметрического проектирования, использования облачных технологий для создания, хранения и модификации чертежей.

Ключевые слова: модернизация образования, инженерная графика, IT-компетентность, САПР AutoCAD, облачные технологии, профессионально-ориентированная подготовка.

Lopatuk Svitlana

MODERNIZATION OF TEACHING ENGINEERING GRAPHICS USING AUTOCAD CAPABILITIES

Modern innovative trends in education require the active use of Internet resources in the process of training in technical specialties. A comprehensive cloud service it is proposed to use when creating complex drawings, calculations, teamwork on projects. Autodesk CAD software provides an opportunity to re-organize student training in engineering graphics based on a single platform/

The article substantiates the need for changes in the organization of training in the course "Descriptive Geometry and Engineering Graphics" while preparing water transport specialists. Algorithms for the formation of spatial models of geometric objects from different surfaces by extrusion and using logical operations: union, subtraction and intersection are considered. The possibilities of AutoCAD-17 of creating and organizing work with a joint drawing, the features of parametric design, the use of cloud technology to create, store and modify drawings are discussed.

Keywords: modernization of education, engineering graphics, IT-competency, AutoCAD, cloud computing, professionally oriented training.

Кліндухова В.М., Гейлик А.В., Ляшко О.В.

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ЧИСЛЕННЯ СТУДЕНТАМИ МОЛОДШИХ КУРСІВ МОРСЬКИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Стаття присвячена актуальному питанню прикладної спрямованості дисциплін математичного циклу, моделювання інженерних процесів засобами традиційного курсу вищої математики та використання теорії центру мас.

Питання інтегрованості компетентностей професійної підготовки фахівців річкового та морського транспорту в систему математичних дисциплін завжди викликало зацікавленість. Враховуючи, що дана спеціальність є регульованою та імплементованою у світове товариство, до математичних знань студентів молодших курсів морських спеціальностей висувається низка вимог. Зауважено, що деякі питання інженерної математики відображенні в міжнародних вимогах Модальних курсів ІМО та, в той самий час, не зовсім повністю відображені в курсі математичних дисциплін морських ЗВО.

Запропоновані задачі повною мірою відображають зв'язок математичної підготовки з освітньо-професійними програмами підготовки фахівців річкового і морського транспорту, Стандартними вищої освіти України та міжнародними вимогами ІМО. Кожна задача включає коментар до розв'язання, а також розглядається з позицій як традиційності викладання вищої математики, так і за допомогою теорії про центр мас.

В свою чергу, інтегральний метод розв'язання задач на знаходження центроїду, дозволяє не лише вдосконалити базові знання з вищої математики, а й зацікавити та вмотивувати студента до підвищення рівня математично-професійних навичок, формування професійних задач на основі фундаментальних математичних тверджень, методів, засобів.

Подальшого дослідження потребують питання розробки та вдосконалення методичної системи завдань дисциплін математичного циклу у відповідності до вимог освітньо-професійних програм підготовки фахівців річкового та морського транспорту, Стандартів вищої освіти та Модальних курсів ІМО. В аспекті цього напрямку розвитку досліджень особливої уваги потребують концептуальні питання Higher Engineering Mathematics, інтегрованість математичних та професійних компетентностей.

Ключові слова: моделювання об'єктів, підготовка фахівців річкового і морського транспорту, професійно-математична підготовка, центроїд, барицентр, центр мас

Постановка проблеми Зв'язок професійно – математичної підготовки з освітньо – професійними програмами підготовки фахівців річкового і морського транспорту забезпечує якість математичної освіти у відповідності до сформованих результатів навчання, як в Стандарті вищої освіти України [10], так і в Модельних курсах ІМО [6,7,8]. Уміння студентів молодших курсів морських спеціальностей визначаються за видами навчальної діяльності. Конкретизація загальних і професійних компетентностей здійснюється, зокрема, в: програмі навчальної дисципліни «Вища математика», практичних заняттях, індивідуальних завданнях, і застосовується як критерії відбору необхідних знань, які можна ідентифікувати, кількісно оцінити та виміряти.

Наразі фахівець повинен мати високий рівень професійно-математичної підготовки, яка передбачає освіту, що включає оволодіння необхідними знаннями у галузі математика для забезпечення необхідних для фахівця достатнього рівня інтегральних, загальних та фахових

компетентностей, комунікації у сферах професійного та ситуативного спілкування. Успішне оволодіння базовою математичною підготовкою передбачає здобуття особою, якій присвоюється кваліфікація, знань, умінь та навичок, необхідних для розв'язування спеціалізованих професійних задач з елементами математичного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спираючись на Стандарт вищої освіти України спеціальності 271 - Річковий та морський транспорт [10], Model Course by IMO [6,7,8] та Higher Engineering Mathematics [2,3], можемо стверджувати, що інтегральна компетентність [11] професійно-математичної підготовки, що виражає основні компетентні характеристики рівня вищої освіти бакалавр щодо навчання дисциплін математичного циклу, забезпечує розв'язання спеціалізованих задач та практичних проблем у професійній діяльності та передбачає застосування математичних теорій та методів.

На основі проведеного аналізу досліджень і публікацій, можемо стверджувати, що структурно-логічна схема побудови інтегральної компетентності професійно-математичної підготовки забезпечується такими загальними компетенціями, як:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності,

А також діяльністю із застосуванням математичних методів, зокрема:

- здатність використовувати математичні теорії, методи та прийоми;
- здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач, в тому числі моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень;

- здатність до проведення математичного обчислювального експерименту, розв'язання формалізованих задач;

- здатність зрозуміти та сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

В свою чергу, професійно-математична підготовка фахівця морської галузі забезпечують такі програмні результати навчання:

- формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів;

- будувати ефективні щодо точності обчислень, стійкості, швидкодії та витрат системних ресурсів алгоритми для чисельного дослідження математичних моделей та розв'язання практичних задач;

- володіти методиками вибору раціональних методів та алгоритмів розв'язання математичних задач оптимізації, дослідження операцій, оптимального керування і прийняття рішень, аналізу даних;

- розв'язувати окремі інженерні задачі та/або задачі, що виникають принаймні в одній предметній галузі професійної діяльності;

- збирати та інтерпретувати відповідні дані й аналізувати складності в межах своєї спеціалізації для донесення суджень, які відбивають відповідні соціальні та етичні проблеми.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В основу планування освітньо – математичної траєкторії формування майбутнього фахівця спеціальності 271 – Річковий та морський транспорт у Модельних курсах ІМО та Стандартах вищої освіти України покладено прагматичний, компетентісно орієнтований підхід. До програм дисциплін включається не лише матеріал для формування у студентів єдиної цілісної інженерної математичної освіти, а й матеріал, який у подальшому буде необхідний для оволодіння певними професійними компетенціями. При цьому зустрічаються певні змістові елементи дисципліни, що є несприятливими традиційному курсу вищої математики. Вони є цікавими і корисними. Саме на деяких з них ми і зупинимо свою увагу в межах даної статті.

Постановка завдання. Розкрити прикладну спрямованість математичного моделювання у задачах, які забезпечують базові фахові знання для виконання професійних завдань прикладного характеру за спеціальністю 271 – Річковий та морський транспорт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з Модельними курсами ІМО студенти повинні мати уявлення про центроїди основних геометричних фігур, а також уміти знаходити центроїди [8, с.151], [7, с.248], [6, с.217].

В математиці та фізиці центроїд або геометричний центр фігури – це середнє арифметичне положення усіх точок фігури. Неформально, це точка у якій фігура ідеально балансує на кінчику булавки. Іноді центроїд називають барицентром. У курсах інженерної математики поняття про центроїд вводиться наступним чином. Нехай ми маємо деяку пластинку, яка є тонким пласким листком, що має однакову товщину. Центром тяжіння цієї пластинки є точка, де пластинка ідеально балансує, тобто центр мас пластинки. При роботі з певною фігурою (тобто пластинкою з незначною площиною та масою) термін центр фігури або центроїд використовується для точки, де буде знаходитись центр гравітації цієї фігури [2, с.378], [3, с.466]. Детальніше поняття про центроїд, а також його метричні характеристики розглянуто у статті Працьовитого М.В. [12].

Існує декілька методів знаходження положення центроїда. Одним з них є інтегральний метод. Саме він знаходить своє відображення у курсі *Higher Engineering Mathematics* і, на наш погляд, ним варто доповнити традиційний вітчизняний курс вищої математики.

Координати центроїду $(\bar{x}; \bar{y})$ в Декартовій прямокутній системі координат знаходять наступним чином:

- для випадку коли фігура обмежена кривою $y = f(x)$, прямими $x = a$, $x = b$ та віссю абсцис:

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b xy dx}{\int_a^b y dx}, \quad \bar{y} = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx}{\int_a^b y dx}; \quad (1)$$

- для випадку коли фігура обмежена кривою $x = f(y)$, прямими $y = c$, $y = d$ та віссю ординат:

$$\bar{x} = \frac{\frac{1}{2} \int_c^d x^2 dy}{\int_c^d x dy}, \quad \bar{y} = \frac{\int_c^d xy dy}{\int_c^d x dy}. \quad (2)$$

Наведемо приклади декількох задач, які доцільно розглянути зі студентами, з метою якіснішого формування необхідних відповідних компетенцій, про які говорилось у вступній частині статті, а також у відповідних офіційних документах [6], [7], [8], [10].

Задача 1. Довести методом інтегрування, що центроїд прямокутника лежить у точці перетину його діагоналей [3, с.467].

Коментарі до розв'язування задачі 1. З метою демонстрації використання обох формул для знаходження центроїда, розв'яжемо задачу двома способами:

Перший спосіб. Нехай фігура обмежена $y = b$, прямими $x = 0$, $x = l$ та віссю абсцис тоді за формулами (1):

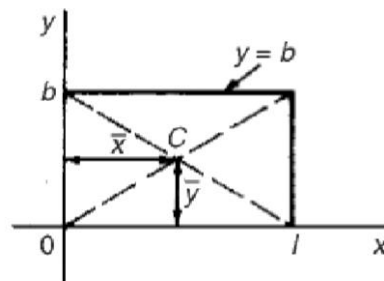


Рис. 1. Креслення до задачі 1 [3,с.467]

$$\bar{x} = \frac{\int_a^b xy dx}{\int_a^b y dx} = \frac{\int_0^l x b dx}{\int_0^l b dx} = \frac{b \frac{x^2}{2} \Big|_0^l}{bx \Big|_0^l} = \frac{b \frac{l^2}{2}}{bl} = \frac{l}{2};$$

$$\bar{y} = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx}{\int_a^b y dx} = \frac{\frac{1}{2} \int_0^l b^2 dx}{\int_0^l b dx} = \frac{\frac{1}{2} b^2 x \Big|_0^l}{bx \Big|_0^l} = \frac{\frac{1}{2} b^2 l}{bl} = \frac{b}{2}.$$

Другий спосіб. Нехай фігура обмежена $x = l$, прямими $y = 0$, $y = b$ та віссю ординат тоді за формулами (2):

$$\bar{x} = \frac{\frac{1}{2} \int_c^d x^2 dy}{\int_c^d x dy} = \frac{\frac{1}{2} \int_0^b l^2 dy}{\int_0^b l dy} = \frac{\frac{1}{2} l^2 y \Big|_0^b}{ly \Big|_0^b} = \frac{\frac{1}{2} l^2 b}{bl} = \frac{l}{2};$$

$$\bar{y} = \frac{\int_c^d xy dy}{\int_c^d x dy} = \frac{\int_0^b ly dy}{\int_0^b l dy} = \frac{\frac{1}{2} ly^2 \Big|_0^b}{ly \Big|_0^b} = \frac{\frac{1}{2} l b^2}{bl} = \frac{b}{2}.$$

Таким чином центроїд прямокутника має координати $(\bar{x}; \bar{y}) = \left(\frac{l}{2}; \frac{b}{2}\right)$, тобто він дійсно знаходиться у точці перетину діагоналей прямокутника.

Аналогічно можна запропонувати студентам для розв'язування задачі, які доводять положення центроїда трикутника.

Задача 2. Знайдіть координати центроїда фігури, що обмежена кривою $y^2 = 9x$ у межах $x = 0$, $x = 5$.

Коментарі до розв'язування задачі 2.

Використання формул для знаходження центроїду, зазвичай, не викликає у студентів особливих труднощів у випадках коли відповідні функції виражені явно $y = f(x)$. Розв'язування таких прикладів наведено у підручниках [2], [3].

Як бути у нашому випадку? Зрозуміло, що ордината центроїду дорівнюватиме нулеві через симетричність параболі: $\bar{y} = 0$.

Що ж до абсциси, то вона співпадатиме з абсцисою центроїда верхньої (або нижньої) половини фігури, що розглядається. Вони відповідно обмежуються графіками функцій:

$$\begin{aligned} y &= 3\sqrt{x}, & x &= 0, & x &= 5 \\ (y &= -3\sqrt{x}, & x &= 0, & x &= 5). \end{aligned}$$

Знайдемо \bar{x} , керуючись вищенаведеними міркуваннями та формулами (1):

$$\bar{x} = \frac{\int_0^5 xy dx}{\int_0^5 y dx} = \frac{\int_0^5 3x\sqrt{x} dx}{\int_0^5 3\sqrt{x} dx} = 3.$$

Відповідь. (3; 0).

Наведемо приклад задачі, яка демонструє використання уявлень про центроїд в інженерній математиці.

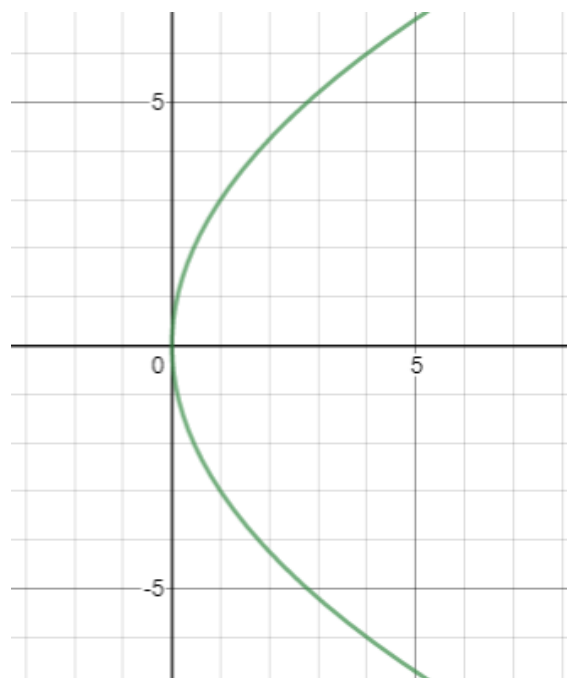


Рис. 2. Графік кривої $y^2 = 9x$ до задачі 2

Задача 3. Металевий диск має радіус 5,0 см і товщину 2,0 см. Напівкругле поглиблення діаметром 2,0 см обробляється центрально навколо ободу для формування шківів. Визначте, використовуючи теорему Паппа, об'єм та масу металу, який при цьому видаляється, а також об'єм і масу шківів, якщо густина металу складає 8000 кг/м^3 [2, с.382].

Коментарі до розв'язування задачі 3. Згадаємо відповідну теорему Паппа. Об'єм тіла, утвореного обертанням плоскої фігури навколо осі, що лежить у тій же площині і не перетинає фігуру, дорівнює площі фігури помноженої на довжину кола, радіусом якого є відстань від осі обертання до центроїду фігури. Таким чином він обчислюється за формулами:

$V = S \cdot \bar{y} \cdot 2\pi$ (якщо обертання відбувається навколо горизонтальної осі);

$V = S \cdot \bar{x} \cdot 2\pi$ (якщо обертання відбувається навколо вертикальної осі).

Розглянемо наступний переріз шківів (рис.3). Таким чином можна сказати, що:

1) обертаючи область $PQRS$ навколо горизонтальної осі, отримуємо тіло обертання, об'єм якого дорівнює об'єму шківів, то який говорить в задачі;

2) обертаючи півкруг PQ навколо горизонтальної осі, отримуємо тіло обертання, об'єм якого дорівнює об'єму металу, який при цьому видаляється.

Окремі уваги потребує обчислення об'єму тіла обертання, що описується півкругом PQ . Нескладно показати що ордината центроїда (барицентру) знаходиться на відстані $d = \frac{4r}{3\pi}$ від центру відповідного круга [3, с.471]. Нехай

$$V = S \cdot \bar{y} \cdot 2\pi \quad (\text{за теоремою Паппа}), \quad (3)$$

де $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – об'єм кулі, що утворюється під час обертання півкруга;

$S = \frac{\pi r^2}{2}$ – площа півкруга;

\bar{y} – ордината центроїда (барицентра) півкруга із центром у початку координат,

$2\pi\bar{y}$ – відстань, яку проходить центроїд в результаті одного обертання навколо горизонтальної осі, тоді

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{\pi r^2}{2} \cdot \bar{y} \cdot 2\pi;$$

$$\bar{y} = \frac{4r}{3\pi}.$$

Таким чином ордината центроїду півкруга PQ з радіусом $r = 1$ см :

$$\bar{y} = 5 - \frac{4r}{3\pi} \approx 4,576.$$

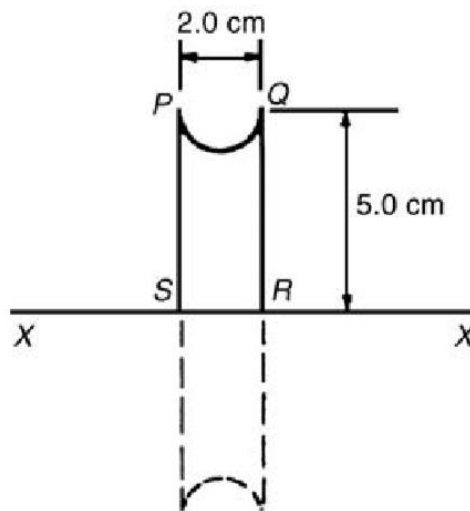


Рис. 3. Креслення до задачі 3 [2, с.381]

Використовуючи вказані данні можемо дати відповідь на перше питання задачі. А саме, знайти об'єм та масу, металу, що видаляється під час формування шківа:

$$V = S \cdot \bar{y} \cdot 2\pi \text{ (за теоремою Паппа),}$$

$$V_{\text{мет}} = \frac{\pi r^2}{2} \cdot \left(5 - \frac{4r}{3\pi}\right) \cdot 2\pi, \text{ де } r = 1$$

$$V_{\text{мет}} \approx 45,16 \text{ см}^3 = 45,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{мет}} = V_{\text{мет}} \rho = 45,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 8000 \text{ кг/м}^3 = 0,3613 \text{ кг} = 361,3 \text{ г.}$$

Об'єм та масу шківа можна визначити як об'єм циліндра, що описує під час обертання навколо горизонтальної осі прямокутник $PQRS$, за мінусом об'єму металу, що видаляється під час формування шківа:

$$V_{\text{шківа}} = \pi R^2 H - 45,16$$

$$V_{\text{шківа}} \approx \pi \cdot 5^2 \cdot 2 - 45,16 = 111,9 \text{ см}^3 = 111,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{шківа}} \approx 895,2 \text{ г.}$$

Задача розв'язана.

Запропонований підхід для знаходження об'єму шківа є доцільним з огляду на рекомендації ІМО [8, с.151], [7, с.248], [6, с.218].

Також можна запропонувати студентам знайти об'єм шківа за традиційною формулою

$$V = \pi \int_a^b f^2(x) dx. \quad (4)$$

Зрозуміло, що шків є тілом обертання нижньої частини кола з радіусом 1. Припустимо (для зручності), що центр кола знаходиться на осі OY . Тоді рівняння відповідного кола матиме рівняння $x^2 + (y - 5)^2 = 1$. Для того щоб використати вищенаведену формулу знаходження об'єму необхідно подати рівняння кола у вигляді явної функції $y = \pm\sqrt{1 - x^2} + 5$. Зрозуміло, що функція $y = \sqrt{1 - x^2} + 5$ описуватиме верхню частину півкола, а функції $y = -\sqrt{1 - x^2} + 5$ описуватиме нижню частину півкола. Таким чином отримуємо:

$$V_{\text{шківа}} = \pi \int_{-1}^1 (5 - \sqrt{1 - x^2})^2 dx;$$

$$V_{\text{шківа}} = \pi \int_{-1}^1 (25 - 10\sqrt{1 - x^2} + (1 - x^2)) dx.$$

Окремої уваги потребує обчислення інтегралу $\int_{-1}^1 \sqrt{1 - x^2} dx$. Одним із шляхів його обчислення є інтегрування методом тригонометричної підстановки

$$\int_{-1}^1 \sqrt{1 - x^2} dx = \left| \begin{array}{ll} x = \sin t & 1 = \sin t_2 \rightarrow t_2 = \frac{\pi}{2} \\ dx = \cos t dt & -1 = \sin t_1 \rightarrow t_1 = -\frac{\pi}{2} \end{array} \right| =$$

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \sin^2 t} \cos t dt = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 t dt = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} (1 + \cos 2t) dt = \frac{1}{2} \left(t + \frac{1}{2} \sin 2t \right) \Bigg|_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi}{2}.$$

Такий варіант розв'язування є доцільним, якщо ставиться за мету продемонструвати використання вищенаведеної тригонометричної підстановки, нагадати студентам відповідні особливості інтегрування тригонометричних функцій, а також деякі тригонометричні формули, актуалізація яких відповідає рекомендаціями ІМО [8, с.150], [7, с.248].

Можливий також і інший шлях обчислення інтегралу $\int_{-1}^1 \sqrt{1-x^2} dx$, який представлено у шкільних підручниках [4] та зовнішньому незалежному оцінюванню (№30, 2012 рік (перша сесія)) [5]:

$$\int_{-1}^1 \sqrt{1-x^2} dx = \frac{1}{2} S_{\text{круга}} = \frac{1}{2} \pi R^2 = \frac{1}{2} \pi 1^2 = \frac{\pi}{2},$$

де $S_{\text{круга}}$ – площа круга, що обмежене колом $x^2 + y^2 = 1$ (відповідно рівняння верхнього півкола має вигляд $y = \sqrt{1-x^2}$).

Такий варіант розв’язування є доцільним, якщо ставиться за мету продемонструвати використання геометричного змісту визначеного інтегралу або вищенаведені тригонометричні підстановки не були опановані студентами через брак часу.

Повернемося до обчислення об’єму шківів:

$$\begin{aligned} V_{\text{шківа}} &= \pi \int_{-1}^1 (25 - 10\sqrt{1-x^2} + (1-x^2)) dx; \\ V_{\text{шківа}} &= \pi \left(25x + x - \frac{x^3}{3} \right) \Big|_{-1}^1 - 10 \int_{-1}^1 (\sqrt{1-x^2}) dx; \\ V_{\text{шківа}} &= \pi \left(50 + 2 - \frac{2}{3} \right) - 5\pi; \\ V_{\text{шківа}} &\approx 111,9 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Відповідь. Об’єм видаленого металу: $\approx 45,16 \text{ см}^3 = 45,16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; маса видаленого металу: $\approx 0,3613 \text{ кг} = 361,3 \text{ г}$; об’єм шківів: $\approx 111,9 \text{ см}^3$; маса шківів: $\approx 895,2 \text{ г}$.

Висновки. Інтегральний метод знаходження положення центроїду суттєво збагатить курс вищої математики, а також, безперечно, стане ще однією вдалою позицією інтегровності природничо-математичних компетентностей до професійної підготовки майбутніх фахівців річкового та морського транспорту. Подальшого дослідження набувають напрями формування блоку різнопланових задач із використання фундаментальних основ вищої та інженерної математики для студентів молодших курсів морських спеціальностей

ЛІТЕРАТУРА

1. Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Теоремы_Паппа_—_Гульдина
2. Jonn Bird. *Higher Engineering Mathematics*. 2006. 726 p.
3. Jonn Bird. *Engineering Mathematics*. 2003. – 531 p.
4. Алгебра: підруч. для 11 кл. з поглибленим вивченням математики: у 2 ч./ А.Г.Мерзляк, Д.А.Номіровський, В.Б.Полонський, М.С.Якір. Харків: Гімназія, 2011. 272 с.
5. ЗНО онлайн з математики. URL: <https://zno.osvita.ua/mathematics/3/>
6. Model Course 7.03 Officer in charge of a Navigational watch by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
7. Model Course 7.04 Officer in charge of an Engineering watch by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
8. Model Course 7.08 Electro – technical officer by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
9. Math 24. Pappus’s Theorem. URL: <https://www.math24.net/pappus-theorem/>
10. Стандарт вищої освіти України. Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти. Галузь знань - 27 Транспорт, спеціальність - 271 Річковий та морський транспорт. [Чинний від 13.11.2018 № 1239.] Вид. офіц. Київ : Міністерство освіти і науки України, 2018.

11. Про внесення змін у додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2011 р. № 1341: постанова Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 р. № 509). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/509-2019-p>
12. Працьовитий М., Одинець Ю. Геометрія мас і барицентричний метод розв'язування планіметричних задач. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2016. № 3 (57). С. 327-340

REFERENCES

1. Wikipediia. Vilna entsyklopediia URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Теоремы_ Паппа_ —_ Гульдина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теоремы_Паппа_—_Гульдина)
2. Jonn Bird. *Higher Engineering Mathematics*. 2006. 726 p.
3. Jonn Bird. *Engineering Mathematics*. 2003. – 531 p.
4. Algebra: pidruch. dlia 11 kl. z pohlyblynym vyvchenniam matematyky: u 2 ch./ A.H.Merzliak, D.A.Nomirovskyi, V.B.Polonskyi, M.S.Iakir. Kharkyv: Himnaziia, 2011.272 s
5. ZNO onlain z matematyky. URL: <https://zno.osvita.ua/mathematics/3/>
6. Model Course 7.03 Officer in charge of a Navigational watch by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
7. Model Course 7.04 Officer in charge of an Engineering watch by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
8. Model Course 7.08 Electro – technical officer by IMO (International Maritime Organization. 2014 Edition.
9. Math 24. Pappus's Theorem. URL: <https://www.math24.net/pappus-theorem/>
10. Standart vyshchoi osvity Ukrainy. Pershyi (bakalavrskyi) riven vyshchoi osvity. Haluz znan - 27 Transport, spetsialnist - 271 Richkovyi ta morskyi transport. [Chynnyi vid 13.11.2018 № 1239.] Vyd. ofits. Kyiv : Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, 2018.
11. Pro vnesennia zmin u dodatok do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 lystopada 2011 r. № 1341: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12 chervnia 2019 r. № 509). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/509-2019-p>
12. Pratsovytyi M., Odynets Yu. Neometriia mas i barysentrychnyi metod rozviazuvannia planimetrychnykh zadach. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii*. 2016. № 3 (57). S. 327-340

Клиндухова В.Н., Гейлик А.В., Ляшко О.В.

МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ СТУДЕНТАМИ МЛАДШИХ КУРСОВ МОРСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Статья посвящена актуальному вопросу прикладной направленности дисциплин математического цикла, моделированию инженерных процессов средствами традиционного курса высшей математики и использования теории центра масс.

Вопрос интегрированности компетенций профессиональной подготовки специалистов речного и морского транспорта в систему математических дисциплин всегда вызывало интерес. Учитывая, что данная специальность является регулируемой и имплементирована в мировое общество, к математическим знаниям студентов младших курсов морских специальностей выдвигается ряд требований. Замечено, что некоторые вопросы инженерной математики, которые отражаются в международных требованиях Модальных курсов ИМО, в то же время не совсем полностью отражены в курсе математических дисциплин морских ЗВО.

Предложенные задачи в полной мере отражают связь математической подготовки с образовательно-профессиональными программами подготовки специалистов речного и морского транспорта, Стандартами высшего образования Украины и международными

требованиями ИМО. Каждая задача включает комментарий к решению, а также рассматривается с позиций как традиционности преподавания высшей математики, так и с помощью теории о центре масс.

