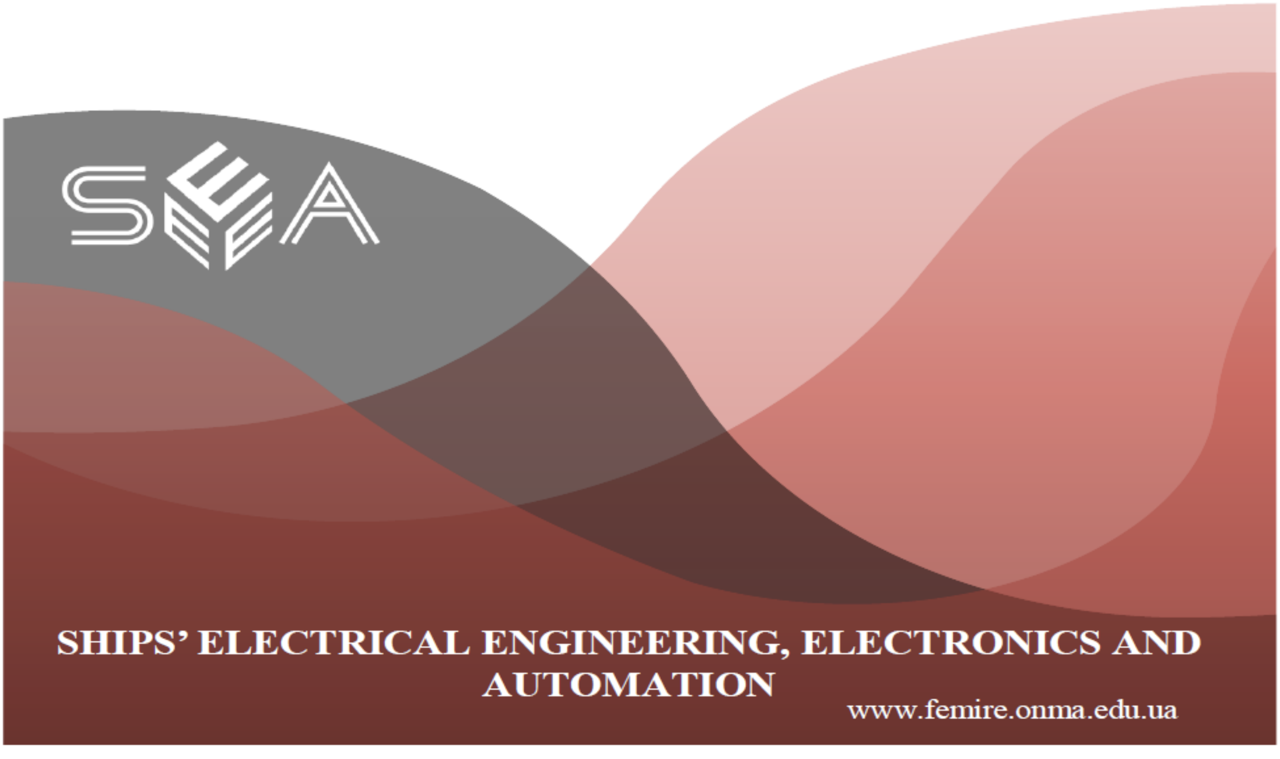
**Міністерство освіти і науки України**
**Національний університет «Одеська морська академія»**
**Одеське відділення Інституту морської техніки, науки і технології Великобританії (IMarEST)**
**Морський інститут України (Nautical Institute of Ukraine).**

# М А Т Е Р І А Л И

X Міжнародної науково-технічної конференції

# «СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА»

**24.11.2020 – 25.11.2020**




**Одеса – 2020**

Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції
Материалы X Международной научно-технической конференции
Materials of the 10th international scientific and practical conference

# СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА

# СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОИНЖЕНЕРИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА И АВТОМАТИКА

# SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION

## SEEEA-2020

Збірка матеріалів конференції

| | | |
|---|---|---|
| **24-25 листопада 2020 року Одеса, Україна** | **24-25 ноября 2020 года Одесса, Украина** | **November 24-25 2020 Odessa, Ukraine** |

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ



## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ



У збірнику матеріалів конференції розміщено тези доповідей X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», що відбулась 24-25 листопада 2020 року у Національному університеті «Одеська морська академія».

Тематика конференції охоплює наступні науково-методичні напрямки: енергозбереження в судновій енергетиці, технічна експлуатація сучасного електрообладнання та систем управління суден, енергоефективність та надійність електромеханічних систем, математичне моделювання процесів і явищ в енергетичних установках та радіотехніці, інформаційна безпека, автоматизація суднових технічних засобів, освітні та професійні стандарти.


Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 243 с.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# ЗМІСТ

## Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

## Секція 2. **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

## Секція 6. **РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК**

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245



Секція 7. **ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА**



Секція 9. **АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

## Секція 10. **ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ**

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# Секція 1. СУДНОВЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 621.313.322

## ВИЯВЛЕННЯ ТА УСУНЕННЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМУ ПІСЛЯ ЗОВНІШНЬОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

**В.С. Луковцев**, к.т.н., доцент
**Г. І. Бандуров**, магистрант
Национальный университет «Одесская морская академия»

***Анотація.*** *У даній роботі розглядається асинхронний режим який на сьогоднішній день залишається одним з важких аварійних режимів в суднових електроенергетичних системах так як пов'язаний з втратою стійкості паралельної роботи електростанції, з можливим пошкодженням елементів енергосистеми і порушенням електропостачання.*

*Метод ліквідації асинхронного режиму багато в чому залежать від конструкції енергосистеми і синхронних генераторів, а також від причини виникнення асинхронниго режиму. Одним з яких є коротке замикання в мережі.*

*У разі асинхронного режиму дизель-генератора, щоб не проводилося миттєве відключення генератора від шин головного розподільного щита, розглядається метод ліквідації асинхронного режиму шляхом електромагнітного гальмування.*

***Ключові слова.*** *Асинхронний режим (АР), коротке замикання (КЗ) електромагнітне гальмування (ЕМТ) струмового зона гальмування (СЗГ) дизель-генератор (ДГ).*

## DETECTION AND ELIMINATION OF SYNCHRONOUS MODE AFTER EXTERNAL SHORT CIRCUIT

**V. Lukovtsev,** Associate Professor, PhD
**H. Bandurov**, Master Student

***Abstract.*** *In this scientific robot, the asynchronous mode which today remains one of the most severe emergency modes in ship power systems as it is associated with loss of stability of parallel operation of the power plant, with possible damage to power system elements and power outages.*

*The method of eliminating the asynchronous mode largely depends on the design of the power system and synchronous generators, as well as on the cause of the asynchronous mode. One of which is a short circuit in the network.*

*In the case of asynchronous mode of the diesel generator, in order not to instantly disconnect the generator from the tires of the main switchboard, the method of eliminating the asynchronous mode by electromagnetic braking is considered.*

***Key words****. Asynchronous mode (AR), short circuit (SC) electromagnetic braking (EMB), current braking zone (CBZ) diesel generator (DG).*

### Постановка задачи

Після усунення КЗ в мережі з параллельно працюючими ДГ, після зниження частоти обертанніяі і кутовий швидкістю ротора можуть потрапити в АР. Поставлена задача усунути АР між паралельними діючих синхронних генераторів після КЗ шляхом торможення дизель-генераторного агрегата (ДГА).

Для цього пропонується вимірювати угол вибігу ротора θ та його продуктивності. У стабільному генераторному режимі угол θ лежить у меж від 0° до 90°. У разі вибігу ротора за допустимі межі з метою посилення синхронізуючого моменту, необхідного в межах від 90° до 180° (відповідно углової характеристики СГ), зменшення углової швидкості ротора.

В якості вимірювальних органів дистанційного захисту використовуються реле опору, які можуть виконуватися на індукційної або напівпровідникової основі. Основна відмінність різних виконань реле полягає в способі обробки інформації, що надходить про струмі і напрузі.

Поведінка реле опору в різних режимах залежить від його характеристики $z_{cp} = f(\varphi_p)$, де $\varphi_p$- кут між струмом і напругою, що підводяться до реле. Опір z складається з активного r і реактивного x опорів: z= r+jx або, , $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ тому характеристику реле опору представляють в площині z, відкладаючи r по горизонтальній, а x - по вертикальної осі.

Характеристики вимірювальних органів дистанційнихз ахистів повинні бути надійно відбудовані від навантажувальних режимів, враховувати вплив опору дуги.

При порушенні паралельної роботи енергосистеми порушується синхронна робота електростанцій і виникає АР, що супроводжуєтьсяп еріодичними змінами струму і напруги (Рис.1). В цих умовах реле опору може заміряти опір менше уставки і помилково спрацювати.