В свою очередь, интегральный метод решения задач на нахождение центроида позволяет не только усовершенствовать базовые знания по высшей математике, но и заинтересовать и мотивировать студента к повышению уровня математических профессиональных навыков, формированию профессиональных задач в основе которых будут лежать фундаментальные математические утверждения, методы, средства.

Дальнейшего исследования требуют вопросы разработки и совершенствования методической системы заданий дисциплин математического цикла в соответствии с требованиями образовательно-профессиональных программ подготовки специалистов речного и морского транспорта, Стандартов высшего образования и Модальные курсы ИМО. В аспекте этого направления развития исследований особого внимания требуют концептуальные вопросы Higher Engineering Mathematics, интегрируемость математических и профессиональных компетенций.

Ключевые слова: моделирование объектов, подготовка специалистов речного и морского транспорта, профессионально-математическая подготовка, центр масс, барицентра, центр масс.

Klindukhova V., Heilyk A., Liashko O.

MODELING OF SOME OBJECTS BY MEANS OF INTEGRAL CALCULUS BY JUNIOR STUDENTS OF MARINE SPECIALTIES

The article is devoted to the urgent issue of the applied orientation of the disciplines of the mathematical cycle, modeling of engineering processes by means of the traditional course of higher mathematics and the use of the theory of the center of mass.

The issue of the integration of competencies of professional training of river and sea transport specialists in the system of mathematical disciplines has always been of interest. Given that this specialty is regulated and implemented in world society, a number of requirements are put forward to the mathematical knowledge of junior students of marine specialties. It is noted that some issues of engineering mathematics, which are reflected in the international requirements of IMO Modal courses, are at the same time not completely reflected in the course of mathematical disciplines of marine institution of higher education.

The proposed tasks fully reflect the connection of mathematical training with educational and professional training programs for river and sea transport specialists, the Higher Education Standards of Ukraine and the international IMO requirements. Each task includes a commentary on the solution, and is also considered from the standpoint of both the tradition of teaching higher mathematics and with the help of the theory of the center of mass.

In turn, the integral method for solving problems of finding a centroid allows not only improving basic knowledge of higher mathematics, but also interest and motivate students to increase the level of mathematical professional skills, the formation of professional problems which will mainly be based on fundamental mathematical statements, methods, tools .

Further research requires the development and improvement of the methodological system of assignments for the disciplines of the mathematical cycle, in accordance with the requirements of educational and professional training programs for river and sea transport specialists, Higher Education Standards and IMO Modal Courses. In the aspect of this direction of research development, particular attention is required to the conceptual questions of Higher Engineering Mathematics, the integrability of mathematical and professional competencies.

Keywords: object modeling, training of river and sea transport specialists, professional and mathematical training, centroid, barycenter, center of mass.

Isaienko S.A., Hurinchuk S.V.

FORMATION OF VALUE ATTITUDE TO THE HUMANITARIAN COMPONENT OF PROFESSIONAL TRAINING AS A TASK OF HIGHER EDUCATION IN THE CONTEXT OF UKRAINE'S INTEGRATION INTO THE GLOBAL EDUCATIONAL SPACE

The issues of the formation of a professional, the features of the manifestation of a human person in his/her professional activity, the interconnection and interdependence of human life and the scope of his professional activity are extremely relevant in the 21st century. The article analyzes the problem of forming the value attitude in students to the humanitarian component of professional training and professional culture of the personality of future specialists in engineering and technical profile at the present stage of development of higher professional education in Ukraine in the context of its integration into the global educational space. At the end of the twentieth century, it became customary to consider almost the only function of technical education - the training of a specialist capable of performing specific production tasks. However, modern production requires engineering and technical specialists to perform atypical functions in the past, requires a rethinking of many of the former and the creation of new world outlooks and values, without which the revival and existence of society is impossible. High-quality training of engineering workers cannot be limited to the purely technical cycle of training subjects. Life and modern production requires an engineer to have knowledge on social and humanitarian subjects, knowledge from areas related to engineering and technical training, computer technology, as well as knowledge of his/her native language and knowledge of foreign languages as well. The authors believe that one of the main tasks of the higher education system is purposeful work on the formation of a professional culture of future specialists, and the formation of a value-based attitude to the humanitarian aspects of life and professional activity is an integral part of this culture. However, professional culture is a complex multilateral construct, the formation of which begins on the university bench and continues throughout life. In the framework of professional training in a higher education institution, we can only talk about laying the foundations of such a personal construct. Consequently, the need to form a new social environment, to develop such priorities of social development, where the main element is the person himself, has become obvious and universally recognized in the world today.

Keywords: *value attitude, humanitarian component of professional training, professional culture of a specialist, activity, axiological and cultural studies approaches, personality-oriented model of higher education, professional training*

Statement of the problem. The integration of the higher education system of Ukraine into the global and European educational space forms a social order for new approaches to assessing the quality of professional training of specialists, objectively determines the application of modern didactic concepts aimed at training highly qualified professionals and creative professionals in the educational process. Dynamic changes in the Ukrainian society, generated by the processes of globalization, integration and diversification in the world, have actualized the problem of qualitative training of professional cadres of the country, since it is for them in the realities of life today to make optimal decisions to ensure the progress of domestic scientific researches and development. Among the problems that the high school faced in the period of social reform is the problem of forming the humanistic orientation of the future specialist personality, his/her value markers.

In accordance with the tradition in Ukraine, higher education is not only a centre of science and education, but also a factor in the reproduction of the spiritual life of a society. However, the tendency of professionalization of higher education has led to the erosion of the whole cultural stratum in the education of specialists, facilitated the development of students with narrow professional thinking. In the second half of the twentieth century, awareness and elimination of the

negative consequences of development in conditions of self-isolation and excessive ideologization, active study of the world level of human and social sciences led the national system of higher education to the need to revise the goals, content, forms, methods of teaching and perception of humanitarian subjects. The powerful impetus for the humanization and humanitarization of higher education was given by the processes of state formation in Ukraine. The foundations of the humanization of education were laid down in the normative documents that defined the directions of higher education reform in the 1990s. The humanistic approach is seen as the possibility of overcoming the basic error of the previous period - impersonation.

Analysis of recent research and publications. Theoretical and methodological foundations and practical experience of forming a valuable attitude towards the humanitarian component of professional training of future specialists and the culture of students' personality are reflected in the scientific achievements of foreign and domestic educators, such as Paryzhnyi, Yu. (1992), Honcharenko, S. (1995), Habovych, O. (2001), Savelev, A. (2001), Skliar, P.; Umanska, T. (2007), Andrushchenko, V. (2012) and many others. The humanities of higher engineering education were raised in the works of Kurhuzov, V. (1997), Dobruskyn, M. (2000), Chystovska, I. (2008). However, both the general theoretical questions of the humanitarization of the higher technical school and the practical-applied issues of formation of value attitude to the humanitarian component of professional training of modern specialists are lacking in development.

The purpose of the study is to substantiate organizational and pedagogical approaches to the formation in students of engineering and technical specialties value attitude to the humanitarian component of their professional training.

The main results of the study. Our analysis of the current educational situation in Ukraine from the point of view of reform shows that a social order for a new approach to the professional training of future specialists has been clearly formed in the society. At the end of the twentieth century, the higher technical school was influenced by economic and social instability in society, problems of environmental imbalance and negligent attitude to the environment, increased technocratic tendencies of scientific and technological progress and lack of spirituality and education of the specialist. This influence, in turn, has led to a considerable deformation of the understanding of the tasks that the higher technical school should solve. It has become customary to consider the only function of technical education to be the training of a "narrow" specialist capable of performing specific production tasks, rather than the formation of a highly educated person, whose main role in life is played by human values and priorities, rather than a career or production plan. However, modern manufacturing requires engineering specialists to perform atypical functions in the past, requires rethinking many of the past and creating new worldviews and values, without which the revival and existence of our society is impossible. Therefore, the need to create a new social environment, to develop such priorities of social development, where the main element is the person himself, has become evident and widely recognized today.

Awareness of the need for a fundamentally new quality of preparation of a specialist for his future professional activity in a society in which knowledge becomes a major factor of economic growth, in Ukraine was embodied in the National Doctrine of Educational Development in the 21st Century, where it is stated that further "progress of society is no longer possible" human progress (Natsionalna doktryna rozvytku osvity u XXI stolitti: Proekt, 2001, 4), in the Law of Ukraine "On Education", in which the task of "comprehensive development of a person as a person and the highest value of society" stands next to the tasks of enriching the "intellectual, creative, cultural potential of the people" and "providing the economy with qualified specialists" (Zakon Ukrainy «Pro osvitu», 2017, 3), as well as in the State National Program "Education. Ukraine of the XXI Century", which emphasizes that education should be aimed at the formation of "developed spirituality, physical perfection, moral, artistic, aesthetic, legal, labor, ecological culture" (Derzhavna natsionalna prohrama «Osvita. Ukraina XXI stolittia», 1994, 15).

Discussing the problem of providing and evaluating the quality of education, leading national and foreign scientists agree that at the present stage of higher professional school development, it is not enough to consider as a system of knowledge, abilities and skills only. Thus, B. Hershunskyi called obligatory additional indicators of the quality of education as a graduate mentality and his/her desire for self-realization in life (Hershunskyi, B. 1998). M. Potashnyk in the scientific work

"Management of the quality of education" notes that in the analysis of the quality of education V. Zahviazynskyi proposes to take into account the indicators of personal development of the student (Potashnyk, M. 2000, 71-80), and V. Karakovskiy – self-awareness, moral health, education, active citizenship, etc. (Potashnyk, M. 2000, 81–84). This, according to M. Potashnyk, indicates the urgent need to "strengthen the educational and educational component of education and the need to include indicators of personal development and morality / moral upbringing in education standards" (Potashnyk, M. 2000, 85). But the complexity of determining the level of formation of these indicators still hinders their widespread use as quality criteria for higher professional education.

We believe that in the context of Ukraine's integration into the European and global educational space, at present there is a contradiction between the objective need for the preparation of modern highly qualified and highly spiritual specialists of engineering-technical profile and the lack of development of this scientific pedagogical problem, which negatively affects the practical activity of all of the educational process of the technical higher educational institution, on the effectiveness of its work in the training of competitive young professionals. In our opinion, this contradiction can be solved by affirming the task of forming a professional culture in students as an integral characteristic of the future specialist's personality among the tasks of a holistic pedagogical process in higher education institutions.

Studying the traditional and specific in the interconnection of education and culture, R. Pozinkevych emphasizes that "the educational system must reach new historical boundaries" (Pozinkevych, R. 2000, 3-4), and considers the appeal of modern scientific pedagogical thought to versatile analysis of historical educational models and their evolution by evidence of intensive search for "cultural-educational" and "cultural-educational" ways of modern education out of crisis (Pozinkevych, R. 2000, 322). I. Ziaziun and H. Sahach argue that at the turn of the century was born "cultural and creative education with its conception of a humanistic type of personality, which not only consumes cultural values, but also multiplies them, personality as an endowment and purpose, but not a means of social development" (Ziaziun, I.; Sahach, H. 1997, 40).

The complexity and versatility of the term "culture" itself results in a large number of classifications of that concept based on different principles. The analysis of reference literature on philosophy, political science and sociology makes it possible to name the following among the most common approaches to considering the concept of "culture":

- 1) According to a certain historical epoch (when it comes to ancient culture, culture of the ancient world, medieval culture, modern culture, etc.);
- 2) According to ethno-national and geographical-regional features (culture of the West, East, American culture, Slavic culture, Ukrainian, German culture, etc.);
- 3) According to the sphere of human being (distinguish material culture, spiritual culture, religious culture, worldview, national, civil, political, moral, artistic, physical, mental, aesthetic, musical, etc.);
- 4) According to the sphere of manifestation of human activity (different industrial culture, professional, culture of work, leisure, consumption, everyday life, service, communication, language, behavior, feelings, thinking);
- 5) According to the grounds of social groups and segments of the population (culture of the collective, person, individual, class (peasant, bourgeois culture), society; as well as youth, military, artistic, pedagogical culture, etc.) (Isaienko, S. 2009).

Recognizing that due to the complexity of the cultural category, any definition does not cover all its sides, however, it should be noted that most researchers of this phenomenon use one or more approaches in their scientific analysis, most often typological, value, activity, or personal. Consistent with the approaches proposed by scientists to consider the professional culture of a specialist, we consider it necessary to emphasize that for a holistic understanding of culture (and professional culture in particular), each of the components of culture is important for the above approaches, since values, activities, and qualities of personality are not they deny but complement each other.

The analysis of the concepts of humanitarian in higher education and the practice of teaching the disciplines of the humanitarian cycle indicates the existence of significant contradictions, which

only confirms the relevance of this research. Contrary to the trends of the global educational space, the content of humanitarian subjects is not yet sufficiently integrated into a coherent system of personality- and culture-oriented higher education. There is a contradiction between the enormous potential of the content of the humanities, which reflects the multiplicity of worldviews, dialogicality as a style of thinking, the integrity of knowing a person himself and, on the other hand, the representation of these subject areas as a general "appendage" of special disciplines. The information-explanatory approach that prevails in the educational space of the institution of higher education does not provide for the students to turn to the value-semantic basis of the received humanitarian knowledge, practically does not actualize the processes of search for meaning, choice, reflection, evaluation. When transmitting a huge amount of information, teachers often rely only on the capacity of memory, perception, attention of students who do not realize the potential of value-oriented activities.

In addition, the modern theory of personality-oriented education, activity and cultural approaches are still insufficiently mastered by teachers of higher education, which negatively affects the creation and application of technologies for the development of personal experience of future professionals. That is why one of the most important tasks of higher education in the context of Ukraine's integration into the global educational space is the formation in a future specialist of a valuable attitude towards the humanitarian component of professional training at both the cognitive and real-behavioral levels.

Taking into account the breadth of material on this issue, we have limited the scope of the study to the discipline of "Foreign Language for Specific Purposes". Having a communicative orientation and two-way communication with both public and specialized disciplines, foreign language as a general subject is at the intersection of humanities and special subjects (Hurinchuk, S.; Isaienko, S. 2018). The conducted analysis of the criteria and indicators of foreign language proficiency made it possible to conclude that learning a foreign language is aimed not only at the formation of linguistic (lexical and grammar) and speech competences, but also the development of a personality integrated into the world culture, science, art, which has a special type humanistic outlook, ethnic tolerance, openness to other cultures. Person-oriented model of education opens up new opportunities for designing the process of personal development of the future specialist and allows reviewing the goals, content and technologies of teaching the humanities in a higher educational establishment.

As a result of the research, we can state that 1) the formation of students' value attitude to the humanitarian component of professional education is facilitated by the inclusion in the content of foreign language teaching components, focused on the development of the value-sense sphere of personality of future professionals; 2) the content of disciplines of the humanitarian cycle should contain the basic values of humanitarian knowledge (spiritual, moral, semantic universals); 3) as a technology for creating a situation of humanitarian-oriented consciousness of the personality of a specialist, it is necessary to use educational tasks-situations with different developing functions and "dialogical" form of educational interaction. The development of a foreign language competence should be considered as another core of the professional training process, as it is now a professionally required competence and one of the conditions for the development of humanitarian consciousness.

Conclusions. Until now, the level of education of a specialist has been defined (and often still is defined) mainly by knowledge of the natural sciences. In our view, the qualitative training of engineering staff cannot be limited to the purely technical cycle of subjects. Living and modern manufacturing requires the engineer to have knowledge of the social sciences and humanities, knowledge of related fields of engineering, computer technology, as well as mastery of the native language and foreign language skills.

The educational process of the vast majority of higher education institutions is dominated by traditional technology of transfer and assimilation of knowledge, and emphasis is placed on mastering a large amount of educational material. As a result, students are convinced that any problem has only one way to solve it and there are no alternative ways to solve it. However, the current conditions of development of Ukrainian society determine the need to revise such a methodology of professional education. Along with the knowledge and skills that are sufficient to

fulfill the basic professional functions, necessary and those that would provide the opportunity for professional development of a specialist related to his/her promotion in the positions; development of new equipment and technologies without changing the place of work; changes in production profile; making moral decisions in extreme situations where a specialist is forced to go beyond the scope of his/her duties; correct assessment of their professional activity in the system of work responsibilities together with other people, interaction with them in the process of regulating their and their activities.

Thus, since becoming an engineering and technical specialist must be accompanied by the development of his/her personal qualities, and the specialist-professional must be able to adapt quickly and painlessly to the changing conditions of economy and production, in the organization of training of future specialists in the walls of a higher education institution – a certain shift of focus is needed educational process on the problem of formation of competencies of the future specialist for the development of his/her potential inclinations in the chosen direction of professional training.

The conducted analysis does not exhaust all aspects of the problem, and therefore further research is envisaged in a comprehensive study of the historical aspect of the essence, directions of reforming the higher education system of Ukraine, implementation of the principles of humanization and humanitarization in higher education institutions and in the development of ways of effectively forming a valuable attitude of students to humanities.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Hurinchuk, S.; Isaienko, S.** (2018). Culture formation as a significant component in specialists' training. *Scientific Light, Vol. 1, № 16*. P. 18-21.
2. **Андрущенко, В.** (2012). «Філософське самовбивство» останніх радянських гуманітаріїв. *Філософія освіти, № 1–2 (11)*. С. 7-15.
3. **Габович, О.** (2001). Гуманітаризація науки чи її криза? *Вісник Національної академії наук України, № 7*. С. 54-61.
4. **Гершунский, Б.** (1998). Философия образования для XXI века (в поисках практико-ориентированных образовательных концепций). Москва: Совершенство. 608 с.
5. **Гончаренко, С.** (1995). І все таки – гуманітаризація. *Педагогіка і психологія, № 1*. С. 3-7.
6. **Державна національна програма «Освіта. Україна XXI століття».** (1994). Київ: Райдуга. 61 с.
7. **Добрускин, М.** (2000). Концептуальные основы гуманизации и гуманитаризации высшего технического образования. *Гуманізація і гуманітаризація вищої технічної освіти. Збірник наукових праць. Всеукраїнська науково-методична конференція, Харків*. С. 5–6.
8. **Закон України «Про освіту».** (2017). *Відомості Верховної Ради, № 38-39*, ст.380.
9. **Зязюн, І.; Сагач, Г.** (1997). Краса педагогічної дії. Київ. 302 с.
10. **Ісаєнко, С.** (2009). Формування професійної культури у студентів інженерно-технічних спеціальностей засобами іноземної мови: автореф. дис. на здоб. наук. ступ. канд. пед. наук: 13.00.04 – теорія і методика професійної освіти. Київ, ІВО НАПНУ. 20 с.
11. **Кургузов, В.** (1997). Гуманитарная среда технического вуза (Методология. Опыт. Проблемы.), Улан-Удэ. 84 с.
12. **Національна доктрина розвитку освіти у XXI столітті: Проект.** (2001). *Педагогічна газета, № 7*. С. 4–6.
13. **Парижний, Ю.** (1992). О сущности гуманизации и гуманитаризации. *Гуманізація і гуманітаризація – пріоритетний напрямок державної політики в галузі вищої освіти*. Дніпропетровськ: Дніпр. державний інститут. Гуманітарний центр. 134 с.
14. **Позінкевич, Р.** (2000). Освіта в системі культури: Монографія. Луцьк: Ред.-вид. від. «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки. 348 с.
15. **Поташник, М.** (2000). Управление качеством образования. Москва. 448 с.
16. **Савельев, А.** (2001). Высшее образование: состояние и проблемы развития. Москва: НИИВО. 120 с.

17. **Скляр, П.; Уманська, Т.** (2007). «Гуманізація» та «гуманітаризація»: поняття, співвідношення та шляхи впровадження в освіту. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. *Філософія. Психологія. Педагогіка, № 1*. Retrieved from: http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/VKPI_fpp/2007-1/index.html.
18. **Чистовська, І.** (2008). Гуманізація та гуманітаризація навчально-виховного процесу у вищих технічних навчальних закладах. *Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»* : *Філософія. Психологія. Педагогіка, №1*. С. 191-195.

REFERENCES

1. **Hurinchuk, S.; Isaienko, S.** (2018). Culture formation as a significant component in specialists' training. *Scientific Light, Vol. 1, № 16*. P. 18-21.
2. **Andrushchenko, V.** (2012). «Filosofske samovybystvo» ostannikh radianskykh humanitariiv [“The philosophical suicide” of the last Soviet humanities]. *Filosofiiia osvity – Philosophy of education, № 1–2 (11)*. S. 7-15. [in Ukrainian]
3. **Habovych, O.** (2001). Humanitaryzatsiia nauky chy ii kryza? [The humanization of science or its crisis?]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, № 7*. S. 54-61. [in Ukrainian]
4. **Hershunskyi, B.** (1998). Fylosofiya obrazovaniya dlia XXI veka (v poyskakh praktyko-oryentirovannykh obrazovatelykh kontseptsyi) [The philosophy of education for the 21st century (in search of practice-oriented educational concepts)]. Moskva: Sovershenstvo. 608 s. [in Russian]
5. **Honcharenko, S.** (1995). I vse taky – humanitaryzatsiia [But all the same – humanitarization]. *Pedahohika i psykholohiia – Pedagogy and Psychology, № 1*. S. 3-7. [in Ukrainian]
6. *Derzhavna natsionalna prohrama «Osvita. Ukraina XXI stolittia» [The State National Program "Osvita. Ukraine of the XXI century"]*. (1994). Kyiv: Raiduha. 61 s. [in Ukrainian]
7. **Dobruskyn, M.** (2000). Kontseptualnye osnovy humanyzatsyy y humanitaryzatsyy vyssheho tekhnicheskoho obrazovaniya [Conceptual foundations of the humanization and humanitarization of higher technical education]. *Humanizatsiia i humanitaryzatsiia vyshchoi tekhnichnoi osvity. Zbirnyk naukovykh prats. Vseukrainska naukovo-metodychna konferentsiia, Kharkiv – Humanization and humanitarization of higher technical education. Collection of scientific works. All-Ukrainian scientific and methodological conference*. S. 5–6. [in Russian]
8. *Zakon Ukrainy «Pro osvitu» [Law of Ukraine "On Education"]*. (2017). *Vidomosti Verkhovnoi Rady – Bulletin of the Verkhovna Rada, № 38-39, st.380*. [in Ukrainian]
9. **Ziazun, I.; Sahach, H.** (1997). Krasa pedahohichnoi dii [The beauty of pedagogical action]. Kyiv. 302 s. [in Ukrainian]
10. **Isaienko, S.** (2009). Formuvannia profesiinoi kultury u studentiv inzhenerno-tekhnichnykh spetsialnostei zasobamy inozemnoi movy: avtoref. dys. na zdob. nauk. stup. kand. ped. nauk: 13.00.04 – teoriia i metodyka profesiinoi osvity [Formation of professional culture in students of engineering and technical specialties by means of a foreign language: author. diss. on PhD degree in Pedagogy. Sciences: 13.00.04 - Theory and methodology of professional training]. Kyiv, IVO NAPNU. 20 s. [in Ukrainian]
11. **Kurhuzov, V.** (1997). Humanytarnaia sreda tekhnicheskoho vuza (Metodolohiia. Opyt. Problemy) [The humanitarian environment of a technical university (Methodology. Experience. Problems.)], Ulan-Ude. 84 s. [in Russian]
12. *Natsionalna doktryna rozvytku osvity u XXI stolitti: Proekt [The National Doctrine of Educational Development in the 21st Century: The Project]*. (2001). *Pedahohichna hazeta – Pedagogical newspaper, № 7*. S. 4–6. [in Ukrainian]
13. **Paryzhnyi, Yu.** (1992). O sushchnosti humanyzatsyy y humanitaryzatsyy [On the essence of humanization and humanitarization]. *Humanizatsiia i humanitaryzatsiia – priorytetnyi*

napriamok derzhavnoi polityky v haluzi vyshchoi osvity – Humanization and humanitarization – a priority area of public policy in the field of higher education. Dnipropetrovsk: Dnipro derzhavnyi instytut. Humanitarnyi tsentr. 134 s. [in Russian]

14. **Pozinkevych, R.** (2000). *Osvita v systemi kultury: Monohrafiia [Education in the system of culture: Monograph].* Lutsk: Red.-vyd. vid. «Vezha» Volyn. derzh. un-tu im. Lesi Ukrainky. 348 s. [in Ukrainian]
15. **Potashnyk, M.** (2000). *Upravlenye kachestvom obrazovaniya [Management of the quality of education].* Moskva. 448 s. [in Russian]
16. **Savelev, A.** (2001). *Vysshee obrazovanye: sostoianye y problemy razvytiya [Higher education: state and development problems].* Moskva: NYYVO. 120 s. [in Russian]
17. **Skliar, P.; Umanska, T.** (2007). «Humanizatsiia» ta «humanitaryzatsiia»: poniattia, spivvidnoshennia ta shliakhy vprovadzhennia v osvitu ["Humanization" and "humanitarization": concepts, relationships and ways of implementation in education]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Filosofii. Psykholohiia. Pedagogika – Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Philosophy. Psychology. Pedagogy, № 1.* Retrieved from: http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/VKPI_fpp/2007-1/index.html. [in Ukrainian]
18. **Chystovska, I.** (2008). Humanizatsiia ta humanitaryzatsiia navchalno-vykhovnoho protsesu u vyshchikh tekhnichnykh navchalnykh zakladakh [Humanization and humanitarization of educational process in higher technical educational establishments]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut» : Filosofii. Psykholohiia. Pedagogika – Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Philosophy. Psychology. Pedagogy, №1. S. 191-195.* [in Ukrainian]

Ісаєнко С.А., Гурінчук С.В.

ФОРМУВАННЯ ЦІННІСНОГО СТАВЛЕННЯ ДО ГУМАНІТАРНОГО КОМПОНЕНТУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ЯК ЗАВДАННЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ У КОНТЕКСТІ ІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ ДО СВІТОВОГО ОСВІТЬОГО ПРОСТОРУ

Питання формування професіонала, особливості прояву людської особистості в її професійній діяльності, взаємозв'язок та взаємозалежність життєдіяльності людини та сфери її професійної діяльності надзвичайно актуальні у ХХІ столітті. У статті аналізується проблема формування ціннісного ставлення студентів до гуманітарного компоненту професійної підготовки та професійної культури особистості майбутніх фахівців інженерно-технічного профілю на сучасному етапі розвитку вищої професійної освіти України у контексті її інтеграції до світового освітнього простору. У кінці ХХ століття стало звичним уважати чи не єдиною функцією технічної освіти – підготовку фахівця, здатного виконувати конкретні виробничі задачі. Проте, сучасне виробництво вимагає від інженерно-технічних фахівців виконання функцій нетипових у минулому, потребує переосмислення багатьох колишніх і створення нових світоглядних орієнтирів і цінностей, без яких неможливе відродження та існування суспільства. Якісна підготовка інженерно-технічних працівників не може обмежуватись суто технічним циклом навчальних предметів. Життя і сучасне виробництво вимагає від інженера знань із соціально-гуманітарних предметів, знань із суміжних із інженерно-технічною підготовкою сфер, комп'ютерних технологій, а також володіння рідною мовою і знання іноземних мов. Автори вважають, що одним із головних завдань системи вищої освіти є цілеспрямована робота по формуванню професійної культури майбутніх фахівців, а формування ціннісного ставлення до гуманітарних аспектів життя та професійної діяльності є складовою зазначеної культури. Однак, професійна культура – складне багатобічне утворення, формування якого починаються на університетській лаві і продовжується протягом усього життя. У рамках професійної підготовки у закладі вищої освіти можна вести мову лише про закладання підвалин, основ такого особистісного утворення. Відтак, необхідність формування нового соціального середовища, розробки таких пріоритетів суспільного розвитку, де головним елементом є сама людина, стали сьогодні очевидними і загально визнаними у світі.

Ключові слова: ціннісне ставлення, гуманітарний компонент професійної підготовки, професійна культура фахівця, діяльнісний, аксіологічний та культурологічний підходи, особистісно-орієнтована модель вищої освіти, професійна підготовка

Исаенко С.А., Гуринчук С.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕННОСТНОГО ОТНОШЕНИЯ К ГУМАНИТАРНОМУ КОМПОНЕНТУ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ КАК ЗАДАЧА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ИНТЕГРАЦИИ УКРАИНЫ В МИРОВОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Вопросы формирования профессионала, особенности проявления человеческой личности в ее профессиональной деятельности, взаимосвязь и взаимозависимость жизнедеятельности человека и сферы его профессиональной деятельности чрезвычайно актуальны в XXI веке. В статье анализируется проблема формирования ценностного отношения студентов к гуманитарному компоненту профессиональной подготовки и профессиональной культуры личности будущих специалистов инженерно-технического профиля на современном этапе развития высшего профессионального образования Украины в контексте ее интеграции в мировое образовательное пространство. В конце XX века стало привычным считать едва ли не единственной функцией технического образования - подготовку специалиста, способного выполнять конкретные производственные задачи. Однако, современное производство требует от инженерно-технических специалистов выполнения функций нетипичных в прошлом, требует переосмысления многих бывших и создание новых мировоззренческих ориентиров и ценностей, без которых невозможно возрождение и существования общества. Качественная подготовка инженерно-технических работников не может ограничиваться чисто техническим циклом учебных предметов. Жизнь и современное производство требует от инженера знаний по социально-гуманитарным предметам, знаний из смежных с инженерно-технической подготовкой сфер, компьютерных технологий, а также владения родным языком и знания иностранных языков. Авторы считают, что одной из главных задач системы высшего образования является целенаправленная работа по формированию профессиональной культуры будущих специалистов, а формирование ценностного отношения к гуманитарным аспектам жизни и профессиональной деятельности является составной указанной культуры. Однако, профессиональная культура - сложное многостороннее образование, формирование которого начинается на университетской скамье и продолжается в течение всей жизни. В рамках профессиональной подготовки в учреждении высшего образования можно говорить только о закладке фундамента, основ такого личностного образования. Следовательно, необходимость формирования новой социальной среде, разработки таких приоритетов общественного развития, где главным элементом является сам человек, стали сегодня очевидными и общепризнанными в мире.

Ключевые слова: ценностное отношение, гуманитарный компонент профессиональной подготовки, профессиональная культура специалиста, деятельностный, аксиологический и культурологический подходы, личностно-ориентированная модель высшего образования, профессиональная подготовка

Пизинцали Л.В., Александровская Н.И., Россомаха Е.И., Никифоров Ю.А., Шахов В.И., Рабочая Т.В.

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ ПО УТИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ В УКРАИНЕ

Утилизация отслуживших свой срок судов и кораблей различных типов и назначения – актуальная и, одновременно, весьма сложная и серьезная проблема не только в технологическом, экономическом и правовом плане, но, и является серьезной экологической проблемой.

Авторы подчеркивают, что в принятой стратегии для развязывания системных проблем не предусмотрены новые пути и эффективные методы восстановления и развития судоремонтных заводов Украины, и вообще не упоминается о проблемах большого количества брошенных и затопленных судов, пристаней, доков, причалов в затоках, в устьях рек и даже в портах.

При эффективной системе господдержки судостроение даст толчок для других отраслей (машиностроение, металлургия и др.).

В условиях функционирования системы экологического управления производственная деятельность на предприятии по утилизации морских судов, по мнению авторов, может быть представлена в виде различных видов экологической деятельности (разработка, обоснование, анализ, оценки и т.д.), взаимосвязанных между собой).

По мнению авторов, один из путей реанимирования судостроительных и судоремонтных заводов, является перепрофилирование их полностью или частично в утилизационное предприятие. Вложения будут относительно минимальные, так как, будет сохранена техническая база, жив и работает научно-исследовательский потенциал, способный обеспечить заводы современными проектами и разработками, а также, обязательно нужно отметить выгодное географическое положение, и прекрасные климатические условия.

В статье показано значение, роль и влияние системы экологического менеджмента на создание, и управление утилизационного предприятия. Проведено обобщение стандартов ISO 14000.

***Ключевые слова:** утилизационное предприятие, экологический менеджмент, система экологического менеджмента, окружающая среда, стандарты ISO 14000.*

Постановка проблемы. Среди современных глобальных мировых проблем человечества экологические проблемы занимают едва ли не самое главное место. Охране окружающей среды (ОС) и рациональному использованию природных ресурсов в настоящее время уделяют особое внимание правительственные структуры и международная общественность. На повестку дня выносятся вопрос экологической безопасности государства.

Число морских судов в мире постоянно растет, соответственно возрастет и количество отслуживших свой срок судов.

Согласно *Резолюции А. 962(23)*, утилизация является наилучшим вариантом удаления всех отслуживших срок судов [1].

По итогам 2019 года, согласно данным неправительственной организации *Ship breaking Platform*, в мире было продано 674 судна на утилизацию: 479 судов – танкеров, сухогрузов, морских платформ, пассажирских судов, утилизированы на трех так называемых «токсичных» судоразделочных «пляжах» – в Бангладеш, Индии и Пакистане. Это 90% от валовой вместимости всех списанных на слом судов. В Бангладеш утилизировано самое большое количество судов – 276 ед. общей валовой вместимостью 7,8 млн тонн, в Индии – 200 судов (валовой вместимостью 3,6 млн тонн), в Турции – 107 судов (валовой вместимостью 1,2 млн тонн), в Китае – 29 судов (валовой вместимостью 304 тыс тонн), в странах Эвросоюза – 29 судов (валовой вместимостью 60 тыс тонн), в других странах – 24 судна (валовой вместимостью 180 тыс тонн), в России – 16 судов.

За 2019 год больше всего судов на утилизацию на «токсичные верфи» отправила тайваньская Evergreen, в Бангладеш. Так же в списке Maersk Costamare, CMA CGM, Diamond Offshore, ENSCO, MOL. MSC и NYR [2].

Быстрое увеличение объемов образования судов-отходов – одна из актуальных проблем загрязнения ОС не только в Украине, но и в мире. Последствия динамики образования судов-отходов и увеличения доли прямого их затопления или бросания у причалов, у берегов рек, в затоках и т.д. приводят к появлению, в первую очередь, факторов экологической опасности.

Утилизация отслуживших свой срок судов и кораблей различных типов и назначения – актуальная и, одновременно, весьма сложная и серьезная проблема не только в технологическом, экономическом и правовом плане, но, и является серьезной экологической проблемой.

По мнению авторов, именно экологические проблемы являются препятствием на пути создания и развития утилизационных предприятий (УП) морских судов в Украине.

В условиях современной чрезвычайно сложной экологической ситуации в Украине особое значение приобретает использование и исследование экологического менеджмента (ЭМ) на УП морских судов.

В Украине, наблюдается тенденция, когда предприятия неохотно внедряют системы экологического менеджмента (СЭМ) и экологическую политику. По нашему мнению, использование СЭМ при создании и управлении УП, позволит не только улучшить состояние ОС, повысить эффективность работы по охране ОС, контролировать требования законов Украины по охране ОС, снизить риски возникновения аварийных ситуаций, но и сэкономят ресурсы, и снизить расходы. Наличие сертификата ISO 14001 способствует росту интереса к УП, как потребителей, так и инвесторов.

Практика предприятий мира, которые внедряют СЭМ удостоверяет, что расходы компенсируются за 2 – 4 года и дают возможность предприятиям экономить значительные ресурсы [3].

С учетом выше сказанного, авторы считают, что обеспечение ЭМ на УП приведет к снижению загрязнения ОС (даже в условия нехватки государственных средств) и будет выгодно как для государства, так и для УП.

Анализ научных исследований и публикаций. Среди основных направлений решения проблем, возникающих при управлении утилизацией морских судов, могут быть выделены:

– проблемы развития утилизации морского транспорта [4–8]. В частности, в работе [4] показана динамика роста флота за 2000 – 2017 гг., распределение заказов по странам; в работе [5] рассмотрены вопросы, связанные с проблемой утилизации морского транспорта, предпосылки создания УП; в работе [6] проведен анализ состояния законодательного, организационного и технологического уровней утилизации судов в Украине, определены перспективы развития предприятия на базе имеющихся судостроительных и судоремонтных

заводов юга Украины; автором [7] разработана современная методика проведения перспективного анализа финансово-хозяйственной деятельности предприятия-утилизатора; в работе [8] указано на важность проблемы, связанной с управлением отходами производства посредством создания УП.

– вопросы ЭМ в работах [9 – 11]. В частности, в работе [9] рассмотрена идеология корпоративного ЭМ и условия сертификации предприятия на соответствие требованиям стандарта ИСО 14001. Показано влияние на ОС; в работе [10] показано, что обновление стандартов ISO 9001 не меняет сути предыдущей версии, а связано, прежде всего, с необходимостью повышения его совместимости с другими стандартами, в частности со стандартом ISO 14001, применяемым к СЭМ; в работе [11] представлен анализ новых требований и руководящих указаний международного стандарта ISO 14001 версии 2015 года к СЭМ.

– вопросы организационно-методологического обеспечения ЭМ как фактора устойчивого развития [12 – 17]. В частности, в работе [12] рассмотрена идеология корпоративного ЭМ и условия сертификации предприятия на соответствие требованиям стандарта ИСО 14001. Показано влияние открытых горнодобывающих работ на ОС; в работе [13] показана необходимость повышения совместимости стандарта ISO 9001:20082 с другими стандартами, в частности со стандартом ISO 14001:2004, применяемым к системам ЭМ; в работе [14] представлен анализ новых требований и руководящих указаний международного стандарта ISO 14001 версии 2015 года к СЭМ. Как показано в статье, особые сложности адаптации к новым базовым требованиям связаны с необходимостью внедрения сертифицированными организациями таких инструментов ЭМ как оценка и управление жизненным циклом продукции/услуг, внедрение индикаторов экологической результативности, расширенного диалога с заинтересованными сторонами, анализа контекста организации, лидерства руководства, управления документированной информацией, процессного и риск-ориентированного подходов в менеджменте; в работе [15] рассматриваются проблемы учета экологического фактора при принятии управленческих решений и переходе на эколого-экономическую систему управления. Показаны позитивные стороны внедрения СЭМ на предприятиях; в работе [16] рассматриваются сущность, содержание и функции ЭМ; в работе [17] рассматривается важность ЭМ на предприятии, преимущества внедрения СЭМ. Определены достоинства и недостатки ЭМ на предприятиях энергетической отрасли, предложены рекомендации по совершенствованию экологического управления на предприятиях.

По результатам анализа есть основания считать:

– проблема утилизации судов в Украине не была решена в XX веке и более обостренной перешла в XXI век;

– несмотря на многочисленные исследования, отсутствует информация о принципах формирования системы ЭМ предприятия по утилизации морских судов вообще, и в частности в Украине;

– отсутствует информация об использовании стандартов GPM Global P5 в интегрированной системе менеджмента УП, поэтому есть необходимость проведения, в дальнейшем, исследований и в этом направлении;

– научные исследования экологической политики должны углубляться и сопровождаться поисками новых подходов управления, в частности на УП морских судов.

Цель статьи – обозначить основные принципы формирования СЭМ предприятия по утилизации морских судов.

Изложение основного материала.

Кабинет Министров Украины своим распоряжением от 30 мая 2018 р. №430 одобрил Национальную транспортную стратегию Украины на период до 2030 года.

Авторы полностью согласны с работой [18], что принятая стратегия не позволит решить основные проблемы и на судоремонтных заводах – технологическую отсталость и

неэффективность работы, высокую степень физического и морального износа основных фондов, очень незначительное или вообще отсутствие финансирования для возрождения и модернизации инфраструктуры, потерю транзитных грузопотоков, которые все чаще направляются в обход территории Украины, развитие системы безопасности в украинских портах и т.п.

Авторы подчеркивают, что в принятой стратегии для развязывания системных проблем не предусмотрены новые пути и эффективные методы восстановления и развития судоремонтных заводов Украины, и вообще не упоминается о проблемах большого количества брошенных и затопленных судов, пристаней, доков, причалов в затоках, в устьях рек и даже в портах.

Хочется подчеркнуть, что непрофессиональные реформы, которые продолжаются в морской отрасли последнее десятилетие, фактически разрушили не только судоремонт, но и, например систему безопасности в украинских портах. И яркий, плачевный пример тому происшествие с танкером *Delfi* у берегов Одессы (Это вывод по результатам пресс-конференции 29 ноября в Укринформе "Авария танкера *Delfi* в Одессе. Кто виноват, кроме шторма?").

При эффективной системе господдержки судостроение даст толчок для других отраслей (машиностроение, металлургия и др.). По оценкам центра транспортных стратегий – ЦТС и «Укрречфлота», один доллар инвестиций в судостроение дает несколько долларов потребления в смежных областях. Если взять за основу, например речные перевозки, то для удовлетворения спроса объемом 32 млн т, нужно построить более 250 ед. речного флота. Это потребует более \$1,6 млрд инвестиций. За 10 лет эти вложения сгенерируют создание более 8,3 тыс. рабочих мест, рост потребления в смежных отраслях на уровне \$2,6 млрд, около \$732 млн бюджетных отчислений и более \$1 млрд зарплат [19].

По нашему мнению, один из путей реанимирования судостроительных и судоремонтных заводов, является перепрофилирование их полностью или частично в УП. Вложения будут относительно минимальные, так как, во-первых, сохранена техническая база; во-вторых, жив и работает научно-исследовательский потенциал, способный обеспечить заводы современными проектами и разработками, как по строительству флота, так и реконструкции и модернизации заводов. Например, в городах Одесса и Николаев находятся более 20 научно – исследовательских предприятий, высших и средне – специальных учебных заведений, сеть колледжей и морских школ. В-третьих, нельзя не отметить и выгодное географическое положение, и прекрасные климатические условия: короткий зимний период со стабильными плюсовыми температурами и сухим климатом – менее 30 дождливых дней в году (Корея, Япония – 75 – 80 дождливых дней в году), что дает возможность развития и кооперации производства.

Кроме того, разветвленная сеть судоремонтных заводов на юге Украины с хорошей технической базой и специалистами, может стать базой для развития подрядных организаций, фабрикации блоков, сборки надстроек, их оборудование и комплектации, а также изготовление и поставки на заводы необходимого оборудования и отдельных деталей. Все это повышает объемы переработки металла и снижает стоимость судна, стоимость его ремонта и утилизации в целом [20].

Заказы по утилизации судов могут стать той сферой деятельности, которая позволит сохранить отрасль, особенно, если принять во внимание отсутствие конкуренции в этом бизнесе в Средиземно-Черноморском регионе. Данную идею нельзя считать новой. Еще в 90-х годах прошлого века Украинский научно-исследовательский институт морского флота разрабатывал теоретические основы утилизации судов, СРЗ-ми выполнялись одиночные заказы по утилизации небольших судов и массивных металлоконструкций. Однако эффективность этих проектов оказалась недостаточной и продолжения таких работ признано практиками нецелесообразным. По нашему мнению, такой результат является следствием

недостаточного научной проработки проблемы управления состоянием ОС от воздействия на нее производств различных типов и особенно предприятий утилизации.

За последние годы в мировой практике произошли глубокие качественные изменения в системе организации и управления природопользованием и охраны ОС.

Суть изменений – в подходах к решению экологических проблем, в постепенном отказе от преимуществ традиционных методов управления и переходе к современным рыночным механизмам экологического регулирования.

При всей критике авторами, нельзя не отметить, что в Национальной транспортной стратегии Украины на период до 2030 года подчеркивается приоритетность необходимости охраны ОС во время развития морской инфраструктуры, в данном случае – УП.

Идея экоменеджмента зародилась в далеком прошлом. Еще в 1871 г. американский эколог Б. Коммонера попробовал сформулировать законы экологии, в которых четко прослеживается необходимость правления в отрасли сохранения ОС [21].

Появление в 1996 году международных стандартов СЭМ на предприятиях и в компаниях ISO серии 14000 называют одной из наиболее значительных международных природоохранных инициатив.

Решение о разработке ISO 14000 является результатом Уругвайского раунда переговоров по Всемирному торговому соглашению и встречи на высшем уровне в Рио-де-Жанейро в 1992 году по ОС и развитию [22, 23].

Общее назначение стандарта – содействовать охране ОС и предотвращать её загрязнение, учитывая социально-экономические потребности. Основой стандарта является методика Шухарта–Деминга: «Планируй-выполни-проверяй-действуй», предусматривающая постоянное улучшение характеристик СЭМ, используя процессы и их взаимодействие (рис. 1). Авторы расширили круг Шухарта-Деминга, предложенный в работе [24].

Подготовка к внедрению СЭМ начинается с разработки стратегии УП и постановки экономико-экологических целей и формирования принципов экологической политики (Оценка экологических рисков, влияния различных производственных факторов на ОС, возможной упущенной выгоды от применения используемых устаревших технологий и морально устаревшего технологического оборудования). Экологическая политика формируется в рамках хозяйственной деятельности с учетом, состояния ОС, требований законодательных и других государственных нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность УП. При этом важно установить уровень ответственности УП за состояние ОС, экологическую безопасность. Все это поможет сделать детальный экономический анализ экологической деятельности УП и провести сравнение с деятельностью других УП.

Анализ должен охватывать широкий диапазон условий функционирования УП, включая возможные аварийные ситуации. Информация для осуществления анализа может быть получена в документации предприятия и методом прямых измерений параметров окружающей среды. Исходное состояние анализируется по следующим направлениям [25]:

- требования законодательных и других государственных нормативных актов;
- экологические аспекты деятельности УП, его продукция, услуги, оказывающие воздействие на ОС;
- оценка соблюдения требований внутренних и внешних стандартов, правил и норм;
- существующая практика и процедура экологического менеджмента;
- политика и деловым процедурам по выполнению контрактов, поставок (в т.ч. с учетом экологических требований);
- реализация обратной связи по результатам анализа предыдущих случаев нарушения договоров (в т.ч. по экологическим причинам);
- возможности обеспечения преимуществ в конкурентоспособности за счет экологических факторов;

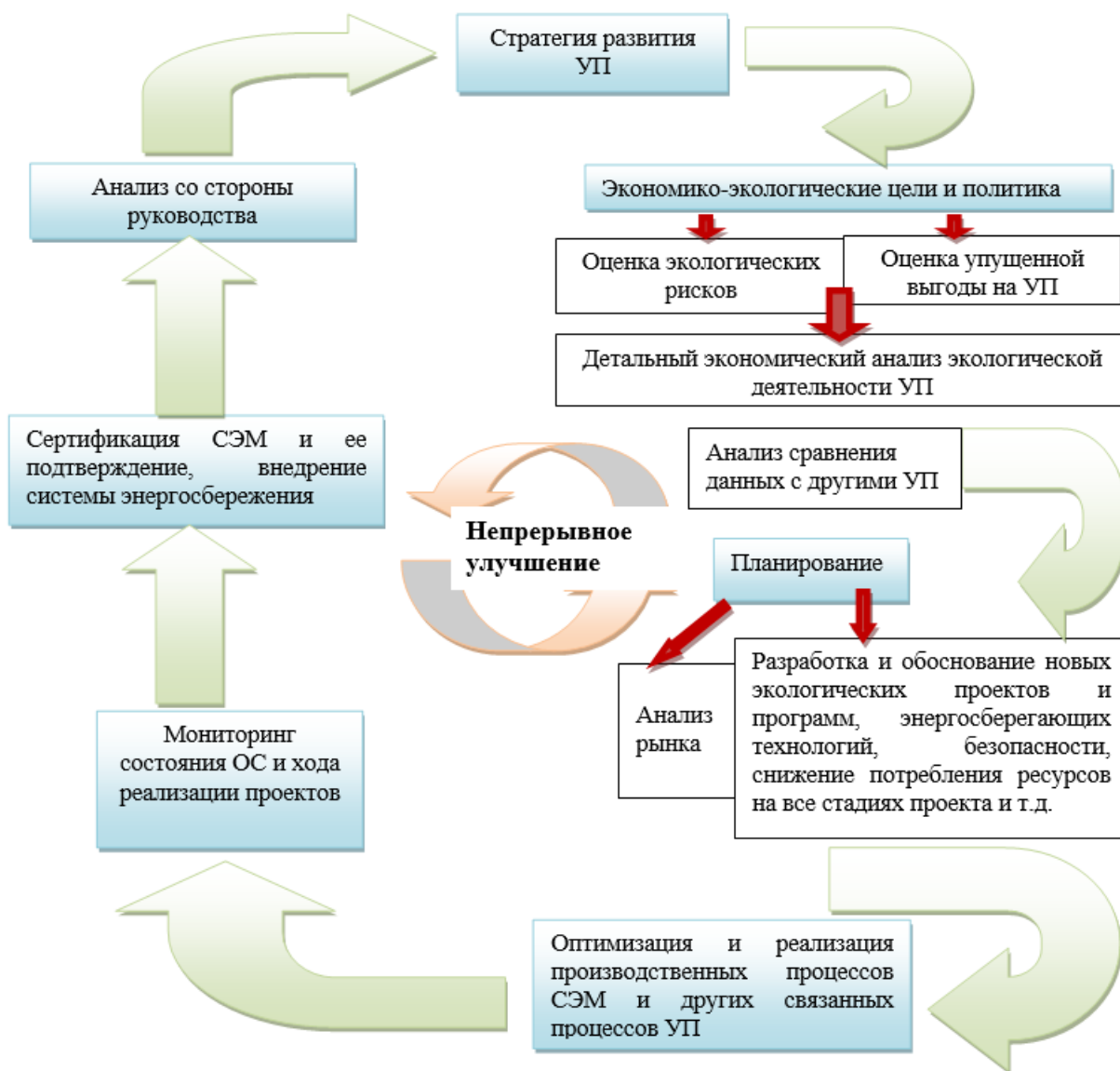


Рис.1. Модель системы экологического менеджмента УП

– оценка заинтересованными сторонами эффективности управления ОС УП (в т.ч. критические);

– функции и деятельности других организационно-технических систем, способствующим или препятствующим улучшению характеристик ОС.

По итогам анализа рынка выполняется планирование – оценивается возможность инвестирования в разработку новых экологических и энергосберегающих технологий с целью внедрения их на УП для дальнейшего снижения текущих затрат. Это позволяет оптимизировать процессы СЭМ и связанные с ним основные производственные процессы УП.

Экологический аспект включает характер, масштаб, интенсивность, вероятность, продолжительность воздействия на ОС. Хозяйственные аспекты включают возможность нормативно-правового регулирования; проблемы измерения характеристик воздействия; затраты на измерение уровня воздействий; влияние изменения характера деятельности или процесса на уровень воздействия.

УП должно идентифицировать и оценить все внешние и внутренние критерии. Внешние критерии — это нормативно-правовые и др. требования, непосредственно связанные с

экологическими аспектами осуществляемой производственно-хозяйственной деятельности. Внутренние критерии разрабатываются и применяются при отсутствии внешних критериев, регламентирующих деятельность УП.

Например, УП может иметь свои внутренние критерии следующих видов деятельности [25]:

- система административного управления;
- обеспечение ответственности работников за охрану ОС;
- выбор поставщиков и субподрядчиков;
- управления сбытом продукции;
- организация природоохранной деятельности;
- отношения с контрольными и надзорными органами;
- подготовленность к аварийным экологическим ситуациям;
- осведомленности и обученности персонала в области охраны ОС;
- измерение характеристик экологичности и улучшения их;
- снижение производственного и экологического рисков;
- предотвращение загрязнений и образования отходов;
- ресурсосбережение, переход на возобновляемые ресурсы;
- проекты инвестиций (с включением экологических статей);
- модификация технологических процессов (перехода на безотходные и экономичные технологии);
- управление использованием комплектующих и сырьевых материалов, расходом энергии.

Постоянно проводится мониторинг состояния ОС и хода реализации проектов. Он позволит обеспечивать получение информации для оценки соответствия экологических параметров деятельности предприятия требованиям нормативно-правовых актов по обеспечению экологической безопасности, проводить контроль за качеством объектов ОС, выявлять источники загрязнения, динамику выбросов (сбросов) вредных загрязняющих веществ, их прогнозирование. Информация, полученная в результате осуществления мониторинга, необходима на предприятии для планирования мероприятий по снижению загрязнения ОС и рациональному использованию природных ресурсов, определению приоритетных сфер деятельности, контроля и оценки эффективности осуществления природоохранных мер. На основе данных мониторинга осуществляется разработка комплексных, экологически ориентированных стратегических и оперативных мер по сокращению опасного воздействия на ОС и жизнедеятельность людей, контроль за соблюдением экологических нормативов и стандартов. Полученные результаты должны постоянно анализироваться, создавать предпосылки для формирования решений экологических проблем УП.

Далее УП внедряет энергосберегающие технологии и подает заявку на сертификацию по стандарту ДСТУ ISO 14001, затем ежегодно проходит технический надзор за данной системой либо ресертификацию (*Ресертификация (recertification) – это аудит, который проводит сертифицирующая организация у компании-держателя сертификата для того, чтобы убедиться, что можно «обновить сертификат»* [26]). Таким образом, цикл замыкается, через какое-то время (от квартала до года) УП снова необходимо оценивать экологические риски и т.д. [27].

СЭМ способствует периодической оценке и анализу экологических характеристик УП, и как следствие – постоянному (непрерывному) улучшению.

Технический комитет ISO 207 разрабатывает стандарты серии ISO 14000, направленные на функционирование СЭМ организаций.

Обобщение стандартов серии ISO 14000, сделанное авторами на базе [25, 28, 29, 30], представлено в таблице 1.

Международные стандарты обеспечения СЭМ

№	Стандарты	Основные положения
1	2	3
1	ISO 14001: 2015	Устанавливает требования для СЭМ и, по мнению экспертов ISO/TC 207/SC 1, отвечает последним тенденциям, таким как увеличивающееся признание компаниями потребности учета внешних и внутренних факторов и их воздействий, влияющих на ОС, включая изменчивость климата
2	ISO 14004: 2016	«Системы экологического менеджмента – Руководящие указания по применению». Стандарт носит рекомендательный характер и применимы к любой организации, независимо от ее размера, типа, месторасположения и уровня зрелости. Содержит рекомендации по созданию, внедрению, функционированию и совершенствованию эффективной СЭМ и ее взаимодействию с другими системами менеджмента организации
3	ISO/CD 14005	«Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по поэтапному внедрению системы экологического менеджмента с использованием оценки экологической результативности», разработан взамен его предыдущей версии 2010 года
4	ISO/CD 14006	«Системы экологического менеджмента. Руководящие указания по включению экологических норм при проектировании». Его первая версия была опубликована в 2011 году
5	ISO 14010	Руководство по экологическому аудиту – Общие принципы экологического аудита
6	ISO 14011	Руководство по экологическому аудиту – Процедуры аудита – Аудит систем экологического менеджмента
7	ISO 14012	Руководство по экологическому аудиту – Критерии квалификации экологических аудиторов
8	ISO 14014	Руководство по определению "начального уровня" экологической эффективности предприятия. Должно использоваться перед созданием формальной системы экологического менеджмента Инструменты экологического контроля и оценки
9	ISO/CD 14016	«Экологический менеджмент – Руководство по обеспечению экологической отчетности»
10	ISO 14020 (Серия документов)	Принципы экологической маркировки продукции
11	ISO 14031	Руководство по оценке экологических показателей деятельности организации. Стандарты, ориентированные на продукцию
12	ISO 14040 (Серия документов)	Методология "оценки жизненного цикла" – оценки экологического воздействия, связанного с продукцией, на всех стадиях ее жизненного цикла
13	ISO 14046: 2014	Содержит принципы, требования и руководящие указания для подготовки экологической отчетности по оценке воздействий, которые влияют на качество воды

1	2	3
14	ISO 14050	Экологический менеджмент – Словарь. Стандарт определяет основные понятия, связанные с природоохранной деятельностью организаций, опубликованные в серии международных стандартов ISO 14000
15	ISO/FDIS 14055-1	«Environmental management — Guidelines for establishing good practices for combatting land degradation and desertification — Part 1: Good practices framework» («Экологический менеджмент - Руководящие указания по созданию передовой практики борьбы с деградацией земель и опустыниванием – Часть 1: Схемы передовой практики»).
16	ISO 14060	Руководство по учету экологических аспектов в стандартах на продукцию
17	ISO 14062	Экологический менеджмент. Интегрирование экологических аспектов в проектирование и разработку продукции
18	ISO 14063	Экологический менеджмент. Обмен экологической информацией. Рекомендации и примеры
19	ISO 14064	Измерение, количественное измерение и уменьшение выбросов парниковых газов
20	ISO/TR 073: 2017	«Экологический менеджмент – Водный след – Иллюстративные примеры применения ISO 14046»

Ключевым понятием серии ISO 14000 является понятие *системы экологического менеджмента* в организации (предприятии или компании). Поэтому центральным документом стандарта считается ISO 14001 – "Спецификации и руководство по использованию систем экологического менеджмента". В отличие от остальных документов, все его требования являются "аудируемыми" – предполагается, что соответствие или несоответствие им конкретной организации может быть установлено с высокой степенью определенности. Именно соответствие стандарту ISO 14001 и является предметом формальной сертификации. Все остальные документы рассматриваются как вспомогательные [29].