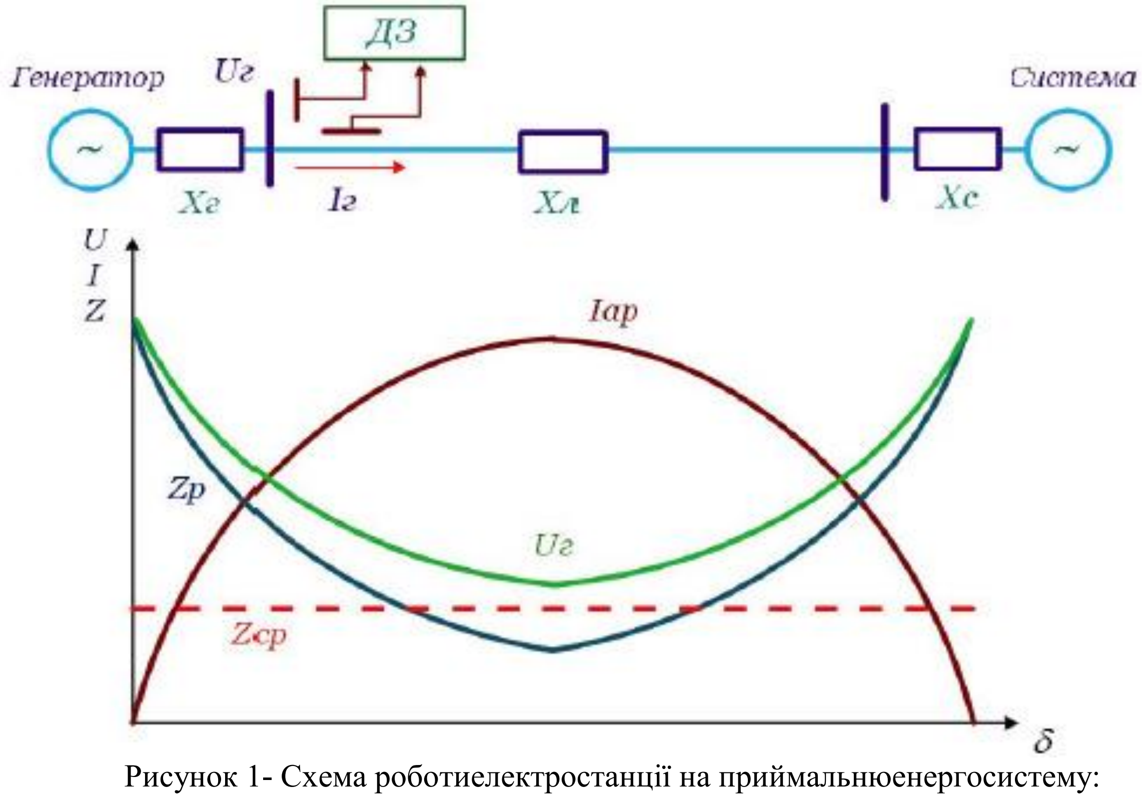



Рисунок 1- Схема роботиелектростанції на приймальнюенергосистему:
$I_Г$- струм в лінії; $x_r$ - опір генераторів електростанції; $x_Л$ -опірлініїзв'язку; $x_Г$ - опір системи. : $U_Г$ - напруга в місціустановки захисту; $I_Г$- струм асинхронного режиму; $\delta$- кут між е.р.с. генератора і системи.

Зона, обмежена колом, є зоною дії реле. Опірспрацьовування таких реле не залежить від $z_p$, тому їх називають реле повного опору.

Уточнення уставок рекомендується також проводити, якщо зафіксовано

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

випадки СЗГ при зовнішніх КЗ. Уточнення уставок необхідно проводити по осциллограмме:

$$\omega_{ТОРМ} = \frac{1{,}5 * I_{НБ.МАХ}}{I''^{(3)}_{K}} * \frac{\omega_{ДИФ}}{tg\alpha} \qquad (1)$$

де: $I_{НБ.МАХ}$ - максимальний струм небалансу, $I_K$ - струм, що проходить по фазі при КЗ на виводах генератора; $\omega_{ДИФ}$ - число витків робочої обмотки, $tg\alpha$ - тангенс кута нахилу, проведеної з початку координат до гальмівної характеристиці.

На рис.2. приведено схема для реалізацій захисту гальмування ДГ при КЗ.