Стандарт ISO 14001 в Украине введен в действие с 15.05. 2006 г., как ДСТУ ISO 14001:2006, а 21.12.2015 был заменен на ДСТУ ISO 14001:2015, который действует с 01.07.2016. ДСТУ ISO 14001:2015 увеличивает обязательства по разработке экологической политики, формирует новый подход к защите ОС, основанный на предупреждающих действиях, а также усиливает роль высшего руководства.

Данный стандарт могут применять не только УП, но и все предприятия морской отрасли, которые ставят перед собой цель разработать и выполнять экологическую политику и задачи, учитывая правовые и другие требования.

Украина имеет уникальные возможности применения экологически чистых и безопасных решений в сегменте утилизации судов и создании УП на примере таких компаний как Van Oord, Napag, Lloyd, Samskip, Wallenius Wilhelmsen, Jan De Nul, Boskalis (*по данным Ship breaking Platform*), которые уже утилизируют суда с условиями, одобренными Евросоюзом.

Выводы

1. Без внедрения эффективной СЭМ, как составной части общей системы управления, эффективная работа УП невозможна. При этом, с учетом особенностей технологических процессов утилизации и мнения многих экспертов [31], оптимальной системой управления таким производством является проектно-ориентированное управление.

2. СЭМ поможет УП снизить производственные расходы, рационально использовать ресурсы и уменьшить издержки воздействия на ОС.

3. Вопросы учета экологических факторов при разработке и проектировании УП, при его функционировании, а так же при поисках новых подходов управления должны быть первостепенными.

4. Совершенствование и развитие природоохранного законодательства, ужесточение экологических требований, заинтересованность государства, инвесторов, мотивация руководства и персонала УП, индивидуальная и коллективная ответственность каждого – факторы влияния на ЭМ утилизационного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Резолюция А.962(23)**. Руководство ИМО по утилизации судов (Приложение). 2003. – 283 с.
2. **Platform** publishes list of ships dismantle...shipbreakingplatform.org (дата обращения 07.02.2020).
3. **Современные** методические принципы формирования системы экологического менеджмента на предприятиях Украины / Межрегиональная академия управления персоналом. Северодонецкий институт. <http://referatwork.ru/refs/source/ref-120665.html>. URL: masters.donntu.org > grishko > library > tez9 современные методические принципы формирования (дата обращения 25.01.2020)
4. **Пизинцали Л.В.**, Александровская Н.И., Кошарская Л.В. Предпосылки развития системы утилизации лома в Украине на примере железнодорожного и морского транспорта // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2014. №37. С. 157 – 162.
5. **Пизинцали Л.В.** Украина – проблемы утилизации судов // East European Scientific Journal. 2016. № 8. С. 100 – 104.
6. **Большаков О.П.** Перспективный анализ деятельности современного утилизационного предприятия: дис. канд. экон. наук: 08.00.12 / Саратов. 2013. 156 с. URL: <http://www.dissercat.com/content/perspektivnyi-analiz-deyatelnosti-sovremennogo-utilizatsionnogo-predpriyatiya> (дата обращения: 16.04.2018).
7. **Каховка С.В.**, Хорева С.А. Основные виды металлоотходов и источники их образования // Промышленная экология: сборник трудов Международной научно-технической конференции, 27-28 октября 2015 г. Минск: БНТУ. 2015. С. 327 – 332. (В. & Хорева, 2015).
8. **Love L.V.**, Hendrickson C.T., Conway-Schempf N.M. Municipal solid waste recycling issues // Journal of Environmental Engineering. 1999. V. 125, № 10. P. 944 – 949. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1999)125:10(944).
9. **Драницын С.Н.** Теоретические основы технической эксплуатации морского флота // Тр. ЦНИИМФ. 1979. Вып. 231. С. 14 – 81.
10. **Петрова Н.Е.** Совершенствование оценки технического состояния судна в целях повышения безопасности мореплавания//Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Мурманск. 2006. 185 с.
11. **Модели** оценки судов, активов морских предприятий и ресурсов океана: учеб. пособие // Морского государственного университета им адм. Г.Е. Невельского. – Владивосток. 2010. 357 с.
12. **Адонина О.В.**, Каменский В.В., Лабутин В.Н., Маттис А.Р., Репин А.А., Дружинин М.М. Совершенствование открытой геотехнологии в соответствии со стандартом ИСО 14000 / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: изд-во "Горная книга". Семинар №24. 2009. С. 372 – 376.
13. **Семенова С.А.** Эффективная система менеджмента качества как средство повышения конкурентоспособности отечественных предприятий / Российское предпринимательство. М.: изд-во «Креативная экономика». №2(2). 2009. С. 80 – 85.
14. **Славинский Д.А.**, Хорошавин А.В., Смирнова М.В. Анализ новых международных требований к системам экологического менеджмента в контексте российских условий /

Научный журнал НИУ ИТМО. СПб.: НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2015. №4. С.336 – 340.

15. **Орлова А.Ф.**, Гавловская Г.В. Организационно-методологического обеспечения экологического менеджмента как фактора устойчивого развития / Проблемы экономики и юридической практики. 2013. №3. С. 126 – 129.
16. **Кузнецова Ю.Ю.**, Филин И.В. Экологический менеджмент / Научный вестник МГТУ ГА. 2011. №166. С. 114 – 119.
17. **Фролова И.И.**, Архипова Т.В. Совершенствование экологического менеджмента на предприятии / Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. Изд-во Закрытое акционерное общество «Университетская книга», №1(19), 2017. С. 382 – 387.
18. **Михайличенко К.** Транспортна стратегія у національних інтересах України // Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2017. № 2 С. 82 – 94.
19. **Мультипликатор** судостроения: Как повлияет развитие ... URL: [cfts.org.ua > articles > multiplikator_sudostr...](http://cfts.org.ua/articles/multiplikator_sudostr...) (дата обращения 24.01.2020).
20. **Пизинцали Л.В.** Проектирование утилизационного предприятия на базе судоремонтного завода / Л.В. Пизинцали, Л.В. Кошарская// Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції «Управління проектами: стан та перспективи». – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 116 – 117.
21. **Современные** методические принципы ... URL: [masters.donntu.org > grishko > library > tez9](http://masters.donntu.org/grishko/library/tez9) (дата обращения 25.01.2020). Экологический менеджмент предприятия ecological ... URL: [irbis-nbuv.gov.ua > irbis_nbuv > cgiirbis_64](http://irbis-nbuv.gov.ua/irbis_nbuv/cgiirbis_64) (дата обращения 25.01.2020).
22. **Опыт** внедрения систем экологического менеджмента на ... URL: [eco.com.ua > content > orut-vnedreniya-sist...](http://eco.com.ua/content/orut-vnedreniya-sist...) (дата обращения 24.01.2020).
23. **Пизинцали Л.В.**, Шахов А.В. Экологический менеджмент предприятий по утилизации морских судов // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. 2016. Вип. 26. С. 50 – 59.
24. **Экологический** менеджмент предприятия. URL: [infomanagement.ru > lekciya > Ekologicheskii_...](http://infomanagement.ru/leksiya/Ekologicheskii_...) (дата обращения 24.01.2020).
25. **Единый** Стандарт.URL:1cert.ru: <https://1cert.ru/stati/resertifikatsiya-po-standartu-iso-9001> | 2017 (дата обращения 25.01.2020).
26. **Злепко С.М.**, Войнаренко М.П., Зинченко С.Г. (Україна, Вінниця). Опыт внедрения систем экологического менеджмента на предприятиях машиностроительной отрасли Украины / Збірник матеріалів II-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю / Промислова екологія. 2009. С. 1 – 4. URL: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0164_zb_m_2VZE.pdf (дата обращения 28.01.2020).
27. **Серия** стандартов ISO 14000 – интерсерт-Украина URL: [intercert.com.ua > articles > 67-iso-14000](http://intercert.com.ua/articles/67-iso-14000) (дата обращения 04. 02. 2020).
28. **ISO 14000** – международные стандарты в области систем ... URL: [www.derevo.info > content > detail](http://www.derevo.info/content/detail) (дата обращения 04. 02. 2020).
29. **Сертификация** ISO 14001 – Сертификация ISO 9001, ISO URL:[ukrenergosert.com.ua > sertifikacziya-iso-14...](http://ukrenergosert.com.ua/sertifikacziya-iso-14...)(дата обращения 04.02.2020).
30. **Волков, В.П.** Особенности формирования жизненного цикла на основе CALS-технологии / В.П. Волков, И.В. Грицук, В.Н. Павленко, Н.В. Володарец // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вып. 75. – 2016. – С. 151 – 157.

REFERENCES

1. **Rezolyucziya A.962(23).** Rukovodstvo IMO po utilizaczii sudov (Prilozhenie). [Resolution A.962 (23). IMO Guidelines for Ship Recycling] 2003. – 283 s.
2. **Platform** publishes list of ships dismantle...shipbreakingplatform.org (Accessed 07.02.2020).

3. **Sovremenny`e** metodicheskie principy` formirovaniya sistemy` e`kologicheskogo menedzhmenta na predpriyatiyakh Ukrainy` [Modern methodological principles for the formation of an environmental management system at Ukrainian enterprises] / Mezhhregional'naya akademiya upravleniya persanalom. Severodoneczkij institut. <http://referatwork.ru/refs/source/ref-120665.html>. URL: masters.donntu.org > grishko > library > tez9 sovremenny`e metodicheskie principy` formirovaniya (Accessed 25.01.2020)
4. **Pizinczali L.V.**, Aleksandrovskaya N.I., Kosharskaya L.V. Predposy`lki razvitiya sistemy` utilizaczii loma v Ukraine na primere zheleznodorozhnogo i morskogo transporta [Prerequisites for the development of a scrap recycling system in Ukraine by the example of rail and sea transport] // Sbornik nauchny`kh trudov DonIZhT. 2014. #37. S. 157 – 162.
5. **Pizinczali L.V.** Ukraina – problemy` utilizaczii sudov [Ukraine - ship recycling problems] // East European Scientific Journal. 2016. # 8. S. 100 – 104.
6. **Bo`shakov O.P.** Perspektivny`j analiz deyatel`nosti sovremennogo utilizacionnogo predpriyatiya [Prospective analysis of the activities of a modern recycling enterprise]: dis. kand. e`kon. nauk: 08.00.12 / Saratov. 2013. 156 s. URL: <http://www.dissercat.com/content/perspektivnyi-analiz-deyatelnosti-sovremennogo-utilizatsionnogo-predpriyatiya> (Accessed 16.04.2018).
7. **Kakhovka, S.V.**, Khoreva S.A. Osnovny`e vidy` metallootkhodov i istochniki ikh obrazovaniya [The main types of metal waste and sources of their formation] // Promy`shlennaya e`kologiya: sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnichekoj konferenczii, 27-28 oktyabrya 2015 g. Minsk: BNTU. 2015. S. 327 – 332. (V. & Khoreva, 2015).
8. **Love L.B.**, Hendrickson C.T., Conway-Schempf N.M. Municipal solid waste recycling issues // Journal of Environmental Engineering. 1999. V. 125, # 10. R. 944 – 949. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1999)125:10(944).
9. **Draniczyn S.N.** Teoreticheskie osnovy` tekhnicheskoy e`kspluataczii morskogo flota [Theoretical foundations of the technical operation of the navy] // Tr. CzNIIMF. 1979. Vy`p. 231. S. 14 – 81.
10. **Petrova N.E.** Sovershenstvovanie ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya sudna v czelyakh pov`sheniya bezopasnosti moreplavaniya [Improving the assessment of the technical condition of the vessel in order to improve the safety of navigation] //Dissertacziya na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk. Murmansk. 2006. 185 s.
11. **Modeli** ocenki sudov, aktivov morskikh predpriyatij i resursov okeana [Valuation models for ships, assets of marine enterprises and ocean resources]: ucheb. posobie // Morskogo gosudarstvennogo universiteta im adm. G.E. Nevel`skogo. – Vladivostok. 2010. 357 s.
12. **Adonina O.V.**, Kamenskij V.V., Labutin V.N., Mattis A.R., Repin A.A., Druzhinin M.M. Sovershenstvovanie otkry`toj geotekhnologii v sootvetstvii so standartom ISO 14000 [Improving open geotechnology in accordance with ISO 14000] / Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-tekhnichekoj zhurnal). M.: izd-vo "Gornaya kniga". Seminar #24. 2009. S. 372 – 376.
13. **Semenova S.A.** E`ffektivnaya sistema menedzhmenta kachestva kak sredstvo pov`sheniya konkurentosposobnosti otechestvenny`kh predpriyatij [An effective quality management system as a means of increasing the competitiveness of domestic enterprises] / Rossijskoe predprinimatel`stvo. M.: izd-vo «Kreativnaya e`konomika». #2(2). 2009. S. 80 – 85.
14. **Slavinskij D.A.**, Khoroshavin A.V., Smirnova M.V. Analiz novy`kh mezhdunarodny`kh trebovanij k sistemam e`kologicheskogo menedzhmenta v kontekste rossijskikh uslovij [Analysis of new international requirements for environmental management systems in the context of Russian conditions] / Nauchny`j zhurnal NIU ITMO. SPb.: NIU ITMO. Seriya «E`konomika i e`kologicheskij menedzhment». 2015. #4. S.336 – 340.
15. **Orlova A.F.**, Gavlovskaya G.V. Organizacionno-metodologicheskogo obespecheniya e`kologicheskogo menedzhmenta kak faktora ustojchivogo razvitiya [Organizational and methodological support of environmental management as a factor in sustainable development] / Problemy` e`konomiki i juridicheskoy praktiki. 2013. #3. S. 126 – 129.

16. **Kuzneczova Yu.Yu.,** Filin I.V. E`kologicheskij menedzhment [Environmental management] / Nauchny`j vestnik MGTU GA. 2011. #166. S. 114 – 119.
17. **Frolova I.I.,** Arkhipova T.V. Sovershenstvovanie e`kologicheskogo menedzhmenta na predpriyatii [Improving environmental management in the company] / Innovacziionnaya e`konomika: perspektivy` razvitiya i sovershenstvovaniya. Izd-vo Zakry`toe akcionerhoe obshhestvo «Universitetskaya kniga», #1(19), 2017. S. 382 – 387.
18. **Mikhajlichenko K.** Transportna strategi`ya u naczi`onal`nikh i`nteresakh Ukrayini [Transport strategy at the national interests of Ukraine] // Zovni`shnya torgi`vlya: ekonomika, fi`nansi, pravo. 2017. # 2 S. 82 – 94.
19. **Mul`tiplikator** sudostroeniya: Kak povliyaet razvitie ... [Shipbuilding multiplier: How development will affect ...] URL: [cfts.org.ua > articles > multiplikator_sudostr...](http://cfts.org.ua/articles/multiplikator_sudostr...) (Accessed 24.01.2020).
20. **Pizinczali L.V.** Proektirovanie utilizacziionnogo predpriyatiya na baze sudoremontnogo zavoda [Design of a recycling facility based on a shipyard] / L.V. Pizinczali, L.V. Kosharskaya// Materi`ali KhI` Mi`zhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferenczi`yi «Upravli`nnya proektami: stan ta perspektivi». – Mikolayiv: NUK, 2015. – S. 116 – 117.
21. **Sovremenny`e metodicheskie principy` ...** [Modern methodological principles...] URL: [masters.donntu.org > grishko > library > tez9](http://masters.donntu.org/grishko/library/tez9) (data obrashheniya 25.01.2020). E`kologicheskij menedzhment predpriyatiya ecological ... URL: [irbis-nbuv.gov.ua > irbis_nbuv > cgiirbis_64](http://irbis-nbuv.gov.ua/irbis_nbuv/cgiirbis_64) (Accessed 25.01.2020).
22. **Opy`t vnedreniya sistem e`kologicheskogo menedzhmenta na ...** [Experience in implementing environmental management systems in ...] URL: [eco.com.ua > content > opyt-vnedreniya-sist...](http://eco.com.ua/content/opyt-vnedreniya-sist...) (data obrashheniya 24.01.2020).
23. **Pizinczali L.V.,** Shakhov A.V. E`kologicheskij menedzhment predpriyatij po utilizacziimorskikh sudov [Экологический менеджмент предприятий по утилизации морских судов] // Zbi`rnik naukovikh prac` I`nstitutu geokhi`mi`yi navkolishn`ogo seredovishha. 2016. Vip. 26. S. 50 – 59.
24. **E`kologicheskij menedzhment predpriyatiya.** [Ecological Management of company] URL: [infomanagement.ru > lekcija > Ekologicheskii_...](http://infomanagement.ru/lekcija/Ekologicheskii...) (Accessed 24.01.2020).
25. **Ediny`j Standart.** [One Standard] URL: [1cert.ru: https://1cert.ru/stati/resertifikatsiya-postandartu-iso-9001|2017](https://1cert.ru/stati/resertifikatsiya-postandartu-iso-9001|2017) (Accessed 25.01.2020).
26. **Zlepko S.M.,** Vojnarenko M.P., Zinchenko S.G. (Ukrayina, Vi`nniczya). Opy`t vnedreniya sistem e`kologicheskogo menedzhmenta na predpriyatiyakh mashinostroitel`noj otrasli Ukrainy [Experience in implementing environmental management systems at enterprises in the engineering industry of Ukraine] / Zbi`rnik materi`ali v I`T-go Vseukrayins`kogo z'yizdu ekologiv z mi`zhnarodnoyu uchastyu / Promislova ekologiya. 2009. S. 1 – 4. URL: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/2vze/zb_m/0164_zb_m_2VZE.pdf (Accessed 28.01.2020).
27. **Seriya standartov ISO 14000 – intersert-Ukraina** [A series of standards ISO 14000 - Intersert-Ukraine] URL: [intercert.com.ua > articles > 67-iso-14000](http://intercert.com.ua/articles/67-iso-14000) (Accessed 04. 02. 2020).
28. **ISO 14000 – mezhdunarodny`e standarty` v oblasti sistem ...** [ISO 14000 - International System Standards ...] URL: [www.derevo.info > content > detail](http://www.derevo.info/content/detail) (Accessed 04. 02. 2020).
29. **Sertifikacziya ISO 14001 – Sertifikacziya ISO 9001, ISO** [ISO 14001 Certification - ISO 9001, ISO Certification] URL: [ukrenergosert.com.ua > sertifikacziya-iso-14...](http://ukrenergosert.com.ua/sertifikacziya-iso-14...) (Accessed 04.02.2020).
30. **Volkov, V.P.** Osobennosti formirovaniya zhiznennogo czikla na osnove CALS-tehnologii [Features of the formation of the life cycle based on CALS technology] / V.P. Volkov, I.V. Griczuk, V.N. Pavlenko, N.V. Volodarecz // Vestnik Khar`kovskogo naczi`onal`nogo avtomobil`no-dorozhnogo universiteta. – Vy`p. 75. – 2016. – S. 151 – 157.

Пизинцали Л.В., Александровская Н.И., Россомаха Е.И., Никифоров Ю.А., Шахов В.И., Рабочая Т.В.

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВА З УТИЛІЗАЦІЇ МОРСЬКИХ СУДЕН В УКРАЇНІ

Утилізація після закінчення терміну експлуатації суден і кораблів різних типів і призначення - актуальна і, одночасно, дуже складна і серйозна проблема не тільки в технологічному, економічному та правовому плані, але, і є серйозною екологічною проблемою.

Автори підкреслюють, що в прийнятій стратегії для розв'язання системних проблем не передбачені нові шляхи і ефективні методи відновлення і розвитку судноремонтних заводів України, і взагалі не згадується про проблеми великої кількості покинутих і затоплених суден, пристаней, доків, причалів в затоках, в гирлах річок і навіть в портах.

При ефективній системі державної підтримки суднобудування дасть поштовх для інших галузей (машинобудування, металургія і ін.).

В умовах функціонування системи екологічного управління виробнича діяльність на підприємстві з утилізації морських суден, на думку авторів, може бути представлена у вигляді різних видів екологічної діяльності (розробка, обґрунтування, аналіз, оцінки і т.д.), взаємопов'язаних між собою.

На думку авторів, один із шляхів реанімування суднобудівних і судноремонтних заводів, є перепрофілювання їх повністю або частково в утилізаційні підприємства. Вкладення будуть відносно мінімальні, так як, буде збережена технічна база, живий і працює науково-дослідний потенціал, здатний забезпечити заводи сучасними проектами і розробками, а також, не можна не відзначити вигідне географічне положення, і прекрасні кліматичні умови.

У статті показано значення, роль і вплив системи екологічного менеджменту на створення, і управління утилізаційного підприємства. Проведено узагальнення стандартів ISO 14000.

***Ключові слова:** утилізаційного підприємства, екологічний менеджмент, система екологічного менеджменту, навколишнє середовище, стандарти ISO 14000.*

Pizintsali L.V., Aleksandrovskaia N.I., Rossomakha E.I., Nikiforov Yu.A., Shakhov V.I., Rabochaya T.V.

PRINCIPLES OF FORMING THE SYSTEM OF ECOLOGICAL MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE FOR DISPOSAL OF MARINE VESSELS IN UKRAINE

Utilization of outdated ships and ships of various types and purposes is an urgent and, at the same time, very difficult and serious problem not only in technological, economic and legal terms, but also is a serious environmental problem.

The authors emphasize that the adopted strategy for unleashing systemic problems does not provide new ways and effective methods for the restoration and development of shipyards in Ukraine, and generally does not mention the problems of a large number of abandoned and flooded ships, marinas, docks, moorings in inlets, in river mouths and even in ports.

With an effective system of state support, shipbuilding will give an impetus to other sectors (engineering, metallurgy, etc.).

In the conditions of the functioning of the environmental management system, production activities at the shipboard recycling enterprise, according to the authors, can be represented in the form of various types of environmental activities (development, justification, analysis, assessment, etc.), interconnected).

According to the authors, one of the ways to reanimate shipbuilding and ship repair yards is to reorient them in whole or in part in a unitary enterprise. Investments will be relatively minimal, as the technical base will be preserved, the research and development potential alive and working, capable of providing the plants with modern projects and developments, and also, it is necessary to note the advantageous geographical position, and excellent climatic conditions.

The article shows the significance, role and influence of the environmental management system on the creation and management of a recycling enterprise. The generalization of ISO 14000 standards is carried out.

***Key words:** utilization enterprise, environmental management, environmental management system, environment, ISO 14000 standards.*

Грищенко Ю.В., Заліський М.Ю., Павлова С.В., Соломенцев О.В.

АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ ДАНИХ ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ НА КОМПЛЕКСНОМУ ТРЕНАЖЕРІ ЛІТАКА

У статті розглянуті питання підвищення якості підготовки екіпажів на комплексному тренажері літака Ан-148. Ці дослідження спрямовані на підвищення безпеки в особливих випадках польоту. Проблема людського фактора сьогодні є актуальною. На сучасних тренажерах відпрацьовуються дії в простих і складних умовах польоту. Проте всі дії під час одночасних відмов передбачити неможливо. Зазначені відмови також призводять до підвищеної напруженості людини-оператора. Сьогодні існує завдання навчити пілота не погіршити якість техніки пілотування в таких ситуаціях. Сучасні цифрові тренажери дають великі можливості для обробки статистичних даних. Тому на часі впровадження нових методів для автоматизації аналізу польотної інформації і отримання результатів за експериментальними даними. Зміни параметрів польоту мають випадковий характер, не зважаючи на прагнення пілота чітко слідувати по заданій траєкторії польоту. У результаті статистичної обробки даних кута крену за глісадою були визначені дві моделі опису імовірнісних законів розподілу цього важливого параметра польоту повітряного судна. Зокрема, під час польоту без відмов і з одиничними відмовами пропонується використовувати нормальний закон розподілу кута крену. Під час одночасних комплексних відмовах, коли їх кількість більше двох, пропонується використовувати узагальнений розподіл Вейбулла для флуктуацій кута крену. Ця модель зміни кута крену вказує на погіршення якості техніки пілотування через підвищення психофізіологічної напруженості роботи пілота повітряного судна. У статті виконано синтез двох алгоритмів виявлення факту підвищеної психофізіологічної напруженості пілота у випадку складних відмов. Перший алгоритм заснований на критерії Неймана-Пірсона, а другий – відповідає оптимальному Байєсівському критерію. У процесі синтезу алгоритмів виявлення використовувалося припущення про те, що в тренді кута крену у випадку складних відмов спостерігається гармонійна складова. Це дозволило спростити аналітичний вид алгоритмів обробки даних.

Ключові слова: детерміновані коливання, закон розподілу, якість техніки пілотування, випадковий процес, людський фактор.

Вступ. Сучасні повітряні судна (ПС) мають високу надійність авіоніки та інших систем. Авіаційні події носять малоімовірний характер. Автоматизація управління ПС розвантажує екіпаж від рутинних дій і звільняє час для прийняття рішень. У той же час у екіпажу відбувається підвищена психофізіологічна напруженість у разі переходу на управління під час збоїв (відмов) в системах авіоніки та іншому обладнанні.

Процес підготовки льотного складу в цивільній авіації включає в себе відпрацювання дій в особливих випадках польоту на комплексних тренажерах літака (КТЛ). Дуже важливо відпрацювати стійкий навик послідовності дій у таких ситуаціях. Однак, поєднання одночасної дії декількох відмов відпрацювати неможливо.

Раніше на КТЛ Ту-154 Б2 було встановлено, що у 70% пілотів без спеціальної підготовки відбувається збільшення амплітуди параметрів польоту повітряного судна (ЗАППС) внаслідок підвищення психофізіологічної напруженості пілота у випадку одночасних відмов авіаційного обладнання (від двох відмов і більше).

Для підготовки екіпажів сучасних ПС також необхідно навчання щодо адекватних дій у разі одночасного виникнення негативних факторів. Це моделюється комплексних збоями (відмовами) авіоніки на КТЛ. Для оцінки характеристик ергатичної системи управління повітряним судном доцільно застосовувати методи математичної статистики, теорії статистичних рішень і теорії ймовірностей.

Аналіз літератури та постановка задачі. Екіпажі необхідно навчити вмінню не погіршувати якість техніки пілотування у разі виникнення підвищеної психофізіологічної напруженості. Тому треба розробити методи оцінки характеристик ергатичної системи керування ПС у наслідок збоїв у системах авіоніки для об'єктивного визначення якості техніки пілотування в особливих випадках польоту.

Закони розподілу для опису можливих подій використовуються в різних галузях науки: в ергономії [1], теорії надійності технічних систем [2–6] тощо.

Імовірність виникнення ЗАППС пов'язана з відмовами і збоями в авіаційному обладнанні та авіоніці [7]. За законом розподілу параметра польоту можна оцінити характеристики ергатичної системи керування ПС. У роботах [8–9] викладено методи виділення детермінованих коливань у вигляді синусоїди від стаціонарного випадкового процесу.

У цілому аналіз публікацій в сфері обробки даних, отриманих під час польотів на комплексному тренажері КТЛ Ан-148, показує, що цьому напрямку приділяється недостатньо уваги. При цьому можна вважати, що є приховані резерви підвищення ефективності тренажерної підготовки пілотів, які необхідно системно реалізовувати.

У цій роботі на основі даних одного з важливих параметрів польоту на КТЛ Ан-148 (кута крену) вирішені деякі завдання обробки даних. Ці завдання відносяться до класу статистичної обробки даних. Для ілюстрації цього підходу на рис. 1 приведена реалізація кута крену під час польоту на КТЛ Ан-148. Частина цієї реалізації відповідає випадку, коли має місце кілька відмов в системі авіоніки повітряного судна (має місце «складна» відмова авіоніки повітряного судна). Інша частина реалізації характеризується наявністю «нескладної» відмови авіоніки. З рис. 1 видно, що характер тренда кута крену стохастичний. Причому, на перший погляд в першій частині реалізації проглядається модель випадкового процесу у вигляді адитивної суміші гармонійної складової і випадкових змін кута крену. Слід зазначити, що часто бувають приховані прояви підвищеної напруженості людини-оператора, які проявляються в переході від стаціонарного випадкового процесу в детерміновані коливання у вигляді синусоїди. Іноді це не супроводжується збільшенням амплітуди параметрів. Це загрожує тим, що при подальшому впливі інших негативних факторів значення амплітуди параметрів збільшується в рази.

Таким чином, можна розглядати задачу створення системи обробки даних для «польотів» на КТЛ Ан-148, яка має на меті оцінку якості техніки пілотування людиною-оператором в ергатичній системі керування повітряним судном. Це передбачає розробку ряду алгоритмів обробки даних і на їх основі відповідних методів для впровадження їх у програмне забезпечення тренажерів. У систему обробки даних доцільно включити алгоритми статистичної оцінки параметрів розподілів, статистичної перевірки гіпотез, прогнозування, фільтрації, спектрального і кореляційного аналізу тощо.

У цій статті вирішена задача вибору закону розподілу тренда кута крену і синтезу двох алгоритмів виявлення факту підвищеної психофізіологічної напруженості пілотів при їх підготовці на КТЛ Ан-148.

Рішення задачі. Виконаємо аналіз статистичних даних щодо результатів польоту. Розглянемо польоти з сумарною кількістю відмов n , коли $0 \leq n \leq 2$. В цьому випадку

аналізується політ без відмов і з заклинюванням лівого передкрилка. Вихідні дані для аналізу наведені в табл. 1.

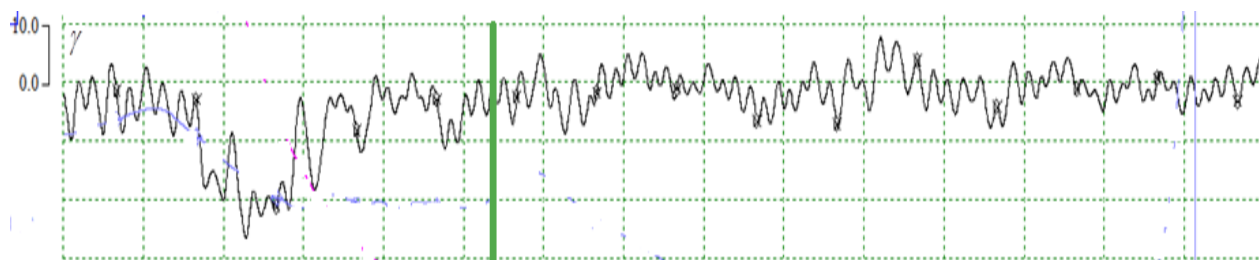


Рис. 1. «Політ» на КТЛ з відмовами першого і третього каналу електро-дистанційної системи керування і відсутністю управління лівим елероном та інтерцепторами на лівому напівкрилі, де γ – кут крену (град.)

Таблиця 1

Дані щодо флуктуації кута крену

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
γ_i	-9	5	-2	0.5	5	2	0.5	2	-4	-2	-5	1	-2	1	0	-2	-1	-3
i	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
γ_i	2.5	-	0	-2	0	-1	4	0	-8	-6	0	-2	4	1	-1	-4	-1	-6
		0.5																
i	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
γ_i	-3	2	5	-1	3	-4	-1	-6	-5	6	3	-3	-2	0.5	-3	-	-	0
																0.5	0.5	

У табл. 1 зроблені такі позначення: i – номер вимірювання, γ_i – результат i -го вимірювання.

Виконаємо попередній аналіз цих даних. Загальна кількість даних дорівнює 54, середнє значення становить -0.787 , дисперсія дорівнює 10.58 , стандартне відхилення становить 3.253 , коефіцієнт варіації дорівнює -4.133 .

Побудуємо гістограму розподілу кутів крену при заході на посадку пілотом між 3-ім і 4-им розворотами і після четвертого розвороту до посадки для семи інтервалів групування даних (рис. 2).

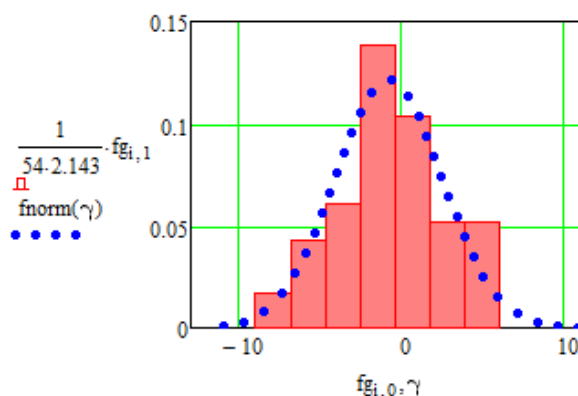


Рис. 2. Гістограма значень γ та її апроксимація нормальним законом розподілу

Перевіримо ступінь узгодженості теоретичного і статистичного розподілів, виходячи з гіпотези щодо нормального розподілу за допомогою критерію згоди χ^2 Пірсона. Теоретичні ймовірності розраховуємо за формулами

$$p_k = \int_{\text{int}_k}^{\text{int}_k + \text{step}} f(x) dx, \quad f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},$$

де int_k – границі інтервалів групування, step – ширина інтервалів групування, m – математичне сподівання, σ – стандартне відхилення.

Критерій згоди розраховуємо за формулою

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^M \frac{(n_k - Np_k)^2}{Np_k},$$

де n_k – частоти потрапляння вихідних даних в k -ий інтервал групування, M – число інтервалів групування, N – обсяг вибірки.

Для даних з табл. 1 отримано таке значення критерію згоди $\chi^2 = 2.478$.

Розрахунки показали, що статистичний розподіл кута крену γ не суперечить теоретичному нормальному розподілу з ймовірністю приблизно рівною 0.7 для числа ступенів свободи розподілу – 4. Раніше проведені дослідження вказують на те, що у разі такого розподілу ймовірностей погіршення якості техніки пілотування під час польоту без відмов не відбувається [7].

Розглянемо тепер польоти зі складними відмовами $n \geq 3$. При цьому маємо відмову другого (правого) двигуна і відмова другого і четвертого каналів електро-дистанційної системи керування (ЕДСК), а також відсутність управління правим елеронів. Для спрощення підбору теоретичного розподілу поміняємо знаки амплітуд кута крену Дані для аналізу наведено в табл. 2.

Виконаємо попередній аналіз цих даних. Загальна кількість даних дорівнює 136, середнє значення становить 3.57, дисперсія дорівнює 86.324, стандартне відхилення становить 9.291, ко-коефіцієнт варіації дорівнює 2.603.

Підберемо теоретичний розподіл для даних із табл. 2. Для цього використаємо нормальний та логарифмічно-нормальний розподіли, а також узагальнений розподіл Вейбулла. Гістограма розподілу та її апроксимація зазначеними законами розподілу наведені на рис. 3.

Виконаємо розрахунки критерію згоди χ^2 Пірсона для кожного із цих розподілів.

Для випадку нормального розподілу критерій згоди $\chi^2 = 13.86$. За допомогою відомих таблиць можна зробити висновок, що величина, яка має χ^2 розподіл з п'ятьма ступенями свободи перевершить дане значення 13.86 з ймовірністю менше ніж 0.02. Оскільки ця ймовірність досить мала, то гіпотезу про нормальний розподіл можна відкинути як неправдоподібну.

Таблиця 2

Дані щодо флуктуації кута крену

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
γ_i	32	15	25	15	18	13	14	8	17	7	24	-12	-3	-12	3	-4	10	4
i	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
γ_i	25	4	25	-10	23	0	33	17	20	9	14	-1	18	-1	4	-2	10	2
i	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
γ_i	3	-7	-12	-4	1	-7	10	-9	2	-10	10	-1	17	3	19	6	17	5
i	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
γ_i	20	10	18	3	5	-5	4	-4	5	-3	9	-2	3	5	3	-4	3	-3

i	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		
γ_i	7	13	2	4	-6	-1	-6	-3	-9	3	-1	7	0	11	6	5	9	3		
i	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108		
γ_i	4	-6	-4	-9	-6	-12	2	-3	-13.5	4	9	2	5	-2	0	-8	0	-5		
i	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126		
γ_i	-2	-5	3	0	5	4	7	0	13	6	13	-4	-3	-4	-2	-1	-3	0		
i	127		128		129		130		131		132		133		134		135		136	
γ_i	-3		-3		-2		3		2		3		-1		-3		0		-3	

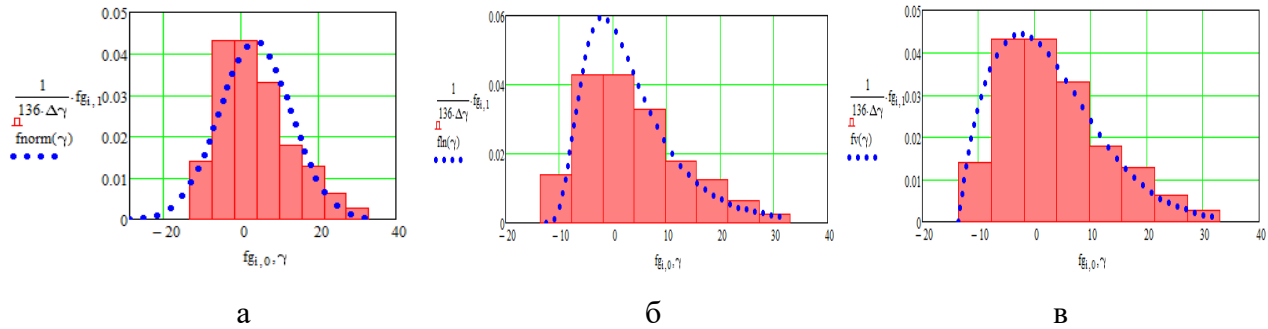


Рис. 3. Гістограма значень γ та її апроксимація нормальним (а), логарифмічно-нормальний (б) та узагальненим Вейбулівським (в) законами розподілу

Аналітичний вираз для логарифмічного нормального розподілу має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{(x-q)\sigma_1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-q)-m_1)^2}{2\sigma_1^2}},$$

де q – мінімальне вибіркоче значення, m_1 та σ_1 – параметри розподілу.

Для вихідних даних були отримані такі оцінки параметрів розподілу σ_1 і m_1 за умови, що параметр $q = -13.5$, статистична оцінка математичного сподівання $m = 3.57$, статистична оцінка середнього квадратичного відхилення $\sigma = 9.291$

$$\sigma_1 = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma^2 + (m-q)^2}{(m-q)^2}\right)} = 0.509, \quad m_1 = \ln(m-q) - 0.5\sigma^2 = 2.708.$$

Для випадку логарифмічно-нормального розподілу критерій згоди $\chi^2 = 15.835$. За допомогою відомих таблиць можна зробити висновок, що величина, яка має χ^2 розподіл з чотирма ступенями свободи перевершить дане значення 15.835 з ймовірністю менше ніж 0.01. Оскільки ця ймовірність досить мала, то гіпотезу про логарифмічно-нормальний розподіл можна відкинути як неправдоподібну.

У разі узагальненого розподілу Вейбулла попередньо була виконана оцінка його параметрів за методикою, наведеною в [10]:

1. Для вихідних даних розрахована оцінка коефіцієнта асиметрії за формулою

$$As = \frac{\frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2\right)^{3/2}},$$

де $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ – середнє вибіркоче значення, N – обсяг вибірки.

Для даних із табл. 2 отримаємо $As = 0.808$.

2. За отриманою оцінкою коефіцієнта асиметрії згідно з таблицею знаходимо оцінки:

– параметра форми $b = f(As) = 1.75$,

– значень коефіцієнтів $g_b = f(As) = 0.52$, $K_b = f(As) = 0.89$.

3. Визначаємо оцінку параметра масштабу за формулою

$$a = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}{g_b},$$

Для даних із табл. 2 отримаємо $a = 17.867$.

4. Визначаємо оцінку параметра зсуву за формулою

$$q' = \bar{x} - aK_b,$$

$$q = \begin{cases} q', & \text{if } q' \leq \min(X), \\ \min(X), & \text{if } q' > \min(X). \end{cases}$$

У цьому випадку отримаємо $q' = -12.322$, $\min(X) = -13.5$, тому $q = -13.5$.

Для випадку узагальненого розподілу Вейбулла критерій згоди $\chi^2 = 4.265$. За допомогою відомих таблиць можна зробити висновок, що величина, яка має χ^2 розподіл з чотирма ступенями свободи перевершить дане значення 4.265 з ймовірністю менше ніж 0.4. Оскільки ця ймовірність досить велика, то гіпотезу про узагальнений розподіл Вейбулла можна визнати такою, що не суперечить досліджуваним даним.

Слід зазначити, що проаналізовані відмови ускладнюють керування літаком. Це пов'язано з системою управління та впливом аеродинамічних сил. Однак при окремих польотах з такими ж відмовами і в поєднанні їх з іншими відмовами закон розподілу буде нормальним. Це говорить про підвищення психофізіологічної напруженості пілота і необхідності тренувальних польотів на КТЛ для навчання протидії ЗАППС. З рис. 1 видно, що на глісаді кут крену не перевищує 12 градусів у випадку $n \geq 3$, що з великим запасом відповідає нормі керівництва з льотної експлуатації. Однак при подальшому ускладненні польотного завдання крен збільшується до 33 градусів.

Виконаємо синтез алгоритмів виявлення наявності в трендах кута крену складових, що свідчать про складні відмови та можливі сильні ускладнення польоту ПС. Вважаємо, що є гіпотеза H_0 (немає ускладнень під час польоту ПС) і альтернатива H_1 (є ускладнення). У загальному випадку, для H_0 щільність розподілу ймовірностей кута крену є гауссівською, а при H_1 – ця щільність розподілу характеризується узагальненим розподілом Вейбулла. Для вирішення задачі виявлення в цьому випадку аналітика буде складною, тому зробимо наступне спрощення. На основі аналізу виду параметра кута крену на рис. 1 висуваємо припущення, що при складних відмовах маємо модель зміни кута крену у вигляді адитивної сукупності двох компонент: гауссівського шуму і гармонійного коливання.

Тоді ознакою наявності складних відмов є присутність в суміші синусоїдального сигналу.

Для перевірки якості виявлення виконаємо моделювання початкових сигналів.

На рис. 4 зображені результати моделювання гауссівського шуму з математичним сподіванням $m = -0.78$ та стандартним відхиленням $\sigma = 3$, для обсягу вибірки $N = 200$ та

адитивна суміш цього ж шуму з синусоїдальним коливанням $S_i = U \cdot \cos\left(2\frac{\pi}{T} \cdot i\right)$ з амплітудою $U = 5$ та періодом $T = 4$. Перший графік відповідає нормальній ситуації без відмов, а другий – польоту в складних умовах, в якому проявляється психофізіологічна напруженість людини-оператора.

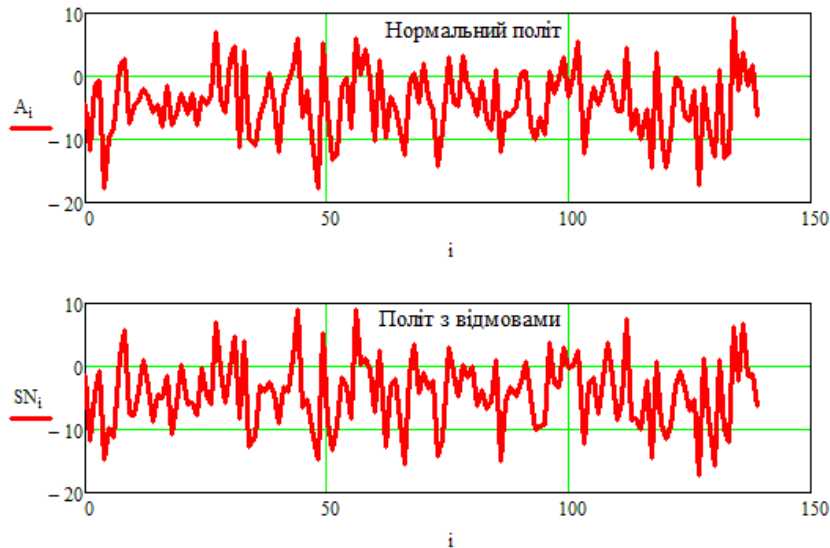


Рис. 4. Графіки моделювання нормального польоту та польоту з відмовами

Виконаємо синтез алгоритму виявлення сигналу математично. Для зроблених припущень задача виявлення зводиться до перевірки простої гіпотези H_0 , що реалізація вибірки описується багатовимірним гауссівським розподілом, проти простої альтернативи H_1 , що реалізація вибірки містить корисний синусоїдальний сигнал. При цьому вважаємо, що відліки вибірки є незалежними випадковими величинами. Тоді

$$f(x_1, x_2, \dots, x_N / H_0) = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^N} e^{-\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad f(x_1, x_2, \dots, x_N / H_1) = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^N} e^{-\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x} - S_i)^2}{2\sigma^2}},$$

де σ – стандартне відхилення, S_i – відомі відліки синусоїдального сигналу.

Параметри \bar{x} та σ вважаємо відомими. Вони можуть бути визначені за результатами спостереження за процесом в разі відсутності відмов.

Відношення правдоподібності визначається за формулою

$$l(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_N / H_1)}{f(x_1, x_2, \dots, x_N / H_0)}.$$

У результаті отримаємо

$$l(x_1, x_2, \dots, x_N) = e^{-\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x} - S_i)^2 + \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}.$$

Для спрощення математичних розрахунків будемо використовувати логарифм відношення правдоподібності, тоді

$$\ln l(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{\sum_{i=1}^N \left(-(x_i - \bar{x})^2 + 2S_i(x_i - \bar{x}) - S_i^2 + (x_i - \bar{x})^2 \right)}{2\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(2S_i(x_i - \bar{x}) - S_i^2 \right)}{2\sigma^2}.$$

У результаті отримаємо

$$\ln l(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i^2.$$

Згідно з критерієм Неймана-Пірсона вибір порога прийняття рішення V здійснюється на основі розв'язання наступного рівняння для випадку відсутності синусоїдального коливання в досліджуваній суміші:

$$\Pr\left(\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i^2 \geq V / H_0\right) = \alpha.$$

У цьому випадку поріг прийняття рішення був визначений шляхом статистичного моделювання на основі методу Монте-Карло. Для заданого обсягу вибірки та параметра $\alpha = 0.025$, а також параметрів виявлюваного синусоїдального коливання отримаємо $V \approx 0$.

У разі оптимального Байєсівського виявлювача поріг може бути визначений відповідно до такої процедури. Перепишемо вирішальну статистику у вигляді

$$\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) = \ln l(x_1, x_2, \dots, x_N) + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^N S_i^2.$$

Тоді

$$\sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) = \sigma^2 \ln \mu c + 0.5 \sum_{i=1}^N S_i^2.$$

де $\mu = \frac{q}{p}$, $c = \frac{C_{01} - C_{00}}{C_{10} - C_{11}}$, q та p – апіорні ймовірності гіпотези та альтернативи, C_{00} та C_{11} – витрати, пов'язані з правильними рішеннями, C_{01} та C_{10} – витрати, пов'язані з помилковими рішеннями (при цьому $C_{01} > C_{00} \geq 0$, $C_{10} > C_{11} \geq 0$).

Отже, маємо такий поріг прийняття рішення для оптимального Байєсівського виявлювача

$$V = \sigma^2 \ln \mu c + 0.5 \sum_{i=1}^N S_i^2,$$

а правило прийняття рішення: 1) прийняти H_0 , якщо $\sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) < V$; 2) прийняти H_1 , якщо

$$\sum_{i=1}^N S_i(x_i - \bar{x}) \geq V.$$

Розглянемо метод, що відповідає критерію Неймана-Пірсона. Якщо вирішальна статистика RS перевищує поріг, то в змішаних функціях є синусоїдальний сигнал. Проведемо розрахунки для результатів моделювання, наведених на рис. 4. У разі відсутності синусоїдального сигналу отримаємо значення

$$RS1 = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{2S_i \cdot (A_i - m) - (S_i)^2}{2 \cdot \sigma^2} = -130.782.$$

Розглянемо статистику з синусоїдальним сигналом, тоді функція RS перевищує поріг $V \approx 0$:

$$RS2 = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{2S_i \cdot (SN_i - m) - (S_i)^2}{2 \cdot \sigma^2} = 146.997.$$

Багатократне моделювання підтвердило ефективне виявлення синусоїдального сигналу для заданої заводової ситуації. Результати статистичного моделювання по методу Монте-Карло для 10000 процедур повторень показують, що цей алгоритм виявлення характеризується наступними ймовірностями помилкових рішень: $\alpha = 0.0263$ та $\beta = 0.0011$.

Розглянемо Бейєсівський оптимальний виявлювач з наступними апіорними даними: ймовірність позаштатної ситуації $p = 0.001$, а ймовірність особливого випадку в польоті $q = 0.999$; матриця витрат: $C_{00} = 0$ у. о., $C_{01} = 10$ у. о., $C_{10} = 100$ у. о., $C_{11} = 0$ у. о.

При цьому маємо такий поріг прийняття рішення

$$V_p = \sigma^2 \cdot \ln \left(\frac{q \cdot C_{01} - C_{00}}{p \cdot C_{10} - C_{11}} \right) + 0.5 \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (S_i) = 129.1.$$

Для результатів моделювання, наведених на рис. 4, при відсутності синусоїдального сигналу отримаємо значення вирішальної статистики $RS3 = \sum_{i=0}^N [S_i(A_i - m)] = 72.975$. Значення $RS3$ менше порога, тому приймаємо рішення, що синусоїдального сигналу немає, а наявний лише шум.

Розглянемо статистику з синусоїдальним сигналом. При цьому значення $RS4 = \sum_{i=0}^N [S_i(A_i - m)] = 257.3$ перевищує поріг, а отже, приймаємо рішення щодо позаштатної ситуації під час польоту.

Результати статистичного моделювання по методу Монте-Карло для 10000 процедур повторень показують, що даний алгоритм виявлення характеризується наступними ймовірностями помилкових рішень: $\alpha = 0.0012$ та $\beta = 0.0349$.

Розглянемо реальні дані кута крену "польоту" на КТЛ ($n \geq 3$) з повною відмовою ЕДСК (відмова всіх чотирьох каналів, тобто резервне управління без демпфування) і відмовою другого (правого) двигуна (табл. 3). Графік тренду зміни кута крену наведений на рис. 5.

Таблиця 3

Дані щодо флуктуації кута крену

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
γ_i	-5	-8	-11	-8	-4.5	-7	-10.5	-13	-15	-10.5	0.5	8	5	2
i	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
γ_i	5	7	3	-1.5	0	2	-2	-6	-5	2.5	-9	-15.5	-10	-3
i	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
γ_i	-9.5	-16	-5	6.5	-5.5	-1.5	-7	0	-6	-12.5	-21	-16	-10	-12.5
i	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
γ_i	-9.5	-5	-7	-9	-4.5	0	-5	-11	-5	0.5	-1	-2.5	-1	1
i	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
γ_i	-2.5	-6	-3	-1	-2	-3	-1	3.5	5	3.5	1.5	5	8	5
i	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
γ_i	2	3	1.5	-1	1.5	4	0	-3	-6.5	-0.5	6	3	-1.5	3
i	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
γ_i	6	0	-6	-3	0	-6	-10	-7	-2.5	-7.5	-11	-8	-4	-7
i	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
γ_i	-10.5	-7	-3.5	-7.5	-12	-10	-7	-8	-10	-7.5	-1.5	-4	-1	3
i	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126

γ_i	0	-2.5	-0.5	2	-0.5	-3	-1	1.5	-2	-5	-3	1.5	0	-3
i	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
γ_i	-0.5	3	0.5	1	0	-1.5	0.5	2	0	-2	-0.5	1.5	-0.5	-2.5

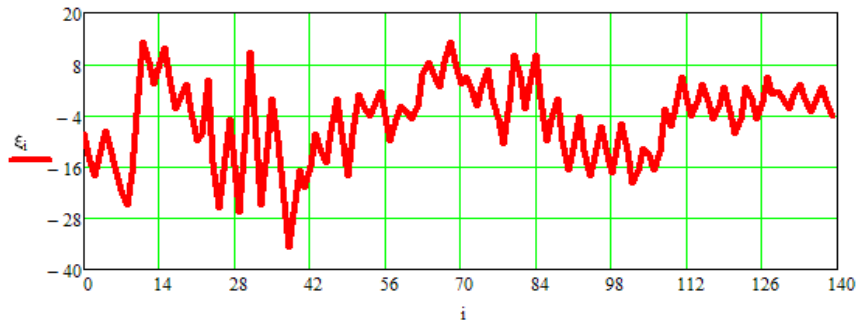


Рис. 5. Графік тренду кута крену від часу "польоту" на КТЛ з повною відмовою ЕДСК (відмова всіх чотирьох каналів, тобто резервне управління без демпфування) і відмовою другого (правого) двигуна

Вирішальна статистика для першого методу згідно з критерієм Неймана-Пірсона

$$RS = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{2S_i \cdot (\xi_i - m) - (S_i)^2}{2 \cdot \sigma^2} = 13.333.$$

Для другого методу згідно з Бейссівським підходом

$$V_p = \sigma^2 \cdot \ln \left(\frac{q}{p} \cdot \frac{C01 - C00}{C10 - C11} \right) + 0.5 \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (S_i) = 356.438.$$

$$RS = \sum_{i=0}^{N-1} [S_i (\zeta_i - m)] = 435.$$

Таким чином, два розглянутих алгоритми на основі критерію Неймана-Пірсона й оптимального Бейссівського критерію виявили наявність детермінованої синусоїдальної складової в цьому польоті на КТЛ. Для оцінки якості підготовки пілотів до особливих випадках польоту доцільно мати банк статистичних даних щодо результатів роботи розроблених алгоритмів. Порівнювати якість підготовки пілотів слід за результатами, які отримані при польоті на КТЛ з однаковим переліком відмов.

Висновки. Питання обробки даних для «польотів» на КТЛ є актуальною науковою задачею в плані вдосконалення методів і засобів підготовки льотного складу. Сучасні тренажери дозволяють відпрацьовувати дії пілотів як в простих умовах «польотів», так в складних при наявності більш ніж дві відмови. Аналіз трендів ряду параметрів «польотів» показує, що обробка даних повинна бути статистичною, оскільки реалізації параметрів «польотів» є в загальному випадку випадковими процесами.

В результаті проведених досліджень на тренажері КТЛ Ан-148 було встановлено, що без відмов або з поодинокими відмовами статистичний розподіл такого важливого параметра як кут крену не суперечить нормальному закону розподілу. При одночасній дії більше двох серйозних відмов статистичний розподіл кута крену не суперечить узагальненому розподілу Вейбулла. При таких «польотах» якість техніки пілотування погіршується, а рівень психофізіологічної напруженості пілота зростає. Найчастіше спостерігаються випадки, коли параметри польоту перевищують допустимі значення. Ці норми встановлені в керівництві з льотної експлуатації ПС даного типу.