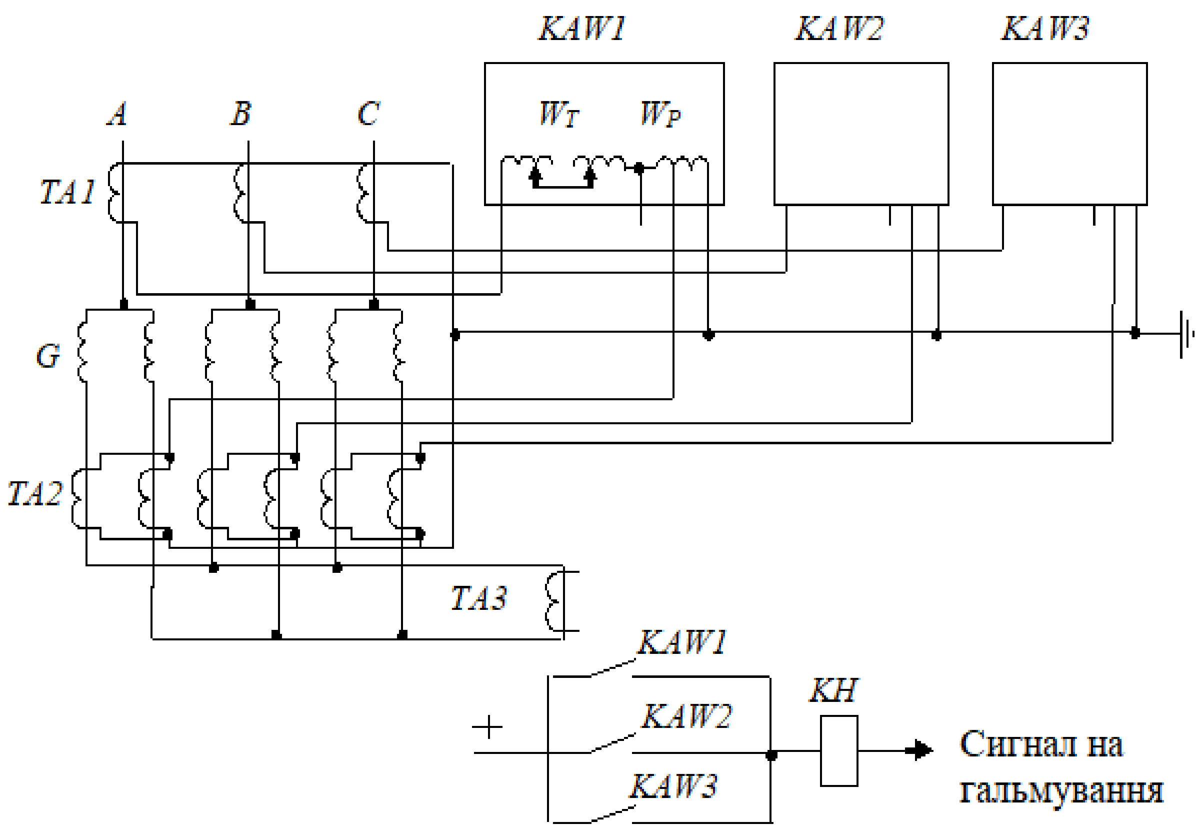



Рисунок 2 - Схема сигналу на гальмування СЗГ

**Висновок:** Запропонований метод дозволяє здійснити гальмування ротора генератора, попавший в АР після усунення КЗ в мережі на основі штатних вимірювальних засобів.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Константинов В.М. Синхронизация судовых синхронных генераторов. Теория и мето-дирозрахунку. - Изд. Второй, перераб. и доп. - Л: Судостроение, 1978. - 216с.

2. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. М.: Транспорт, 1988. - 328с.

3. Луковцев В.С. Противоаварийное управление судовой электроэнергетической установкой при асинхронном режиме работы генератора// Судовые энергетические установки: Науч. - техн. сб. - 2001. - Вып. 6. - Одесса: ОГМА. – С. 47-50.

УДК 621.311

# ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМУ ПІСЛЯ ВТРАТИ ЗБУДЖЕННЯ

**В.С. Луковцев**, к.т.н., доцент
**Г. Бринза**, магістрант
Національний Університет «Одеська Морська Академія»

***Анотація:*** *У роботі представлено метод який визначає втрату збудження судновим синхронним генератором із-за несправності автоматичного регулятора напруги та запропоновано як усунути роботу синхронних генераторів в асинхронному режимі після втрати збудження на деякий час доки не запуститься і не візьметься на шини резервний генератор. .*

***Ключові слова:*** *втрата збудження, синхронний генератор, акумуляторна батарея, захист.*

# INVESTIGATION OF ASYNCHRONOUS MODE AFTER LOSS OF EXCITATION

**V.Lukovtsev**,Associate Professor, PhD
**H. Brynza**, Master Student
National University «Odesa Maritime Academy»

***Abstract:*** *the articles describes the method that determine the loss of excicatation of diesel-generator due to failure of automatic voltage regulator and suggests how to prevent work of synchronous generator in asynchronous mode after loss of excitation for some time till stand-by generator will start and take a power.*

***Key words***:*loss of excitation, synchronous generator, battery, protection.*

Основним джерелом електроенергії на суднах морського флоту є синхронні генератори (СГ). Забезпечення надійності та стабільності роботи синхронних генераторів в аварійних режимах, зокрема, коли генератор переходить в асинхронний режим, є одним із актуальних проблем при експлуатації сучасних електростанцій та систем[1].

Одним із завдань у роботі є зробити систему протиаварійного управління, що забезпечує роботу електростанції при втраті збудження із-за несправності АРН одного з паралельно працюючих генераторів.

Пропонуємо, що для усунення асинхронного режиму в такому випадку, необхідно підключити акумуляторну батарею до обмотки збудження та компенсувати цим роботу АРН на час доки резервний дизель генератор запуститься та візьметься на шини ГРЩ.

В ході виконання роботи, з метою дослідження поведінки СГ в асинхронному режимі, було проведено експеримент на лабораторному стенді кафедри електрообладнання та автоматики суден НУ «ОМА».

На рисунку 1 представлено метод, що визначає втрати збудження генераторів за допомогою схеми вимірювання активної та реактивної потужності генератора (P-Q).

Вироблення активної та реактивної потужності генератора обмежено можливістю генератора, межами стабільності системи та межами недозбудження.[1] Інтервал спрацювання захисту можна отримати безпосередньо з кривої потуж-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

ності та із межи стабільності системи(МСС). Тому межа стабільності системи обмежить елемент втрати збудження та характеристикам цього елементу будуть знаходитись усередині кривої МСС.[2]

Коли вихідна реактивна потужність перевищує недозбудженну межу , то вийде сигнал тривоги. Коли робоча точка потрапляє у зону експлуатації, захисний елемент втрати збудження спрацює та реле К1 отримує сигнал.