Для автоматизації процесу виявлення фактів погіршення якості техніки пілотування у разі складних відмов були розроблені два алгоритму виявлення – на основі критерію Неймана-Пірсона та оптимального Бейссівського критерію. У процесі синтезу алгоритмів виявлення використовувалося припущення про те, що в тренді кута крену при складних відмовах

спостерігається гармонійна складова. Це дозволило спростити аналітичний вид обробки даних. Застосування цих алгоритмів дозволить своєчасно виявити похибки в якості техніки пілотування. На сьогоднішній день це відбувається тільки при виході за встановлені норми параметрів польоту. Необхідно створити базу даних результатів обробки польотів за допомогою розроблених алгоритмів. Для порівняльної оцінки рівня підготовки екіпажів необхідно мати уніфікований перелік комплексу відмов в системі управління «польотом» на КТЛ. Більш коректними є відмови, які не впливають на аеродинаміку літака і в разі збою в системах авіоніки з дублюючими приладами. Головним завданням такої підготовки є навчання адекватних дій екіпажу у разі їх підвищеної психофізіологічної напруженості в особливих випадках польоту.

В цілому, отримані в статті результати можна застосовувати під час вдосконалення програмного забезпечення КТЛ Ан-148 з метою автоматизації процесу прийняття рішень щодо рівня підготовки пілотів повітряних суден.

ЛІТЕРАТУРА

1. Березкина Л.В., Кляуззе В.П. Эргономика. – Минск, Вышэйшая школа, 2013, 432 с.
2. Стрельников В. П., Федухин А. В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К. : Логос, 2002. –487 с.
3. Strel'nikov V., "The Status and Prospects of Reliability Technology," RAC Journal, 2001, vol. 1. P. 1-4.
4. Lienkov S., Zhyrov G., Sieliukov O., Tolok I., Al-Sharifly Mushtag Talib, Pampuha I., "Calculation of reliability indicators of unmanned aerial vehicle class "μ" taking into account operating conditions at the design stage," IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, October 22-24, 2019, 2019 (Kyiv, Ukraine), Proceedings, pp. 52-56.
5. Hryshchenko Y.V., Romanenko V.G., Kravets I.V. "Dependability of avionics unmanned aerial vehicles," IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, October 22-24, 2019, 2019 (Kyiv, Ukraine), Proceedings, pp. 27-30.
6. Zaliskyi M. and Solomentsev O., "Method of sequential estimation of statistical distribution parameters," in IEEE 3rd International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October 14-17, 2014 (Kyiv, Ukraine), Proceedings, pp. 135–138.
7. Hryshchenko Y. V., "Analysis of changes in the dynamic stereotype of pilots during flight training on an integrated simulator of an airplane," Cybernetics and computing engineering, NAS of Ukraine, 2004, vol. 142, pp. 35-40. (in Russian).
8. Прокопенко І.Г. Статистична обробка сигналів: навч. посіб., Київ, НАУ, 2011, 220 с.
9. Prokopenko I.G., Migel S.V., Prokopenko K.I. Signal modeling for the efficient target detection tasks. International Radar Symposium, June 19-21, 2013, (Dresden, Germany), Proceedings, Vol. II, pp. 976-982.
10. ГОСТ 11.007-75. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла (Applied statistics. Point and interval estimators for parameters of Weibull distribution).

Hryshchenko Y.V., Zaliskyi M.Yu., Pavlova S.V., Solomentsev O.V.

DATA PROCESSING ALGORITHMS IN THE PROCESS OF PILOT PREPARATION ON THE COMPLEX AIRCRAFT SIMULATOR

The article discusses issues of improving the quality of crew training on the complex simulator of the An-148 aircraft. These studies are aimed at improving safety in special flight cases. The problem of the human factor is currently urgent. On modern simulators, actions are worked out in simple and difficult flight conditions. However, it is impossible to foresee all actions with simultaneous failures. Such failures also lead to increased stress of the human operator. The task is

to train pilots not to degrade the quality of piloting technology in such situations. Modern digital simulators provide great opportunities for statistical data processing. Therefore, the introduction of new methods for automating the analysis of flight information and obtaining results from experimental data is up-to-date. Changes in flight parameters are random in nature when the pilot wants to clearly follow the given flight path. As a result of statistical processing of the roll angle data on the glide path, two models for describing the probability distribution laws were determined. In particular, when flying without failures or with single failure, it is proposed to use the normal probability distribution of the roll angle. With simultaneous complex failures, when their number is more than two, it is proposed to use the generalized Weibull distribution of the roll angle. This model for the roll angle indicates a deterioration in the quality of the piloting technique due to an increase in the psychophysiological stress of the aircraft pilot. The synthesis of two algorithms for detecting the fact of increased psychophysiological stress of the pilot in case of complex failures. One algorithm is based on the Neyman-Pearson criterion, and the other corresponds to the optimal Bayesian criterion. During detection algorithms synthesis, the assumption about harmonic component presence in the observed roll angle trend with complex failures was used. This assumption allows to simplify the structure of data processing algorithms.

Key words: *deterministic signals, distribution law, piloting technique quality, random process, human factor.*

**Грищенко Ю.В., Залисский М.Ю., Павлова С.В., Соломенцев А.В.
АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПИЛОТОВ НА
КОМПЛЕКСНОМ ТРЕНАЖЕРЕ САМОЛЕТА**

В статье рассмотрены вопросы повышения качества подготовки экипажей на комплексном тренажере самолета Ан-148. Данные исследования направлены на повышение безопасности в особых случаях полета. Проблема человеческого фактора в настоящее время является актуальной. На современных тренажерах отрабатываются действия в простых и сложных условиях полета. Однако все действия при одновременных отказах предусмотреть невозможно. Такие отказы также приводят к повышенной напряженности человека-оператора. Стоит задача обучить пилотов не ухудшать качество техники пилотирования в таких ситуациях. Современные цифровые тренажеры дают большие возможности для обработки статистических данных. Поэтому актуально внедрение новых методов для автоматизации анализа полетной информации и получения результатов по экспериментальным данным. Изменения параметров полета носят случайный характер при стремлении пилота четко следовать по заданной траектории полета. В результате статистической обработки данных угла крена на глиссаде были определены две модели описания вероятностных законов распределения этого важного параметра полета воздушного судна. В частности, при "полете" без отказов и с единичными отказами предлагается использовать нормальное распределение вероятностей угла крена. При одновременных комплексных отказах, когда их количество больше двух, предлагается использовать обобщенное распределение Вейбулла флуктуаций угла крена. Данная модель изменения угла крена указывает на ухудшение качества техники пилотирования из-за повышения психофизиологической напряженности работы пилота воздушного судна. Выполнен синтез двух алгоритмов обнаружения факта повышенной психофизиологической напряженности пилота при «сложных» отказах. Один алгоритм основан на критерии Неймана-Пирсона, а другой соответствует оптимальному Байесовскому критерию. В процессе синтеза алгоритмов обнаружения использовалось допущение о том, что в тренде угла крена при «сложных» отказах наблюдается гармоническая составляющая. Это позволило упростить аналитический вид алгоритмов обработки данных.

Ключові слова: *детерминированные колебания, закон распределения, качество техники пилотирования, случайный процесс, человеческий фактор.*

Сущенко О.А., Безкорвайний Ю.М., Новицька Н.Д., Голицин В.О.

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО РЕГУЛЯТОРА БПЛА ДЛЯ ВИПАДКУ НЕОРТОГОНАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ

Статтю зосереджено на проблемах синтезу робастних систем управління, призначених для експлуатації на безпілотних літальних апаратах. Головною метою дослідження є розробка алгоритму синтезу робастного закону управління рухом безпілотного літального апарата за умови використання неортогонального вимірювача, що являє собою надмірну конфігурацію гіроскопічних датчиків, побудованих на технологіях мікроелектромеханічних систем. Розробку регулятора було виконано на основі робастного структурного синтезу. Для досягнення поставленої мети було розроблено модель поздовжнього руху безпілотного літального апарата. Матриці стану, управління та спостереження цієї моделі було визначено за допомогою технології Aerosim засобами системи MatLab.

Для розв'язання поставленої проблеми було використано методи теорії управління польотом у частині створення моделі поздовжнього руху безпілотного літального апарата; методи побудовання надмірних неортогональних конфігурацій інерціальних датчиків рухомих об'єктів; методи сучасної теорії управління у частині створення алгоритмів робастного структурного синтезу та методи математичного моделювання.

У статті представлено результати моделювання синтезованої системи у вигляді перехідних процесів для вхідних ступінчатих та імпульсних впливів. Наведені графічні залежності демонструють високу якість процесів управління в умовах дії збурюючих впливів. Отримані результати можуть бути корисними для рухомих об'єктів широкого класу, на яких використовуються надмірні вимірювальні системи, але найбільш доцільно їх використання в проблематиці управління безпілотними літальними апаратами.

Ключові слова: система управління, неортогональний прилад, інерціальний датчик, надмірність, робастний регулятор

Вступ. У наш час використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є одним із сучасних напрямів розвитку авіації. Найбільш важливими застосуваннями БПЛА є повітряні зйомки, моніторинг параметрів оточуючого середовища у важкодоступних місцевостях та ін. Функціонування БПЛА здійснюється в складних умовах, що супроводжуються дією параметричних та координатних збурень. Забезпечення високої точності вищезгаданих процесів спостереження може бути здійснено за допомогою робастного управління рухом БПЛА. Зазвичай вимірювання навігаційної інформації на борту БПЛА здійснюється за допомогою таких інерціальних датчиків як акселерометри та гіроскопічні пристрої, побудовані на основі мікроелектромеханічних (МЕМС) технологій. Такий підхід забезпечує низьку вартість, малі розміри та низьке енергоспоживання інерціальної вимірювальної системи. У той же час залишається актуальною проблема підвищення точності та надійності вимірювань з огляду на показники точності існуючих інерціальних МЕМС-вимірювачів. Для підвищення точності системи вимірювання навігаційної інформації на борту БПЛА можливе використання структурної надмірності первинних навігаційних вимірювачів на основі неортогональної орієнтації їх осей чутливості [1].

Існує декілька підходів до реалізації структурної надмірності інерціальних навігаційних датчиків. Перший підхід полягає у застосуванні власне надмірних вимірювачів. Але в цьому випадку зростають обчислювальні ресурси, необхідні для оброблення навігаційної інформації. Інакше кажучи, необхідно використовувати процесор високої потужності, що

ускладнює архітектуру та підвищує вартість навігаційної системи у цілому. Другий підхід полягає у використанні надмірних окремих складових навігаційних вимірювачів. При цьому вимоги до обчислювальної потужності та пропускну здатності інформаційних каналів значно зменшуються. Отже переваги другого підходу до реалізації структурної надмірності є очевидними [2].

Постановка проблеми Узагальнену структуру навігаційної системи БПЛА із використанням надмірності представлено на рис. 1.

Використання неортогональних надмірних конфігурацій інерціальних вимірювачів навігаційної інформації, заснованих на МЕМС-датчиках, має деякі переваги. По-перше, такі конфігурації забезпечують зменшення зміщення нуля. Слід зазначити, що наявність зміщення нуля є однією з важливих проблем експлуатації сучасних МЕМС-датчиків. Отже, використання неортогональних надмірних конфігурацій підвищує точність вимірювань навігаційної інформації. По-друге, значно підвищується надійність вимірювань завдяки надмірності. По-третє, у такій конфігурації забезпечується можливість розміщення більшої кількості датчиків у межах конструктивного блоку з тими самими розмірами. Ця перевага є корисною навіть за умов мініатюризації сучасних інерціальних датчиків. Додатковою перевагою є можливість підвищення відмовостійкості навігаційних систем.

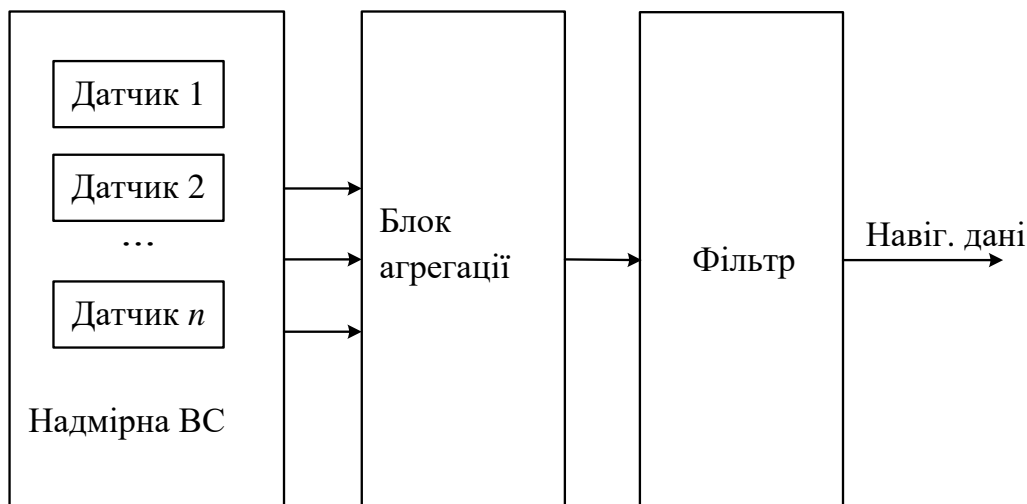


Рис. 1. Структурна схема надмірної навігаційної системи ВС – вимірювальна система.

Постановка проблеми потребує розв’язання декількох взаємопов’язаних задач. Перша задача полягає у виборі неортогональної надмірної конфігурації інерціальних вимірювачів та розробці алгоритму агрегації. Головною метою розробки алгоритму агрегації є перетворення інформації, що надходить від надмірних МЕМС-вимірювачів, у проекції кінематичних параметрів (прискорень, кутових швидкостей) на осі навігаційної системи координат. Друга задача полягає у проектуванні робастного регулятора. У цьому випадку може бути застосований H_∞ -синтез, який являє собою метод робастного структурного синтезу. Структурна схема управління рухом БПЛА показана на рис. 2.

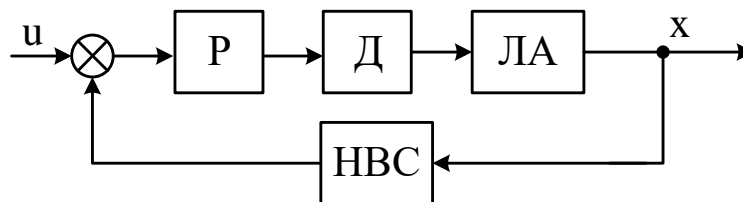


Рис. 2. Структурна схема управління рухом: Р – регулятор; Д – двигун; НВС – надмірна вимірювальна система.

Вибір неортогональних конфігурацій інерціальних датчиків. Вибір конфігурації інерціальних датчиків зумовлено умовами роботи БПЛА.

Різні типи неортогональних конфігурацій на основі МЕМС-вимірювачів представлено у праці [3]. З метою спрощення процесу проектування робастної системи доцільно розглядати неортогональні конфігурації, засновані на одноосних датчиках. Відомо, що в основу неортогональної конфігурації може бути покладено таку геометричну фігуру як конус [4]. Осі чутливості поодиноких датчиків можуть бути розташовані уздовж утворюючих конуса та осі його симетрії.

Результати порівняльного аналізу точності різних неортогональних конфігурацій одноосних інерціальних датчиків представлено у табл. 1 [5]. Вона містить дані про значення сліду кореляційної матриці похибок для різних неортогональних конфігурацій та різних ситуацій відмов датчиків.

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу точності неортогональних конфігурацій інерціальних датчиків

№	Тип конфігурації	Слід кореляційної матриці похибок		
		без відмов	2 відмови	3 відмови
1	5 датчиків уздовж утворюючих конуса	2,21	3,20	3,92
2	6 датчиків уздовж утворюючих конуса	1,79	2,13	4,50
3	4 датчика уздовж утворюючих конуса та 1 уздовж осі симетрії	1,93	3,15	5,00
4	5 датчиків уздовж утворюючих конуса та 1 уздовж осі симетрії	1,70	2,18	3,35

Відповідно до даних, наведених у табл. 1, найкращим варіантом є четвертий.

Математична модель БПЛА. Представлена проблема може бути розв'язана на прикладі БПЛА «Аерозонд», який являє собою малий БПЛА, призначений для спостереження погодних умов, включаючи температуру, атмосферний тиск, вологість та вплив вітру над океаном та віддаленими територіями [6]. Лінеаризована модель аерозонду як об'єкта управління може бути представлена у просторі станів

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \\ \mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \end{cases} \quad (1)$$

Динаміка поздовжнього руху аерозонду може бути описана вектором стану [6, 7]

$$\mathbf{x} = [v, w, q, \theta, h, \Omega]^T,$$

де v, w – горизонтальна та вертикальна складові повітряної швидкості; q – кутова швидкість тангажу; θ – кут тангажу; h – висота польоту; Ω – швидкість двигуна. Управління поздовжнім рухом здійснюється за допомогою керма висоти та управління тягою двигунів.

Отже, вектор управління виглядає як

$$\mathbf{u} = [\delta_e, \delta_{th}]^T,$$

де δ_e, δ_{th} – відхилення керма висоти та керма управління тягою двигуна.

Вектор вихідних сигналів може бути представлений у вигляді

$$\mathbf{y} = [V_a, \alpha, q, \theta, h],$$

де V_a – істинна повітряна швидкість, α – кут атаки.

Отже, лінеаризовані рівняння поздовжнього руху є такими

$$\begin{cases} \dot{v} = Y_v v + Y_w w + Y_q q + Y_\theta \theta + Y_h h + Y_\Omega \Omega + Y_{\delta_e} \delta_e + Y_{\delta_{th}} \delta_{th}; \\ \dot{w} = Z_v v + Z_w w + Z_q q + Z_\theta \theta + Z_h h + Z_\Omega \Omega + Z_{\delta_e} \delta_e + Z_{\delta_{th}} \delta_{th}; \\ \dot{q} = M_v^y v + M_w^y w + M_q^y q + M_\theta^y \theta + M_h^y h + M_\Omega^y \Omega + M_{\delta_e}^y \delta_e + M_{\delta_{th}}^y \delta_{th}; \\ \dot{\theta} = H_{\omega_y}^{-1} q; \\ \dot{h} = \theta + H_v v + H_w w; \\ \dot{\Omega} = h + T_v v + T_w w + T_{\delta_{th}} \delta_{th}. \end{cases} \quad (2)$$

Неортогональність інерціального вимірювача у рівняннях (6) враховується за допомогою матриці перетворень навігаційної інформації $H_{\omega_y}^{-1}$.

Беручи до уваги вираз (2), матриці \mathbf{A} і \mathbf{B} моделі у просторі станів (1) можуть бути представлені у такому вигляді

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_w & Y_q & Y_\theta & Y_h & Y_\Omega \\ Z_v & Z_w & Z_q & Z_\theta & Z_h & Z_\Omega \\ M_v & M_w & M_q & M_\theta & M_h & M_\Omega \\ 0 & 0 & H_{\omega_y}^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ H_v & H_w & 0 & 1 & 0 & 0 \\ T_v & T_w & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} Y_{\delta_e} & Y_{\delta_{th}} \\ Z_{\delta_e} & Z_{\delta_{th}} \\ M_y & M_y \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & T_{\delta_{th}} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Елементи матриці \mathbf{A} (3) визначаються аеродинамікою БПЛА та конструкцією двигуна. У виразах (3) матрицю \mathbf{B} представлено для загального випадку, коли існує два управління [7, 8].

Синтез робастного управління потребує використання моделей у просторі станів (1). Для вищезгаданого БПЛА матриці моделі у просторі станів можуть бути отримані за допомогою пакета AeroSim обчислювальної системи MatLab [9]. Отже, матриці стану, управління та спостереження у числовому вигляді набувають вигляду

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -0.1956 & 0.7253 & -1.9446 & -9.7757 & -0.0001 & 0.0099 \\ -0.6170 & -3.6757 & 19.4157 & -0.9719 & 0.001 & 0 \\ 0.5233 & -3.7373 & -3.8346 & 0 & 0 & -0.0068 \\ 0 & 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0989 & -0.9951 & 0 & 19.9998 & 0 & 0 \\ 26.2099 & 2.6058 & 0 & 0 & -0.0118 & -2.0073 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -0.9669 & 2.4680 \\ -77.6673 & 1.3287 \\ -3.0995 & -14.1149 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \tilde{\mathbf{N}} = \begin{bmatrix} 0.05 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Рівняння бічного руху можуть бути отримані в аналогічний спосіб [10, 11].

Робастний структурний синтез. H_∞ -синтез є потужний інструмент проектування систем управління із зворотним зв'язком на основі визначення частотних характеристик як функцій сингулярних чисел. Відомий підхід до проектування робастних систем, коли умова робастної стійкості формується у термінах норм, обмежених ваговими передатними функціями. Цей підхід реалізовано у таких автоматизованих засобах оптимального проектування як Robust Control Toolbox [12].

Результати моделювання синтезованої системи для каналу поздовжнього руху представлені на рис. 3, 4.

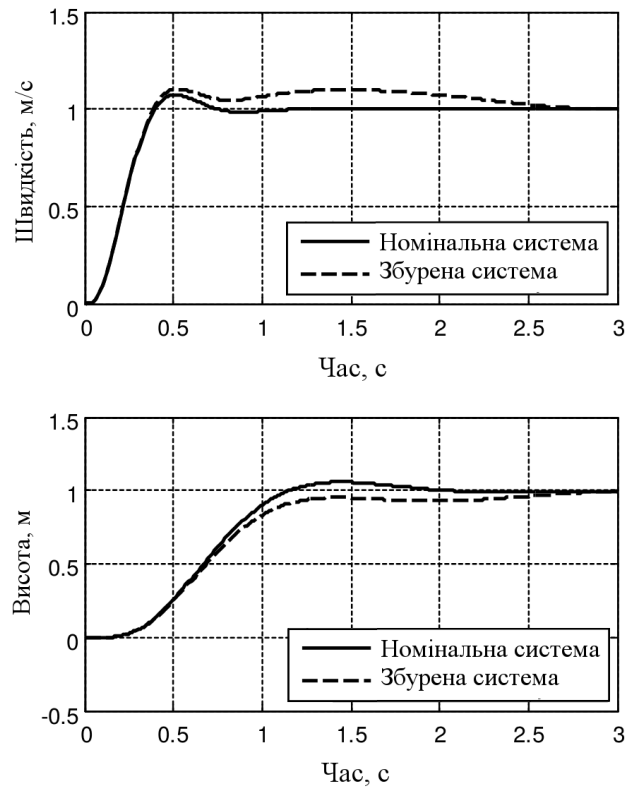


Рис. 3. Результати моделювання синтезованої системи для вхідного ступінчастого впливу.

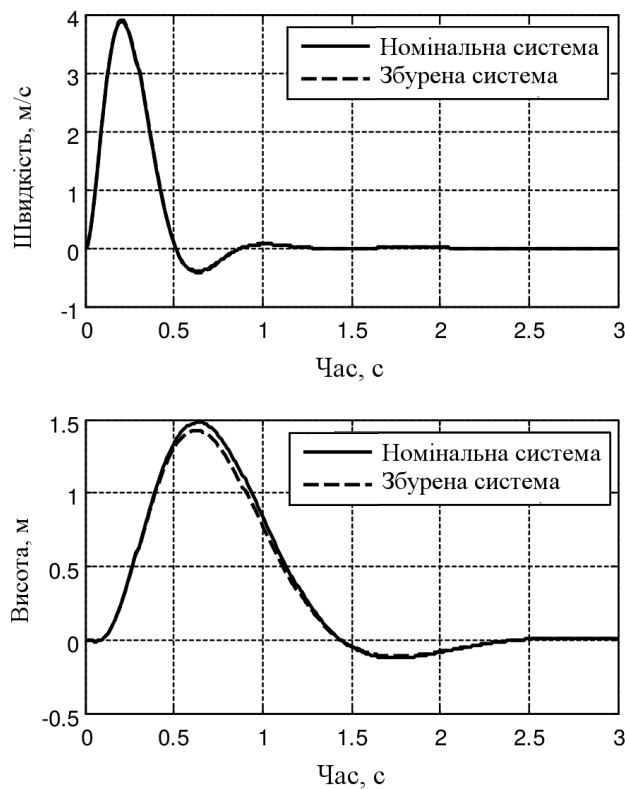


Рис. 4. Результати моделювання синтезованої системи для вхідного імпульсного впливу.

Вважається, що синтезована система складається з об'єкта управління і регулятора, що описуються матричним передатним функціями $\mathbf{G}(s)$, $\mathbf{K}(s)$ відповідно. Узагальнений об'єкт управління є системою з двома входами та двома виходами. Вектор \mathbf{w} є зовнішній вхід, який у загальному випадку складається із збурень, вимірювальних шумів та командних сигналів. Вхідний вектор \mathbf{u} представляє собою сигнали управління. Вихідний вектор \mathbf{z} визначає якість процесів управління. Наприклад, він може бути охарактеризований похибкою відстеження командного сигналу, яка дорівнює нулю в ідеальному випадку. Вихідний вектор \mathbf{y} представляє собою вектор спостережуваних сигналів, які використовуються для організації зворотних зв'язків. Передатна функція від входу \mathbf{w} до виходу \mathbf{z} позначається як \mathbf{W}_w^z . Отже, головною задачею H_∞ - синтезу є вибір такого контролера $\mathbf{K}(s)$, який мінімізує норму $\|\mathbf{W}_w^z\|_\infty$. Реалізація H_∞ -синтезу базується на розв'язанні рівнянь Ріккати з урахуванням виконання деяких обмежень [12]. Одним із методів, що використовується під час H_∞ -синтезу, є метод змішаної чутливості, для якого критерій оптимізації H_∞ - синтезу є таким [12]

$$J(\mathbf{G}, \mathbf{K}) = \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1(\mathbf{I} + \mathbf{G}\mathbf{K})^{-1} \\ \mathbf{W}_2\mathbf{K}(\mathbf{I} + \mathbf{G}\mathbf{K})^{-1} \\ \mathbf{W}_3\mathbf{G}\mathbf{K}(\mathbf{I} + \mathbf{G}\mathbf{K})^{-1} \end{bmatrix} \right\|_\infty, \quad (5)$$

тут $\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \mathbf{W}_3$ – вагові передатні функції чутливості системи, функції чутливості за управлінням та комплементарної функції чутливості системи [12].

Постановка задачі оптимізації з урахуванням виразу (5) набуває вигляду

$$\mathbf{K}_{\text{опт}} = \arg \inf_{\mathbf{K}_{\text{опт}} \in \mathbf{K}_{\text{доп}}} J(\mathbf{G}, \mathbf{K}).$$

Результати моделювання підтверджують робастну стійкість системи.

Висновки. Здійснено вибір неортогональної конфігурації на основі характеристик кореляційної матриці похибок.

Отримано математичну модель каналу поздовжнього руху БПЛА з урахуванням надмірності вимірювальної системи на основі одноосних інерціальних датчиків.

Виконано проектування робастної системи управління на основі H_∞ -синтезу.

Поєднання надмірності навігаційної інформації та робастного контролера забезпечує покращання якості функціонування БПЛА в складних умовах реальної експлуатації.

Отримані результати можуть бути корисними для літальних апаратів іншого типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cheng J., Dong J., Landry R.J., Chen D.A. Novel optimal configuration form redundant MEMS inertial sensors based on the orthogonal rotation method. *Sensors*, 2014, vol. 14(8), pp. 13661-13678.
2. Nilsson J.O., Skog I., Handel P. An open-source multi inertial measurement unit (MIMU) platform. *Inertial Sensors and Systems*
3. Sushchenko O. A., Bezkorovainyi Y. N., Novytska N. D. Nonorthogonal redundant configurations of inertial sensors, 2017 IEEE 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD).
4. Епифанов А.Д. Избыточные системы управления летательными аппаратами. Москва: Машиностроение, 1978. 178 с.

- 5 Sushchenko O. A., Bezkorovainyi Y. N., Novytska N. D. Theoretical and Experimental Assessments of Accuracy of Nonorthogonal MEMS Sensor Arrays / EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies , no. 3, pp. 78-87.
- 6 Holland G.J., Webster P.J., Curry J.A. et al. The aerosonde robotic aircraft: a new paradigm for environmental observations, Bulletin of the American meteorological society, vol. 82, no. 5, 2001, pp.889-901.
- 7 D. McLean. Automatic Flight Control Systems. Prentice Hall, Inc., 1990, 593 p.
- 8 Jeromel J.C., Peres P.L., Souza S.R. Convex Analysis of Output Feedback Control Problems: Robust Stability and Performance, IEEE Trans, on Automatic Control. -1996. - Jul. - Vol. 41, № 7. - P. 903-1003.
- 9 AeroSim – Aerospace Technology. Mode of direct access: AeroSimwww.aerospace-technology.com/contractors/training/aerosim/
- 10 Tunik A.A., Kim J.C., Yoo C.S. The Parameter Optimization of Aircraft’s Control Law from the Viewpoint of Some Airworthiness Requirements // Proceedings of the 12th Korea Automatic Control Conf. “97 KACC”. ICASE Publ. - Seoul. -1997. - P. 1651-1654.
- 11 Stevens Brian L. Aircraft Control and Simulation / Brian L. Stevens, Frank F., Lewis.– [2nd ed.]. – John Wiley & Sons Inc., 2003. – 665 p.
- 12 Skogestad S. Multivariable Feedback Control / Skogestad S., Postlethwaite I. – New York: John Wiley, 1997. – 559 p.

Sushchenko O.A., Bezkorovainii Yu.M., Novytska N.D., Golytsin V.O.

SYNTHESIS OF A UNIVERSAL UAV REGULATOR FOR A VIRTUAL NON-ORTHOGONALLY CONFIGURATIVE INERCIAL SENSORS

The article is focused on the problems of the synthesis of robust control systems designed for operation on unmanned aerial vehicles. The main goal of the research is to develop an algorithm for synthesizing the robust law of unmanned aerial vehicle movement using a non-orthogonal measuring instrument, which represents the redundant configuration of gyroscopic sensors based on the technology of microelectromechanical systems. The development of the controller was carried out on the basis of robust structural synthesis. To achieve this goal, a model of the longitudinal movement of an unmanned aerial vehicle was developed. The state, control, and observation matrices of this model were determined using Aerosim technology using the MatLab system.

To solve this problem, methods of the theory of flight control were used in terms of creating a model of the longitudinal movement of the unmanned aerial vehicle; methods for constructing redundant non-orthogonal configurations of inertial sensors of moving vehicles; methods of modern control theory regarding the creation of robust structural synthesis algorithms, and methods of mathematical modeling.

The article presents the results of modeling a synthesized system in the form of transient processes for step and impulse inputs. The given graphical dependences demonstrate a high quality of control processes under the action of disturbing influences. The results can be useful for moving vehicles of a wide class, which use redundant measuring systems, but it is the most appropriate to use them in the problems of controlling unmanned aerial vehicles.

Key words: control system, nonorthogonal device, inertial sensor, redundancy, robust controller.

Ткаченко К.О.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто проблематику моделювання транспортних систем на прикладі національної системи морського та річкового транспорту. Проаналізовано деякі загальні аспекти, етапи та принципи моделювання транспортних систем. Визначаються основні вимоги до моделювання транспортних систем для вирішення проблем функціонування, розвитку і вдосконалення як національної системи морського та річкового транспорту, так і окремих її компонентів. Шляхом вирішення проблем автором обрано ситуаційно-продукційне моделювання системи на основі онтологічного підходу (аналізу та відповідної класифікації елементів такої моделі).

Ситуаційно-продукційне моделювання системи морського та річкового транспорту сприятиме збільшенню ступеня повноти і достовірності оцінки стану системи та прогнозуванню стану систему завдяки врахуванню різних факторів, що впливають на різні рівні та компоненти системи.

Проведено аналіз підходів до моделювання транспортних систем. Зроблено висновки, що для оптимізації прийняття відповідних управлінських рішень щодо розвитку та вдосконаленню національної системи морського та річкового транспорту доцільно використовувати відповідну багаторівневу модель.

Розглянувши різні аспекти моделювання системи морського та річкового транспорту, можна зробити висновок, що запропонована багаторівнева ситуаційно-продукційна модель системи сприяє аналізу та прогнозуванню її станів.

Для забезпечення ефективної роботи компонентів системи слід, зокрема, приділяти увагу стратегічному плануванню функціонування системи морського та річкового транспорту на основі відповідних моделей, зокрема й на запропонованій ситуаційно-продукційній багаторівневій моделі, визначати кількість підприємств системи різних рівнів та їх спеціалізацій відповідно до вимог ринку транспортних, логістичних та інших послуг, що надаються підприємствами системи.

***Ключові слова:** транспортна система, система морського та річкового транспорту, моделювання, багаторівнева модель, ситуаційно-продукційна модель.*

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до моделювання транспортних систем, до яких належить, зокрема система морського та річкового транспорту (СМРТ), аналіз деяких аспектів моделювання СМРТ надають можливість обґрунтування багаторівневої моделі СМРТ (на прикладі роботи систем логістики на водному транспорті). Існуючі підходи до моделювання складних логістичних систем обумовили актуальність проблем моделювання процесів підготовки відповідних транспортних засобів, складських приміщень, маршрутів, кадрів, що є конкурентоспроможними на внутрішньому та світовому ринках. Ці проблеми є наслідком відсутності відповідних дій щодо національної СМРТ. Все більш актуальним стає прийняття управлінських рішень на основі відповідних моделей СМРТ. Тому проблема моделювання складної системи, якою є СМРТ, визначення технології прийняття рішень щодо вдосконаленню цієї системи на основі відповідної моделі, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Національна СМРТ потребує при її моделюванні врахування багатьох факторів впливу. Теоретичні основи моделювання систем розглядалися такими вченими, як Кулініч А.А., Максимов В.І., Костенко К.І., Денисенко

В.Н., Рубаков С.В., Грегер С.Е., Ткаченко О.І. [1 – 8]. Транспортні та логістичні системи розглядаються в працях Боняр С.М. [9], Карпенко О.О., Паливода О. та Бондаренко О. [10]. Підкреслюючи складність проблем, що стоять перед сучасними транспортними системами, ці автори розглядають лише окремі аспекти їх функціонування (логістичні, економічні, фінансові, математичні). Проблеми дослідження транспортних систем за допомогою їх моделей (онтологічних, семантичних, когнітивних, продукційних тощо) є актуальними.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є аналіз деяких аспектів моделювання транспортних систем (зокрема, СМРТ) для подальшої розробки підходів до використання запропонованих моделей при прийнятті управлінських рішень щодо розвитку та вдосконаленню СМРТ. В якості моделі пропонується семантико-ситуаційна багаторівнева модель.

Основний матеріал дослідження. Моделювання складної системи, якою є СМРТ, – це засіб вивчення її компонентів, об'єктів, суб'єктів, процесів функціонування, розвитку та вдосконалення шляхом їх заміни відповідною моделлю (наприклад, онтологічною, семантичною, продукційною, фреймовою, економіко-математичною). Вид та клас моделі залежить від проблем, що стоять перед СМРТ. *Модель* – це образ об'єкта дослідження, в ролі якого виступає СМРТ зі всіма її компонентами, об'єктами, суб'єктами та процесами. Процес моделювання СМРТ представлено на рис. 1.

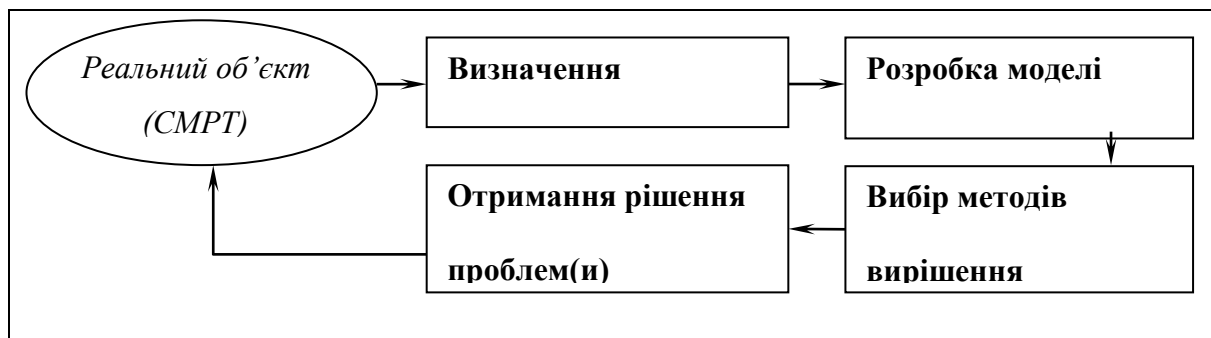


Рис. 1. Схема побудови моделі СМРТ

Цінність моделі для аналізу та оптимізації управлінських рішень щодо СМРТ – надання можливості оцінити планові завдання; визначити рівні забезпечення (матеріального, кадрового, технічного, технологічного, логістичного, фінансового, програмного тощо) та ресурси; отримувати оцінки стану ринків праці, стану річкового та морського флоту, стану логістичного забезпечення тощо. Моделювання СМРТ надає можливість отримати чітке уявлення про неї, охарактеризувати і кількісно описати її внутрішню структуру і зовнішні зв'язки.

Модель СМРТ – сукупність відношень, що визначають характеристики функціонування системи в залежності від багатьох факторів (структури системи, її компонентів, об'єктів, суб'єктів, процесів, алгоритмів поведінки, параметрів функціонування, станів системи, впливів зовнішнього середовища, початкових умов і часу тощо).

Основною метою моделювання СМРТ є формування спектру проблем та задач, що потрібно вирішити, та відповідного спектру моделей дослідження системи, які можуть сприяти вирішенню сформульованих проблем. Модель залежить від багатьох факторів, що можуть постійно змінюватися. Тому модель, яка розглядається, є динамічною.

Модель СМРТ є наближеним представленням системи, вираженим в поняттях предметної області засобами того класу моделей, яка береться за основу дослідження і зберігає суттєві (основні, головні, базові) властивості оригіналу (СМРТ). Модель в кількісній формі за допомогою математичних конструкцій описує основні властивості системи, її параметри,

внутрішні і зовнішні зв'язки, фактори впливу тощо. Якісна форма оцінювання системи все рівно відображається цільцісною шкалою, тому її розглядати не будемо.

Модель СМРТ може бути представлена як система функціоналів $\Phi_i(X, Y, Z, t) = 0$, де X – вектор вхідних змінних (внутрішніх факторів впливу, характеристик стану компонентів системи, тощо), $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, Y – вектор вихідних змінних (варіанти управлінських рішень тощо), $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$, Z – вектор зовнішніх факторів впливів, $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_n\}$, t – координата часу.

Побудова моделі СМРТ полягає у визначенні зв'язків між процесами системи, явищами, використанні математичного апарату для кількісного (якісного) відображення зв'язків між процесами, суб'єктами та об'єктами системи, факторами впливу на систему тощо. При побудові моделі СМРТ слід виявити всі фактори впливу на систему (суттєві та несуттєві), виключити несуттєві, щоб спростити модель, зберігши основні властивості системи. На основі наявних даних формується система відношень між компонентами системи, які мають бути відображені у моделі. Ці відношення можуть належати до різних класів, наприклад «підпорядкування», «ієрархія», «слідування», «наслідування». Вибір класу відношень залежить від поставлених задач моделювання, задач аналізу та прогнозування функціонування СМРТ.

Основні вимоги до моделі СМРТ: *повнота* (надається можливість отримання набору оцінок системи з необхідною точністю і достовірністю); *гнучкість* (надається можливість відтворення різних ситуацій при зміні структури, алгоритмів і параметрів системи); *мінімізація* термінів розробки та реалізації; *декомпозиція структури* (надається можливість заміни, додавання і виключення частин без переробки всієї моделі); можливість роботи з інформаційними базами (базами даних, базами знань та базами моделей); сучасний інтелектуальний інтерфейс із програмним продуктом, що є ефективною реалізацією моделі та генерації відповідних управлінських рішень щодо вирішення поставлених проблем; можливість проведення комп'ютерних експериментів.

При моделюванні СМРТ її характеристики визначаються на основі побудованої моделі з урахуванням наявної інформації про СМРТ. При отриманні нової інформації про систему її модель модифікується (змінюється, оновлюється, збільшується тощо). Цей процес продовжується до отримання моделі, яку можна вважати адекватною до вирішення поставленої проблеми дослідження СМРТ.

Основні етапи моделювання СМРТ: *побудова концептуальної моделі* системи та її формалізація (визначення основних об'єктів, суб'єктів, компонентів, процесів тощо); *побудова узагальненої моделі* системи, що перетвориться в інформаційну модель; *алгоритмізація* моделі та її комп'ютерна реалізація; *отримання та інтерпретація результатів* моделювання.

Основними етапами побудови моделі СМРТ, зокрема, є:

- *постановка проблеми моделювання* (виділення класу проблем, аналіз існуючих методів вирішення проблем);
- *аналіз проблеми моделювання* (аналіз існуючих класів моделей, вибір відповідної моделі, аналіз алгоритмізації моделі, її реалізації на ПК, отримання та інтерпретації результатів моделювання);
- *визначення вимог до інформації* про СМРТ (склад, умови отримання, методи обробки, методи збереження та захисту);
- *визначення елементів моделі та їх відношень між собою*;
- *обґрунтування критеріїв оцінки* ефективності моделі системи;
- *опис моделі та оцінка рівня її достовірності*.

Для СМРТ характерні такі стани: *значущі*, притаманні процесам функціонування СМРТ тільки в деякі основні моменти часу (надходження вхідних чи керуючих впливів, впливів зовнішнього середовища і т. п.); *незначущі*, в яких процеси чи компоненти системи знаходяться в інші моменти часу.

Модель СМРТ є адекватною і відображає основні елементи СМРТ та їхні відношення один з одним. Основним при побудові моделі є аналіз закономірностей, притаманних СМРТ, та емпіричних даних про її структуру й особливості. На основі такого аналізу формуються різні підмоделі багаторівневої моделі СМРТ; визначаються методи розв'язання проблем СМРТ; проводиться аналіз отриманих результатів тощо.

Моделюючи СМРТ, слід насамперед сформулювати мету та визначити критерії порівняння варіантів управлінських рішень щодо вирішення окремих проблем СМРТ. Такими критеріями, зокрема, можуть бути: максимізація ефекту транспортної (логістичної, портової тощо) послуги при обмеженні витрат; максимізація прибутку підприємства СМРТ за умов збереження рівня якості транспортної (логістичної, портової тощо) послуги; зниження собівартості транспортної (логістичної, портової тощо) послуги за умов збереження її рівня якості; зростання продуктивності праці, ефективність використання ресурсів, забезпечення екологічної та інформаційної безпеки.

Складність моделювання СМРТ та визначення мети функціонування СМРТ полягає в тому, що крім суто економічних показників (прибутку, витрат тощо) слід враховувати й соціальні аспекти функціонування СМРТ (зайнятість населення, працевлаштування, зняття соціальної та економічної напруги тощо).

Будемо вважати, що деякий компонент СМРТ є підприємством СМРТ (судном, портом, шлюзом, логістичним підприємством, складом тощо), який надає n видів транспортних (логістичних, портових тощо) послуг. Передбачається, що процес надання таких послуг відпрацьований, а попит населення на ці послуги вивчений. Треба визначити річний обсяг таких послуг, з урахуванням того, що цей обсяг повинен забезпечити внутрішні та зовнішні попит і пропозиції на визначені транспортні (логістичні, портові тощо) послуги.

Найкращою моделлю є не найскладніша, а та, що дозволяє отримати найбільш раціональне рішення і найбільш точні економічні оцінки процесів, які відбуваються в СМРТ. Критерієм достовірності та якості моделі є відповідність отриманих результатів реальним умовам, економічна змістовність отриманих оцінок. Якщо результати не відповідають цим умовам, то слід провести аналіз причин невідповідності. Після аналізу причин невідповідності модель модифікується і розв'язання задачі продовжується.

При побудові багаторівневої ситуаційно-продукційної моделі СМРТ вводяться позначення елементів СМРТ і, враховуючи взаємозв'язки між цими елементами, що відображені відношеннями відповідних класів.

Прийняття управлінського рішення в СМРТ базується на даних, отриманих під час проведення відповідного комп'ютерного експерименту. Сформовану модель можна багато разів модифікувати та змінювати згідно з проблемами, що висуваються практикою та реальним функціонуванням системи на різних етапах її життєвого циклу. Моделювання надає також можливість отримати формальний опис реальної задачі/проблеми СМРТ, що дозволяє скористатися універсальним апаратом формального представлення систем (математичним, у вигляді моделей подання знань тощо). Використовуючи методи прийняття рішень на основі моделі, можна генерувати оптимальні управлінські рішення щодо функціонування СМРТ в цілому чи її елементів (компонентів) на тому чи іншому відповідному рівні.

Складність СМРТ унеможлиблює використання універсальних методів щодо її моделювання. Можна говорити лише про деякі принципи та вимоги до таких моделей, зокрема: адекватність, об'єктивність, простота, повнота, достовірність, універсальність.

Розробка моделі – складний процес, який потребує великих витрат ресурсів (розумових, часових, інформаційно-технологічних). Для економії цих ресурсів корисно звертатися до напрацьованого "банку" моделей для аналізу можливості їх застосування для дослідження проблем СМРТ (нових, оновлених, а інколи й старих).

Для побудови адекватної достовірної моделі СМРТ слід добре вивчити предметну область, зібрати і проаналізувати великий обсяг інформації (особливо експертних знань),

визначити цілі, засоби їх досягнення, основні фактори впливу на СМРТ (як внутрішні, так і зовнішні) та зробити аналіз існуючих класів моделей, щоб визначити більш оптимальні для тієї чи іншої проблеми системи.

Основними елементами СМРТ є транспортні (логістичні, портові, ремонтні, субднобудівні, судноремонтні тощо) послуги та відповідні учасники – підприємства СМРТ, їх кадрове та інше забезпечення. Прийняття рішення на основі багаторівневої моделі СМРТ дозволяє знайти найкращі варіанти управлінських рішень щодо вдосконалення СМРТ.

Прийняття рішення передбачає: *підготовку* (економічний, технічний, технологічний, екологічний аналіз стану СМРТ чи її підприємств, виявлення проблем функціонування, розвитку та вдосконалення); *ухвалення* (розробку та оцінку варіантів управлінських рішень; визначення критеріїв оптимального рішення; вибір і прийняття рішення); *реалізацію* (доведення рішення до виконавців; контроль за його виконанням, оцінка результатів виконання; необхідні корективи з можливістю формування змін в моделі чи управлінському рішенні).

Моделювання є методом вирішення проблем розвитку та вдосконалення СМРТ. Воно надає можливість змодельовати ситуацію і дослідити її розвиток під впливом різних чинників та факторів. Для прийняття відповідного рішення пропонується використання багаторівневої ситуаційно-продукційної моделі, яка враховує фактори впливу на СМРТ [7, 8]. СМРТ = <система морського та річкового транспорту>

$$СМРТ^{ОУФ}_{Заг} = СМРТ^{ОУФ}_з \cup СМРТ^{ОУФ}_в \cup СМРТ^{ОУФ}_{вг} \cup СМРТ^{ОУФ}_{вп},$$

де $СМРТ^{ОУФ}_{Заг}$ – загальна багаторівнева модель організації, управління та функціонування СМРТ, $СМРТ^{ОУФ}_з$ – модель зовнішніх факторів впливу, $СМРТ^{ОУФ}_в$ – модель внутрішніх факторів впливу; $СМРТ^{ОУФ}_{вг}$ – модель галузевих факторів впливу, $СМРТ^{ОУФ}_{вп}$ – модель внутрішніх факторів впливу на підприємстві СМРТ. В свою чергу, кожна з вказаних моделей може бути (на основі принципу декомпозиції) сукупністю моделей нижчого рівня.

Таким чином, враховуючи вищевказані групи факторів, модель СМРТ матиме наступний вигляд

$$СМРТ^{ОУФ}_{Заг} = СМРТ^{ОУФ}_{ппф} \cup СМРТ^{ОУФ}_{дф} \cup СМРТ^{ОУФ}_{пп} \cup СМРТ^{ОУФ}_{доп} \cup СМРТ^{ОУФ}_{гр} \cup СМРТ^{ОУФ}_{сусц} \cup СМРТ^{ОУФ}_{прц} \cup СМРТ^{ОУФ}_{кк} \cup СМРТ^{ОУФ}_{яні} \cup СМРТ^{ОУФ}_{да} \cup СМРТ^{ОУФ}_{бз},$$

де використані такі моделі факторів впливу: $СМРТ^{ОУФ}_{ппф}$ ($СМРТ^{ОУФ}_{пп}$) – попиту та пропозицій транспортних та інших послуг, що надаються підприємствами СМРТ; $СМРТ^{ОУФ}_{дф}$ ($СМРТ^{ОУФ}_{доп}$) – динаміки попиту/пропозицій транспортних та інших послуг, що надаються підприємствами СМРТ, на внутрішньому та світовому ринках; $СМРТ^{ОУФ}_{гр}$ ($СМРТ^{ОУФ}_{сусц}$) – грошової сфери (суспільної ціни) на розвиток та функціонування СМРТ; $СМРТ^{ОУФ}_{прц}$ – суспільно-державної політики регулювання ціни; $СМРТ^{ОУФ}_{кк}$ – конкуренції та конкурентноспроможності послуг та суб'єктів СМРТ; $СМРТ^{ОУФ}_{яні}$ – якості та новизни транспортних та інших послуг і інновацій; $СМРТ^{ОУФ}_{да}$ – динамічності СМРТ та її адекватності вимогам суспільства; $СМРТ^{ОУФ}_{бз}$ – динамічності кадрового забезпечення підприємств СМРТ.

Кожна підмодель моделі СМРТ має вигляд

$$СМРТ^{ОУФ} = \{ < S^{ОУФ}, P^{ОУФ} > \},$$

де $\langle S^{OU\Phi}, P^{OU\Phi} \rangle$ – продукція (від англ. *production*, продукція, правило), що відображає перетворення (зміну, розвиток, регресію, стабільність) СМРТ; $S^{OU\Phi}$ – множина ситуацій, що виникають в СМРТ; $P^{OU\Phi}$ – множина дій в СМРТ.

Висновки. Розглянувши різні аспекти моделювання СМРТ, можна зробити наступний висновок, що моделі системи морського та річкового транспорту сприяють аналізу та прогнозуванню її функціонування, розвитку та вдосконалення.

Для забезпечення ефективної роботи відповідних компонентів системи слід, зокрема, приділяти увагу стратегічному плануванню функціонування СМРТ на основі відповідних моделей, зокрема й на запропонованій ситуаційно-продукційній багаторівневій моделі, визначати кількість користувачів підприємств СМРТ різних рівнів та спеціалізацій відповідно до вимог ринку транспортних, логістичних та інших послуг, що надаються підприємствами СМРТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: <http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839>.
3. Kostenko K.I. Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmna ja Ingenerija. 2016. № 9. vol. 7. P. 424 – 431.
4. Denisenko V.N., Krasina E.A. General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. 2014. No. 1, P. 15-21.
5. Rubakov S. V. Modern methods of data analysis. URL: <http://riep.ru/upload/iblock/031/031173bb40e099800b248497db44cb88.pdf>.
6. Greger S.E., Porshnev S.V. Building an ontology of information system architecture // Fundamental Research (Fundamental'nyye issledovaniya). 2013. No. 10. P. 2405-2409.
7. Ткаченко О.А., Ткаченко О.І. Деякі аспекти ситуаційно-семантичного моделювання складних об'єктів, процесів та систем // Водний транспорт. 2017. Вип. № 1 (26). С. 129-133.
8. Tkachenko O., Tkachenko A., Ovcharuk I., Tkachenko K., Radionov B., Chyhyr I. Modeling of process management in online lending systems // Norwegian Journal of development of the International Science. № 35/2019. Vol.1. P. 44-49, (2019).
9. Боняр, С.М. Судоходство река-море: проблемы развития судовладельческих компаний. Одесса: ИПРЭИ НАН Украины, 2009. 289 с.
10. Karpenko O., Palyvoda O., Bondarenko O. Simulation modelling of strategic development of transport and logistics clusters in Ukraine // Baltic Journal of Economic Studies, Volume 4 Number 2. Riga: Publishing House "Baltija Publishing", 2018, P. 93-99.

REFERENCES

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: <http://www.raai.org/about/persons/kulinich/>.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839>.
3. Kostenko K.I. (2016). Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmna ja Ingenerija. № 9. Vol. 7. P. 424 – 431.

4. Denisenko V.N., Krasina E.A. (2014). General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. No. 1, P. 15-21.
5. Rubakov S. V. Modern methods of data analysis. URL: <http://riep.ru/upload/iblock/031/031173bb40e099800b248497db44cb88.pdf>.
6. Greger S.E., Porshnev S.V. (2013). Building an ontology of information system architecture // Fundamental Research (Fundamental'nyye issledovaniya). No. 10. P. 2405-2409.
7. Tkachenko O.A., Tkachenko O.I. (2017). Deyaki aspekty sytuatsiyno-semantychnoho modelyuvannya skladnykh ob'yektiv, protsesiv ta system [Some aspects of situational-semantic modeling of complex objects, processes and systems] // Vodnyy transport [Water transport]. Vyp. № 1 (26). P.129-133. (in Ukrainian).
8. Tkachenko O., Tkachenko A., Ovcharuk I., Tkachenko K., Radionov B., Chyhyr I. (2019). Modeling of process management in online lending systems // Norwegian Journal of development of the International Science. № 35/2019. Vol.1. P. 44-49.
9. Bonyar, S.M. (2009). Sudokhodstvo reka-more: problemy razvitiya sudovladel'cheskikh kompaniy [River-sea shipping: problems of development of ship-owning companies]. Odessa: IPREEI NAN Ukrainy. 289 p. (in Russian).
10. Karpenko O., Palyvoda O., Bondarenko O. (2018). Simulation modelling of strategic development of transport and logistics clusters in Ukraine // Baltic Journal of Economic Studies, Volume 4 Number 2. Riga: Publishing House "Baltija Publishing". P. 93-99.

Ткаченко К.А.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена проблематика моделирования транспортных систем на примере национальной системы морского и речного транспорта. Проанализированы некоторые общие аспекты, этапы и принципы моделирования транспортных систем. Определяются основные требования к моделированию транспортных систем для решения проблем функционирования, развития и совершенствования как национальной системы морского и речного транспорта, так и отдельных ее компонентов. Путем решения проблем автором избрано ситуационно-продукционное моделирование системы на основе онтологического подхода (анализа и соответствующей классификации элементов такой модели).

Ситуационно-продукционное моделирование системы морского и речного транспорта будет способствовать увеличению степени полноты и достоверности оценки состояния системы и прогнозированию состояния системы благодаря учитыванию различных факторов, влияющих на разные уровни и компоненты системы.

Проведен анализ подходов к моделированию транспортных систем. Сделаны выводы, что для оптимизации принятия соответствующих управленческих решений по развитию и совершенствованию национальной системы морского и речного транспорта целесообразно использовать соответствующую многоуровневую модель.

Рассмотрев различные аспекты моделирования системы морского и речного транспорта, можно сделать вывод, что предложенная многоуровневая ситуационно-продукционная модель системы способствует анализу и прогнозированию ее состояний.

Для обеспечения эффективной работы компонентов системы следует, в частности, уделять внимание стратегическому планированию функционирования системы морского и речного транспорта на основе соответствующих моделей, в том числе и на предложенной ситуационно-продукционной многоуровневой модели, определять количество предприятий системы различных уровней и их специализаций в соответствии с требованиями рынка транспортных, логистических и других услуг, предоставляемых предприятиями системы.