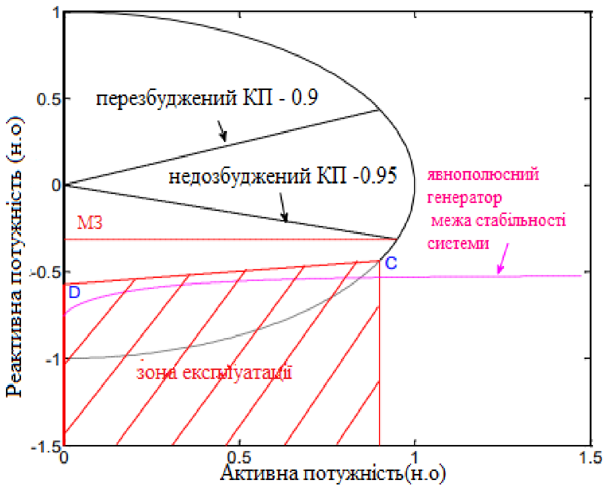



Рисунок 1 – Схема захисту від втрати збудження генератора (P-Q)

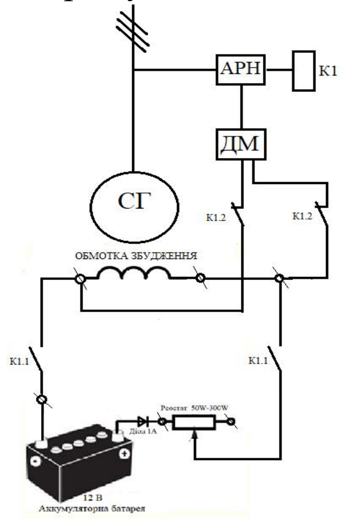



Рисунок 2 – Підключення акумуляторної батареї до обмотки збудження

На рисунку 1, представлено структурну схему СГ з додатковим пристроєм.

Схема складається з синхронного генератора(СГ), обмотку збудження, автоматичного регулятора напруги(АРН), діодного мосту(ДМ), потенціометра, акумуляторної батареї, діоду та реле К1.

При несправності діодного мосту, обрив ланцюга живлення, реле К1 отримує сигнал від елемента втрати збудження та автоматично переключе контакти обмотки збудження з діодного мосту на акумуляторну батарею.

**Висновки**. Таким чином підключення акумуляторної батареї дає можливість подавати на обмотку збудження необхідний струм , для підтримання навантаження 30%, доки запуститься резервний дизель-генератор, після цього можемо вимкнути агрегат та почати діагностику генератора. Такий метод підвищує надійність СЕЕС.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. G. R. Berube and L.M. Hajagos, "Coordination of Under Excitation limiters and Loss of Excitation Relays with Generator Capability," in 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting, pp.1-8.

2. R. Sandoval, A. Guzman and H.J. Altuve, "Dynamic simulations help improve generator protection, " in Proc. 2007 IEEE Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources, pp. 16-38

3.Орлов И.Н. Электротехнический справочник: Т.3. Кн.1. Производство и распределение электрической энергии // учебное пособие. М.: Энергоатомиздат, 2008. 201 с.

3. Луковцев В.С. Противоаварийное управление судовой электроэнергетической установкой при асинхронном режиме работы генератора// Судовые энергетические установки: Науч. - техн. сб. - 2001. - Вып. 6. - Одесса: ОГМА. – С. 47-50.

УДК 629.5.064.5

# ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ СТАЛОСТІ АНАЛОГОВО-ЧАСТОТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

**В.А. Завадський**, к.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»
**С.М. Дранчук**, к.т.н., доцент
**І.О. Кучеренко**, студент
Одеський національний морський університет

***Анотація:*** *В роботі виготовлено пристрій для автоматичного вимірювання температурної сталості вихідних характеристик перетворювачів «напруга-частота» для вимірювання механічних напружень у корпусі судна*
***Ключові слова:*** *тензорезистивні датчики, частота, перетворювач,температурна сталість*

# DEVICE FOR MEASURING TEMPERATURE SUSTAINABILITY ANALOG FREQUENCY CONVERTERS FOR TENZOMETRIC SENSORS OF SHIP EQUIPMENT

**V.A. Zavadsky**, Ph.D., Professor
National University "Odessa Maritime Academy";
**S.M. Dranchuk**, Ph.D., Associate Professor;
**I.O. Kucherenko**, student
Odessa National Maritime University

***Abstract****: The work produced a device for automatic measurement of temperature sustainability of output characteristics of converters "voltage-frequency" to measure mechanical tensions in the hull of the vessel.*
***Keywords:*** *strain sensors, frequency, converter,temperature sustainability*

Для підвищення безпеки та ефективності роботи транспортних судів необхідна об'єктивна інформація про механічні навантаження на корпус судна в будь-яких експлуатаційних режимах. На підставі цієї інформації з'являється можливість управляти судном в штормових умовах, не допускаючи перевантаження корпусу, в той же час, працюючи на гранично безпечному рівні.

Дані про навантаження на корпус необхідні також для автоматизації вантажних операцій на судах, оскільки рівномірність розподілу вантажу (особливо балкерів) сприяє підвищенню безпеки мореплавання.

Сьогодення в інтегровану систему судна входить моніторинг навантажень на корпус судна (Hull stress monitoring), мета якого в реальному часі забезпечувати інформацією про навантаження в корпусі як в процесі рейсу, так і в процесі виконання вантажно-розвантажувальних робіт. За результатами моніторингу виробляються застереження (алярми) про приближення контрольованих параметрів до критичних значень [1].

Згідно документам IMO система моніторингу судна повинна мати наступну конфігурацію (рисунок 1,а): датчики навантажень на корпусі судна (палубі); акселерометри для визначення прискорень в носі та центральній частині судна

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

для вимірювання вертикальних прискорень; мікропроцесорний блок для обробки отриманої інформації від датчиків та передачі результатів в інтегровану систему судна по магістральному інформаційному каналу; пристрій зберігання отриманих даних.

Традиційними датчиками механічних напружень є тензорезистори, які будують за мостовою схемою. Недоліком тензорезисторів є великий розкид параметрів і характеристик та їх залежність від зовнішніх факторів, перш за все температури.

Незначний вихідний сигнал тензометричних датчиків ускладнює точне вимірювання вихідного аналогового сигналу датчика та передавання його сиг-

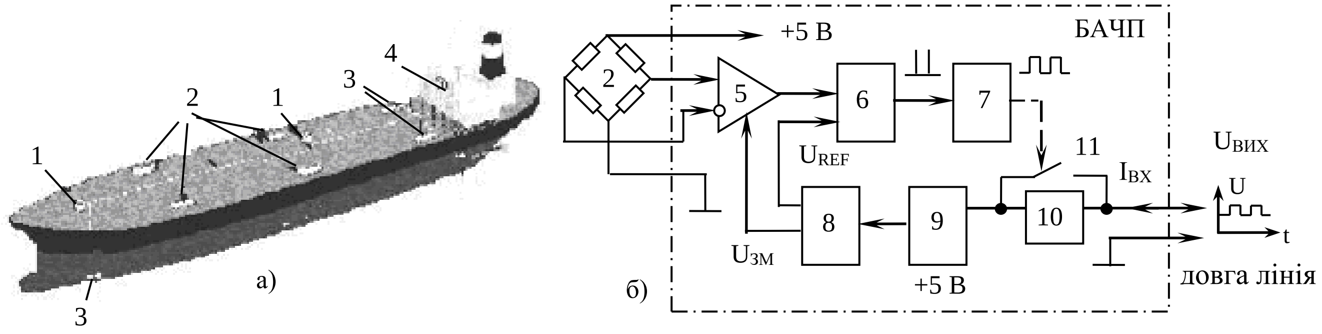



Рисунок 1. Система моніторингу напружень в корпусі судна фірми “Scimar’ (а) та структурна схема перетворювача аналогового сигналу датчиків у частотний сигнал (б):
1 – акселератор; 2 – тензодатчики; 3 – датчики тиску води; 4 - інтегрована система ходового мостика; 5 – інструментальний підсилювач; 6 – синхронний перетворювач частоти AD7741; 7 – двійковий дільник частоти; 8 – джерело опорної напруги; 9 – паралельний стабілізатор; 10 стабілітрон на 5 В; 11 – електронний ключ

налу на значні відстані, що пов’язано з малою завадозахищеністю такого сигналу. Тому необхідні пристрої, які б перетворювали аналоговий сигнал датчика в інший тип сигналу, який має більшу завадозахищеність, наприклад, перетворювачі аналогового сигналу у частоту [2]. Такі перетворювачі побудовані на синхронних інтегральних перетворювачах 6 типу AD7741, та мають інструментальний підсилювач 5, частотний дільник 7 та джерело опорної напруги 8, кожний з яких впливає на температурну сталість блоку перетворення частоти (рисунок 1,б) [3].

Для підвищення температурної сталості таких перетворювачів необхідно проведення досліджень по впливу елементів схеми блоку перетворення частоти (БАЧП) на температурну сталість його вихідної характеристики.

Метою дослідження даної роботи є розробка пристрою, який дозволяє в автоматичному режимі проводити дослідження впливу температури на вихідну характеристику перетворювача.

В даній роботі був розроблений пристрій, який дозволяє проводити вимірювання статичних параметрів блоку перетворювання «напруга – частота» (БАЧП) при різних температурах (від кімнатної до 70$^0$ С) в автоматичному режимі з передачею отриманих даних по інтерфейсу USB в персональний комп’ютер. Статистична обробка отриманих даних та побудова необхідних тем-