Ключевые слова: транспортная система, система морского и речного транспорта, моделирование, многоуровневая модель, ситуационно-продукционная модель.

Tkachenko K.A.

SOME ASPECTS OF MODELING OF TRANSPORT SYSTEMS

The problems of modeling transport systems on the example of the national system of sea and river transport are considered. Some general aspects, stages and principles of modeling of transport systems are analyzed. The basic requirements to modeling of transport systems for the decision of problems of functioning, development and perfection both of national system of sea and river transport, and its separate components are defined. By solving the problems, the author chose situational-production modeling of the system on the basis of the ontological approach (analysis and appropriate classification of elements of such a model).

Situational and production modeling of the system of sea and river transport will help to increase the degree of completeness and reliability of the assessment of the state of the system and forecast the state of the system by taking into account various factors affecting different levels and components of the system.

The analysis of approaches to modeling of transport systems is carried out. It is concluded that in order to optimize the adoption of appropriate management decisions for the development and improvement of the national system of sea and river transport, it is advisable to use the appropriate multilevel model.

Having considered various aspects of modeling of the system of sea and river transport, it is possible to draw a conclusion that the offered multilevel situational-production model of system promotes the analysis and forecasting of its states.

To ensure the efficient operation of system components, attention should be paid, in particular, to strategic planning of the sea and river transport system based on appropriate models, including the proposed situational-production multilevel model, to determine the number of enterprises of different levels and their specializations in accordance with market requirements for transport, logistics and other services provided by the system enterprises.

Keywords: *transport system, sea and river transport system, modeling, multilevel model, situational-production model.*

Дакі О.А., Бойко С.О.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ

З урахуванням недоліків існуючих моделей функціонування об'єктів експлуатації розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічної обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден. На підставі розроблених вимог обґрунтовані клас моделі та метод моделювання.

У статті наведені способи визначення середнього часу відновлення об'єкту судового обладнання в експлуатуючій організації, а також особливості розроблення математичної моделі процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів судових комплексів, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності процесу.

Перспективними напрямками подальших досліджень у зазначеній сфері може бути широке коло питань щодо розроблення науково-методичного апарату технічного прогнозування з урахуванням специфіки застосування судового обладнання в різноманітних умовах використання.

Ключові слова: ефективність експлуатації, судові комплекси, моделювання

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливішими практичними завданнями. Основне протиріччя, яке лежить в основі наукових досліджень у напрямку підвищення ефективності експлуатації судових комплексів, полягає, з одного боку, у необхідності підвищення технічної готовності судового обладнання до використання за призначенням та безвідмовності його функціонування, для чого є необхідним здійснення постійного контролю за його функціонуванням та виконання цілого комплексу періодичних перевірок та діагностування. Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання та зменшує загальну рентабельність флоту.

З іншого боку, намагання максимального здешевлення морських транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури з перекладанням максимального числа функцій діагностики на технічні засоби. У такому аспекті, розроблення нових методів технічної експлуатації обладнання на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності та обсягу діагностування, у тому числі часу відновлення об'єкту судового обладнання в експлуатуючій організації є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту суден висвітлюється у роботах Смирнова Н.Н., Ицковича А.А., Волкова Л.І., Барзиловича Е.Ю.

В області розробки теорії прогнозування відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Богом'ї В.І., Давидова В.С., Дороніна В.В., Тихонова І.В. та ін. Область технічного прогнозування судового устаткування досліджена у роботах В.П. Калявіна, А.С. Кобелевої, А.В. Козлова та ін [1-5].

Однак незважаючи на значну кількість публікацій щодо вирішення різноманітних питань експлуатації та ремонту судового обладнання, не вирішеними залишаються питання щодо визначення оптимальних міжперевірочних інтервалів, доцільного переліку робіт з

діагностування зразків суднового обладнання, визначення часу відновлення об'єкту суднового обладнання в експлуатуючої організації.

Формулювання цілей статті. Таким чином, ціллю даної статті є наведення особливостей розроблення математическої моделі процесу технічного обслуговування и ремонту об'єктів судових комплексів, яка дозволяє отримати конкретні аналітичні вирази для розрахунків відповідних показників ефективності відновлення об'єктів судових комплексів.

Виклад матеріалів дослідження. Однією з величин, що визначають середній час відновлення об'єкту суднового обладнання $M(t_{e_j}) (c_2, c_3)$ в експлуатуючої організації, є повнота відновлення об'єкту j -го типу Q_j . Зазвичай ця величина визначається з досвіду експлуатації. В сучасних умовах експлуатації це стає вкрай складним завданням, тому виникає необхідність її визначення іншими способами [1-3].

Повнота відновлення об'єкту суднового обладнання. Для визначення Q_j розглянемо ієрархічну структуру функціональних систем суднового обладнання (СО) суден за конструктивною складністю. Ієрархія за конструктивною складністю створюється внаслідок побудови об'єктів СО у вигляді конструктивно-закінчених знімних блоків, котрі складаються з модулів (знімних плат або вузлів), а вони, в свою чергу, – з неподільних елементів (субмодулів, мікросхем, транзисторів, резисторів тощо). Представимо функціональну систему судна як складну технічну систему, яка складається з j -агрегатів (блоків) A_j ($j = \overline{1, n}$), які, в свою чергу, складаються з k ($k = \overline{1, m}$) рівнів по l ($l = \overline{1, z}$) модулів. При цьому вважаємо сукупність елементів, що не демонтуються в умовах експлуатації, єдиним модулем (наприклад, неподільні елементи, що розташовані на платі та залиті компаундом). Таким чином отримуємо на кожному k – му рівні $z + 1$ модулів (рис.1).

Таке представлення дає змогу зробити припущення про послідовне з'єднання модулів як в межах будь-якого рівня, так і в межах виробу СК без врахування функціональних зворотних зв'язків. Тобто відмова будь-якого модуля A_{jkl} викликає відмову всього виробу СК.

Кожен рівень охарактеризуємо двома величинами: кількістю модулів l , що можуть бути демонтовані в умовах експлуатації, та параметром потоку відмов кожного модуля ω_{jkl} . У загальному потоці відмов даного рівня ω_{jk} . В цьому випадку згідно [1-5] для послідовного логічного з'єднання параметр потоку відмов системи з l елементів визначається виразом

$$\omega_{jk} = \sum_{l=1}^{z+1} \omega_{jkl} \quad (1)$$

За даними експлуатації визначаємо долю відмов кожного з A_{jkl} модулів у загальному потоці відмов даного рівня ω_{jk} . Виразимо параметр потоку відмов ω_{jkl} модуля через параметр потоку відмов всього рівня

$$\omega_{jkl} = k_{jkl} \cdot \omega_{jk}, \quad (2)$$

де $k_{jkl} = (\overline{0, 1})$ – коефіцієнт, що враховує долю відмов A_{jkl} -го модуля в загальному потоці відмов k -го рівня.

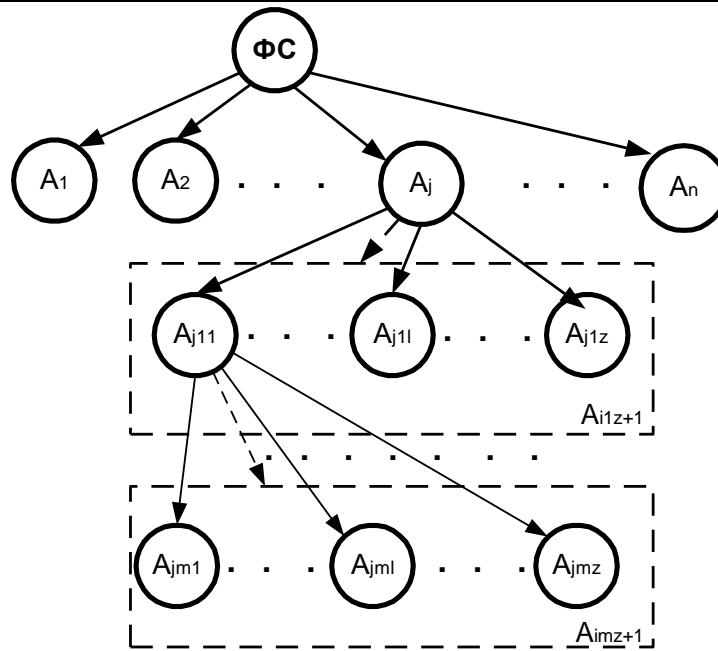


Рис.1. Ієрархічна структура функціональних систем судна за конструктивною складністю

Тоді сумарний параметр потоку відмов елементів даного рівня, що можуть бути замінені в умовах експлуатації,

$$\omega_{\Sigma jk} = \omega_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl} \cdot \quad (3)$$

В свою чергу, відмови A_{jk} -го модуля складають визначену долю відмов модуля більш високого рівня

$$\omega_{jk} = k_{jk} \cdot \omega_j, \quad (4)$$

де $k_{jk} = (\overline{0,1})$ – коефіцієнт, що враховує долю відмов A_{jk} -го модуля в потоці відмов модуля більш високого рівня.

Тобто

$$\omega_{\Sigma jk} = \omega_j \cdot k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl} \cdot \quad (5)$$

Таким чином для всієї сукупності модулів j -го агрегату (блока), що можуть бути відновлені в умовах експлуатації, параметр потоку відмов визначимо як:

$$\omega_{Q_j} = \omega_j \cdot \sum_{k=1}^m (k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl}) \cdot \quad (6)$$

Тобто повнота відновлення об'єкту j -го типу в експлуатуючій організації Q_j визначимо як коефіцієнт при параметрі потоку відмов даного об'єкту СК

$$Q_j = \sum_{k=1}^m (k_{jk} \cdot \sum_{l=1}^z k_{jkl}). \quad (7)$$

Таким чином, за допомогою виразів (1)-(7) можливе характеризувати вплив системи відновлення судового обладнання на коефіцієнт готовності обслуговуваних об'єктів судових комплексів.

Математична модель багатоетапного технічного обслуговування об'єктів судового обладнання з урахуванням глибини пошуку місця відмови. У приведеній вище моделі процесу технічної експлуатації розглядається одна зі складових ймовірності контролю – інструментальна вірогідність, що враховує можливість існування "хибних" і невиявлених відмов і є характеристикою засобів контролю. Методична вірогідність – друга складова ймовірності контролю, що обумовлена сукупністю параметрів, що контролюються, методикою й алгоритмами контролю і критеріями оцінки технічного стану об'єкта контролю – приймалась рівній одиниці. Тобто, якщо множині всіх відмов об'єкта контролю відповідає сумарна інтенсивність відмов Λ , то методична достовірність забезпечує можливість виявлення будь-якої відмови за визначеною множиною параметрів, що контролюються. В реальних умовах експлуатації створення та застосування засобів контролю з такою достовірністю контролю майже неможливе. Збільшення методичної достовірності контролю призводить до ускладнення апаратури контролю, збільшенню маси та габаритів АСК (ВЗК), надлишку інформації екіпажу під час польоту, зростанню термінів підготовки суден до використання їх за призначенням.

Всі ці негативні фактори призводять до зниження ефективності застосування судна в цілому. У зв'язку з цим контроль технічного стану об'єктів судового обладнання є багатоетапним [4-9].

Нехай кожен j -й етап контролю технічного стану характеризується своєю вірогідністю контролю D_j , причому $[D_j = D_{uj}, D_{mj}]$ де D_{uj} – інструментальна вірогідність, D_{mj} – методична вірогідність контролю на j -му етапі. Методика контролю і критерії оцінки технічного стану об'єкта контролю часто мають суб'єктивний характер і розробляються до сформованого варіанту системи контролю. Виходячи з цього, методичну вірогідність будемо характеризувати найбільш істотною її складовою – повнотою контролю j -го етапу технічного обслуговування.

Повнота контролю. Повнота контролю η_j може бути визначена як умовна ймовірність технічної можливості виявленні відмов об'єкта контролю сукупністю всіх засобів контролю, застосовуваних на j -ому етапі технічного обслуговування. Для найпростішого потоку відмов об'єкта контролю цей показник визначається з наступного співвідношення

$$\eta_j = \frac{\lambda_{обнj}}{\Lambda}, \quad (8)$$

де $\lambda_{обнj}$ – сумарна інтенсивність типів відмов, що виявляються засобами j -го етапу;

Λ – сумарна інтенсивність відмов всього об'єкта.

При контролі технічного стану складних систем судового обладнання частина блоків, вузлів, елементів охопити контролем або неможливо, або досить складно. Тому такі елементи як лінії живлення і передачі інформації, деякі датчики і сигналізатори, покажчики і виконавчі пристрої та інші не охоплені інструментальним контролем. Контроль їхнього технічного стану здійснюється в процесі контролю функціонування з використанням органолептичних методів контролю [9, 10].

Таким чином, надалі будемо враховувати методичну вірогідність контролю, обумовлену виразом (8), зневажаючи помилками самого методу.

Сумарна інтенсивність відмов об'єкта, що не вдається виявити за результатами контролю останнього етапу, дорівнює

$$\lambda_{M+1} = \Lambda \cdot (1 - \eta_M). \quad (11)$$

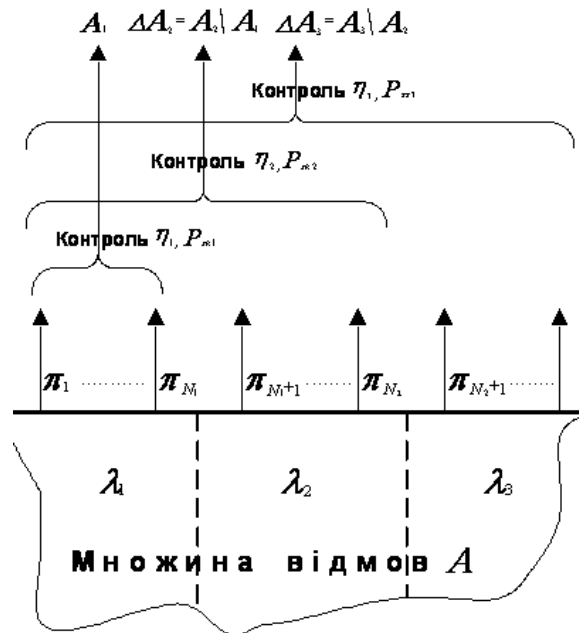


Рис.2. Модель багатоетапного контролю

Очевидно, що для будь-якої підмножини відмов $\Delta A_j = A_j - A_{j-1}$, що дозволяє виявити контроль на j -му етапі додатково до попереднього етапу, контроль j -го етапу є ідеальним по повноті в порівнянні з $(j-1)$ етапом. Ці відмови виявляються в момент проведення одного з контролів працездатності з імовірністю P_j , або виявляються в польоті до моменту їхнього виявлення при контролі. На попередніх етапах технічного обслуговування виявити ці відмови за допомогою штатних засобів контролю неможливо.

Складну систему із сумарною інтенсивністю відмов Λ представимо умовно у виді підсистем з інтенсивностями відмов λ_j , $j = \overline{1, M}$. Тоді контроль технічного стану кожної підсистеми здійснюється по множині параметрів $\Delta \Pi_j$ і з періодичністю X_j , що дозволяє в момент контролю технічного стану виявити всю множину відмов A_j з імовірністю P_j .

Відмови, що не дозволяє виявити алгоритм контролю j -го етапу, виявляються при переходах. При такому представленні складної системи загальний наробіток системи або блоку до відмови $M[\psi(t)]$ буде визначатися з наробітків $M[\psi_j(t)]$ складових частин об'єкту контролю.

Так, для трьох етапів експлуатації (експлуатація за призначенням, оперативне обслуговування, періодичне обслуговування) рис. 2 вираз для загального наробітку системи до відмови $M[\psi(t)]$ запишеться як

$$M[\psi(t)] = \frac{M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_2(t)] \cdot M[\psi_3(t)]}{M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_2(t)] + M[\psi_1(t)] \cdot M[\psi_3(t)] + M[\psi_2(t)] \cdot M[\psi_3(t)]} \quad (12)$$

Висновки та перспективи подальшої роботи. 1. З урахуванням недоліків існуючих моделей функціонування об'єктів експлуатації розроблені вимоги до математичної моделі процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів судового обладнання суден. На підставі розроблених вимог обґрунтовані класи моделей та метод моделювання.

2. На підставі формалізації розроблена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту об'єктів суднових комплексів судна, що дозволяє отримати кінцеві аналітичні вирази для розрахунків показників ефективності досліджуємого процесу. Модель дозволяє оцінити вплив системи відновлення, як сукупності засобів контролю, діагностичних і ремонтних засобів, комплектів запасних елементів, виконавців, що взаємодіють з об'єктом експлуатації за встановленими правилами, на ефективність процесу ТО і Р.

3. В межах розробленої моделі розглядаються підходи щодо визначення впливу на ефективність процесу ТО і Р об'єктів суднових комплексів їх повноти відновлення в умовах експлуатанта та багатоетапності процесу технічного обслуговування з урахуванням повноти контролю технічного стану об'єктів судового обладнання судна.

4. Перспективними напрямками подальших досліджень у зазначеній сфері може бути широке коло питань щодо розроблення науково-методичного апарату технічного прогнозування з урахуванням специфіки застосування судового обладнання в різноманітних умовах використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. - СПб.: Судостроение, 2007. - 384 с.
2. Техничко-економические характеристики судов морского флота. РД 31.03.01-90. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. - 232 с.
3. Судходство и судостроение (статистика, экономика, цены). ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова. - СПб, 2006. - 260 с.
4. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 277 с.
5. Волков Л.И. Управление эксплуатацией корабельных комплексов – М.: Высшая школа, 1981 – 368 с.
6. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
7. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник)/ [Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В.].–Вид.1-е.–К.:ДВВП «Компас», 2012 – 336 с.
8. Каштанов В.А. Оптимальные задачи технического обслуживания. – М.: Знание, 1981. – 122 с.
9. Стадник А.И. Выбор метода многокритериальной оптимизации для управления водным транспортным средством// Лавриненко В.Ф., Стадник А.И., Тарохтей В.П. –К.:КДАВТ, "Водний транспорт", 2014. –Вип.3(21).–С.11–14.
10. Богом'я В.І., Коломієць О. М. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів//Новітні технології. – К.: УНТ ПВНЗ, 2017.– Вип. 1(3).– С.42–48.

REFERENCES

1. Ehorov, H. V. (2007). *Proektyrovanye sudov ohranychennukh raionov plavaniya na osnovanyu teoryu ryska*. SPb.: Sudostroeniye.
2. *Tekhniko-ekonomycheskye kharakterystyky sudov morskoho flota* (1992). RD 31.03.01-90. M.: V/O «Mortekhyinformreklama».
3. *Sudokhodstvo y sudostroeniye (statystyka, ekonomyka, tsenu)* (2006). TsNYY ym. akad. A.N.Krulova. SPb.
4. Smyrnov, N. N. & Ytskovych, A. A. (1987). *Obsluzhyvaniye y remont tekhniky po sostoianiyu*. M.: Transport.

-
5. Volkov, L. Y. (1981). *Upravlenye ekspluatatsyei korabelnykh kompleksov*. M.: Vysshaia shkola.
 6. Barzylowych, E. Yu. (1982). *Modely tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh system*. M.: Vysshaia shkola.
 7. Bohomia V. I., Davydov V. S., Doronin V. V., Pashkov D. P., Tykhonov I.V. (2012). *Navihatsiine zabezpechennia upravlinnia rukhom suden (navchalnyi posibnyk)*. Vyd.1-e.– K.:DVVP «Kompas».
 8. Kashtanov, V.A. (1981). *Optymalnye zadachy tekhnicheskogo obsluzhivaniya*. M.: Znanye.
 9. Lavrynenko, V. F., Stadnyk, A. Y. & Tarokhitei, V. P. (2014). Vubor metoda mnohokryterialnoi optymyzatsyy dlia upravleniia vodnum transportnum sredstvom. K.:KDAVT, "Vodnyi transport", Vyp.3(21). 11–14.
 10. Bohomia, V. I. & Kolomiets, O. M. (2017). Metody pidvyshchennia efektyvnosti protsesu ekspluatatsii sudnovykh kompleksiv. *Novitni tekhnolohii*. K.: UNT PVNZ. Vyp. 1(3). 42–48.

Daki O.A., Boyko S.O.

MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONAL SYSTEMS OF THE SHIP EQUIPMENT

Taking into account the disadvantages of existing models of the operation of the objects of operation, requirements for the mathematical model of the process of maintenance and repair of ship's equipment facilities have been developed. Based on the developed requirements, the model class and modeling method are justified.

The article presents ways to determine the mean time of restoration of the object of ship equipment in the operating organization, as well as features of the development of a mathematical model of the process of maintenance and repair of ship complex objects, which allows obtaining final analytical expressions for calculating the corresponding indicators of the efficiency of the process.

Promising areas for further research in this area may be a wide range of issues related to the development of scientific and methodical apparatus for technical forecasting, taking into account the specifics of the use of marine equipment in various conditions of use.

Key words: *efficiency of operation, ship complexes, modeling*

Даки Е.А., Бойко С.О.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

С учетом недостатков существующих моделей функционирования объектов эксплуатации разработаны требования к математической модели процесса технической обслуживания и ремонта объектов судового оборудования судов. На основании разработанных требований обоснованные класс модели и метод моделирования.

В статье приведены способы определения среднего времени восстановления объекта судового оборудования в эксплуатирующей организации, а также особенности разработки математической модели процесса технического обслуживания и ремонта объектов судовых комплексов, позволяет получить конечные аналитические выражения для расчетов соответствующих показателей эффективности процесса.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в указанной сфере может быть широкий круг вопросов по разработке научно-методического аппарата технического прогнозирования с учетом специфики применения судового оборудования в различных условиях использования.

Ключевые слова: *эффективность эксплуатации, судовые комплексы, моделирование.*

АВТОРИ ВИПУСКУ

Богом'я Іванович	Володимир	–	доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-4403-3130
Бойко Олексіївна	Світлана	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0003-3518-2724
Вільдяєва Миколаївна	Любов	–	старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Вяля Юлія Едуардівна		–	ДУІТ, старший викладач кафедри вищої та прикладної математики, orcid.org/0000-0003-0369-3570
Гейлик Вадимівна	Анастасія	–	кандидат фізико-математичних наук, ДУІТ, доцент кафедри вищої та прикладної математики, orcid.org/0000-0002-4675-5711
Гойжевський Васильевич,	Олександр	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Грищенко Віталійович	Юрій	–	канд. техн. наук, доц., доцент кафедри авіоніки Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0002-1318-9354 .
Гурінчук Василівна	Світлана	–	кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри іноземних мов за професійним спрямуванням, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0002-3538-2171
Давидов Семенович	Володимир	–	кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0002-4985-1143
Дакі Олена Анатоліївна		–	кандидат філологічних наук, доцент, декан Дунайського факультету морського та річкового транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0003-3932-462X
Доронін Васильович	Володимир	–	кандидат технічних наук, доцент кафедри технічних систем і процесів керування в судноводінні КДАВТ, заступник начальника ДП «Укрводшлях»
Заліський Юрійович	Максим	–	кандидат техн. наук, доц., доц. кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0002-1535-4384
Ісаєнко Анатоліївна	Світлана	–	кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри іноземних мов за професійним спрямуванням, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-1705-8527
Клецька Сергіївна	Тетяна	–	кандидат історичних наук, доцент, ДУІТ, доцент кафедри вищої та прикладної математики, orcid.org/0000-0002-7619-496X
Колесник Васильевич,	Василий	–	к.т.н., ст. науч. сотрудник, доцент, ДУІТ

Костановський Валерій Викторович	–	кандидат технічних наук, ст. наук. с. роб-к. ДК»Укроборонпром» ДП «НДІ «Квант», orcid.org/0000-0002-3766-4455
Кудрявцев В.Г.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Лопатюк Світлана Петрівна	–	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту, Державний університет інфраструктури і технологій, orcid.org/0000-0003-3669-6110
Ляшко Ольга Вікторівна	–	кандидат фізико-математичних наук, доцент, ДУІТ, завідувач кафедри вищої та прикладної математики, orcid.org/0000-0003-2616-898X
Мачалин Ігор Олексійович	–	д-р. техн. наук, проф., Національний авіаційний університет, orcid.org/0000-0003-1684-4980
Мельник Олена Викторівна	–	кандидат економічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки, допоміжні механізми суден та їх експлуатації» Інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій
Никифоров Ю.А.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Павлова Світлана Вадимівна	–	доктор наук, професор кафедри авіоніки (Національний авіаційний університет), orcid.org/0000-0003-4012-9821
Пастух Олександр Васильович	–	старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій
Пизинцали Л.В.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Приступа Сергей Валерьевич	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Рабочая Т.В.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Россомаха Е.И.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ
Соломенцев Олександр Васильович	–	доктор техн. наук, проф. кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0002-3214-6384
Тараненко Сергей Владимирович	–	кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій
Тимошук Олена Миколаївна	–	доктор техн. наук, професор, директор Інституту водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-3684-6182
Ткаченко Костянтин Олександрович	–	кандидат економічних наук, старший викладач, кафедра «Інформаційні технології», Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-0549-3396
Шахов В.И.	–	старший викладач кафедри, ДУІТ

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. До друку у збірнику наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Водний транспорт» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: **постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.**

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

Разом з текстом статті і електронним носієм із записаним текстом до редколегії надаються: рецензія на статтю доктора наук (професора); довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номер контактного телефону, обліковий запис автора ORCID, поштова адреса).

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці вимірювання слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. До рукопису додається анотація трьома мовами (**українська, російська, англійська**), в якій має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (**обсяг не менш 1000 знаків**), а також ключові слова (трьома мовами, 5-10 слів).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок.

6. Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого одностороннього паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word для Windows 98/2000/XP (формат А4), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись з використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

7. Матеріали набирають та розміщують у послідовності: УДК – 12 пунктів, курсив (УДК повинно бути обов'язково). Розміщують зліва на сторінці; автори – 12 пунктів, напівжирний курсив. Розміщують зліва на сторінці; **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний. Розміщують посередині сторінки; анотація – 12 пунктів, курсив; основний текст – 12 пунктів, звичайний; **ЛІТЕРАТУРА** – 12 пунктів, напівжирний

8. Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 10 мм, інтервал між рядками – одинарний. Інтервали між елементами матеріалу такі: УДК – автори – 2; автори – назва статті – 2; назва статті – анотація – 2; анотація – основний текст – 1;

основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1; назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1; нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1; основний текст – ЛІТЕРАТУРА – 1; ЛІТЕРАТУРА – список літератури – 1.

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери. Слова *Рисунок*, *Таблиця*, *Діаграма*, *Схема* та їхні номери набираються звичайним шрифтом, 12 пунктів, назви таблиць

розміщуються над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до наступного тексту потрібно відступити один інтервал. Посилання в тексті на таблиці або на рисунки даються у скороченому вигляді звичайним шрифтом: «табл. 1» або «рис.1».

Якщо таблиця не вміщається на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1».

9. Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті в таблиці MS Word. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі Microsoft Equation 3.0 для MS Word. Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські літери – тільки прямим шрифтом.

10. Список використаної літератури складається двома мовами та повинен включати **не менш 10 джерел кожний**. Перший (мовою оригінала джерела) відповідно до ДСТУ 7.1:2006, ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання». Другий (References) латиницею (транслітерацією) з обов'язковим перекладом назви джерела на англійську мову.

11.Рекомендується при оформленні наукової статті використовувати ДСТУ 3008:2015–ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

Наукове видання

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

Випуск 1(29)

Відповідальний за випуск *Богом'я В.І.*

Підп. до друку 26.05.2020. Формат 60x84/8. Папір для тиражувальних апаратів.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 23,5. Наклад 100 прим.
Зам. № 429. Віддруковано з оригіналів.

Державний університет інфраструктури та технологій

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(серія КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.)
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
тел./факс: (044) 463-74-70, тел. (044) 417-17-57
E-mail: duit@duit.edu.ua