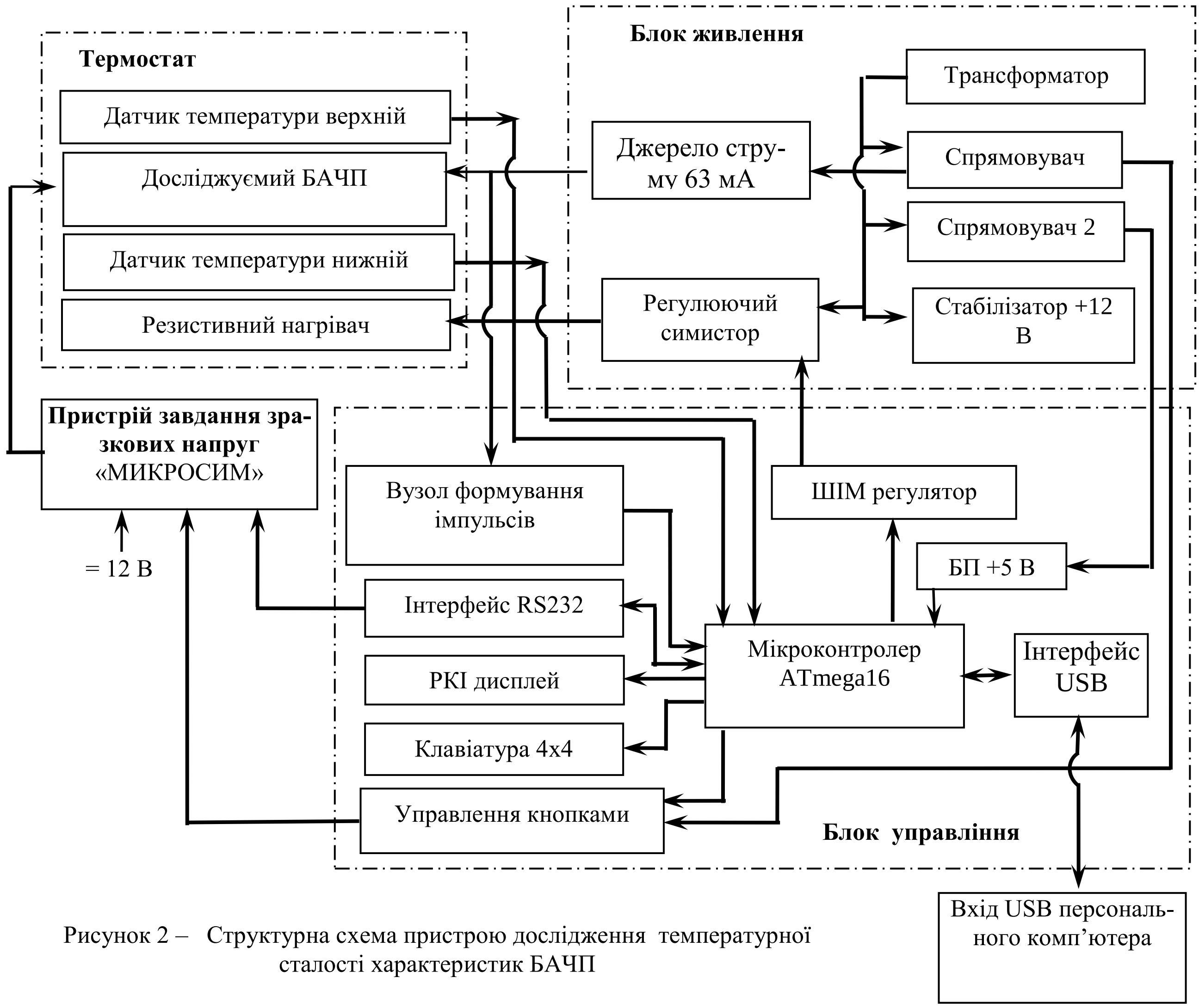



Рисунок 2 – Структурна схема пристрою дослідження температурної сталості характеристик БАЧП

пературних залежностей статичних параметрів подальше виконується у середовищі Microsoft Office Exel.

Необхідність виконувати вимірювання в автоматичному режимі потребує мікроконтролерної системи на основі RISC мікроконтролера типу ATMega16. Структурна схема пристрою для проведення автоматичного вимірювання статичних параметрів блоку перетворювання «напруга – частота» при різних температурах наведена на рисунку 2. Пристрій складається з наступних блоків.

1. Термостат, в якому розташований резистивний нагрівач, датчики температури (вимірювальний і регулюючий) та утримувач, в якому закріплюється БАЧП, параметри якого будуть досліджуватись.

2. Пристрій завдання зразкової напруги, у якості котрого використовується пристрій Микросим-04М. Такий пристрій живиться від постійної напруги 8…12 В і має інтерфейс RS232 за допомогою якого можливо керувати пристроєм. Пристрій дозволяє отримувати робочі коефіцієнти передачі від -3,1000 до +3,1000 мВ/В з кроком від 0,0001 до 3,1000 мВ/В. Нелінійність вихідної напруги не перевищує 0,003 %.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

3. Мікропроцесорний блок управління, який виконує функцію автоматичного вимірювання статичних параметрів блоку перетворювання «напруга – частота» при різних температурах і передає данні по інтерфейсу USART.

4. Блок перетворювання інтерфейсу USART у інтерфейс RS-232 (для змінення вхідної напруги від Микросим-04М) та USB (для передачі заміряних даних у персональний комп'ютер для їх послідуючої обробки).

5. Блок живлення, який видтворює необхідні джерела живлення і має сімістор, призначений для регулювання потужності резистивного нагрівача.

Цикл автоматичного вимірювання починається із встановлення необхідних параметрів:

- початкової та кінцевої температури вимірювання (від кімнатної до $70^0$ С); шагу зміни температури (від 5 до $20^0$ С); часу витримки при заданій температурі (від 10 с до 10 хв);
- початкового та кінцевого значення вхідної напруги (від 0 до 2,000 мВ/В); шагу змінення вхідної напруги (від 0,0 до 0,2 мВ/В);
- часу вимірювання частоти прямим методом (від 0,1 с до 5 с); кількість вимірювань при заданій температурі (від 1 до 10);
- швидкості передачі за інтерфейсом USART (від 9600 Бод до 38 400 Бод).

Усі параметри встановлюються за допомогою клавіатури 4х4 та виводяться на рідкокристалічний 16-символьний двох строковий індикатор РКІ і можуть бути збережені в EEPROM.

Після запуску процесу автоматичного вимірювання встановлюється необхідна початкова вхідна напруга на виході «МИКРОСИМ» командою мікроконтролера по інтерфейсу RS-232; заміряється прямим методом частота на виході БАЧП (точність під час вимірювання 1с досягає 0,05 %), яка по інтерфейсу USB передається у персональний комп'ютер у текстовому форматі. Це вимірювання виконується задану кількість разів.

Після чого включається резистивний нагрівач за допомогою сімістора командою з мікроконтролера на повну потужність. Виконуються заміри температури від верхнього та нижнього датчиків температури по інтерфейсу SPI. Коли температура нижнього датчика досягає необхідної, то нагрівач відключається. При зрівнянні температур обох датчиків і встановленні заданої температури виконуються заміри вихідної частоти задану кількість разів. Якщо температура знижується нижче заданої, то резистивний нагрівач включається на половинну потужність для досягнення знову необхідної температури.

Після чого командою мікроконтролера змінюється значення вхідної напруги на БАЧП за допомогою «МИКРОСИМ» і повторюється процес вимірювання частоти.

Описаний алгоритм повторюється до повного виконання завдання по вимірюванню статичної характеристики БАЧП при різних значеннях заданої температури.

**Висновок**. Розроблений пристрій для вимірювання температурної сталості перетворювачів «напруга-частота» в автоматичному режимі дозволяє проводити аналіз впливу температури на вихідну характеристику перетворювача, але потребується його подальше удосконалення для вимірювань при температурах нижче кімнатної, що можливо при використанні елементів Пельтьє.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. Одесса: Латстар, 2003 – 170 с.
2. Single and Multichannel, Synchronous Voltage-to-Frequency Converters AD7741/7742. Datasheet. – Wold Wide Web Site: www.analog.com.
3. В.А. Завадський, С.М. Дранчук, А.В. Чайка Аналогово-частотний перетворювач для тензометричних датчиків суднового обладнання Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020, с.50-54.

УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

**В. В. Крючков,** курсант
**В. С. Михайленко,** д.т.н., доцент
**В. В. Лещенко,** ст. преподаватель
Национальный университет “Одесская морская академия”

***Аннотация:*** *В статье был предложен подход для разработки модели системы поддержки принятия решений при эксплуатации судовых технологических средств на базе нечеткой логики.*
***Ключевые слова****: нечеткая логика, технические средства, система поддержки принятия решений.*

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF THE SHIP'S TECHNOLOGICAL EQUIPMENT BY IMPLEMENTING A DECISION SUPPORT SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC

**V.V. Kriuchkov**, student
**V.S.Mikhailenko**, Dr. of Technical Sciences, Associate professor
**V.V. Leshchenko**, senior teacher

***Abstract****: The article proposed an approach for the development of a model of a decision support system for the operation of ship technological facilities based on fuzzy logic.*
***Keywords****: fuzzy logic, technical means, decision support system.*

Современные суда оборудованы разнообразными системами контроля параметров, характеризующих техническое состояние механизмов машинного отделения: K-Chief 600, Konsberg K–pos, Beer–radio, Converteam и др. [1]. Основным назначением указанных систем является непрерывный мониторинг текущих значений параметров, характеризующих техническое состояние механизма в данный момент времени, подача предупредительного сигнала в случае выхода измеряемых параметров за пределы допускового контроля, а также выполнение функций автоматического управления судовым оборудованием в различных режимах функционирования. Однако одного

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

существования этих систем недостаточно, так как большая часть отказов оборудованияя происходит по причине не верных действий оператора. Поэтому для повышения эффективности эксплуатации механизмов используются системы поддержки принятия решений.

Современные системы поддержки принятия решения (СППР), возникшие как естественное развитие и продолжение управленческих информационных систем и систем управления базами данных, представляют собой системы, максимально приспособленные к решению задач повседневной управленческой деятельности, являются инструментом, призванным оказать помощь лицам, принимающим решения (ЛПР). С помощью СППР могут решаться неструктурированные и слабоструктурированные многокритериальные задачи[6]. Существует множество методов реализации систем поддержки принятия решений: метод анализа иерархий, регрессионный анализ, нечеткая логика и т.д

Применение нечеткого управления может быть наиболее эффективно в тех случаях, когда отсутствует явная модель процесса или аналитическая модель является слишком сложной для представления или получения решения в реальном масштабе времени. Другим преимуществом нечеткой логики является возможность непосредственного объединения опыта нескольких специалистов. Нечеткое управление, являясь многозначным управлением, больше ограничивается значениями высказываний «истина» или «ложь». Эта особенность делает нечеткое управление адекватным средством для моделирования эмпирического опыта экспертов, оперируя теми понятиями, в терминах которых формируются управляющие воздействия на заданном множестве входов.

Целью работы является разработка модели системы поддержки принятия решений при эксплуатации судовых технологических средств на базе нечеткой логики.

Примеры реализации СППР представлены в [2,5]. Принципы их построений приведены в [6].

Для построения модели СППР была взята модель [7], для которой был использован Fuzzy Logic Toolbox в пакете программ Matlab. В качестве объекта регулирования был выбран синхронный генератор.

На рисунке 1 представлена схема регулятора.

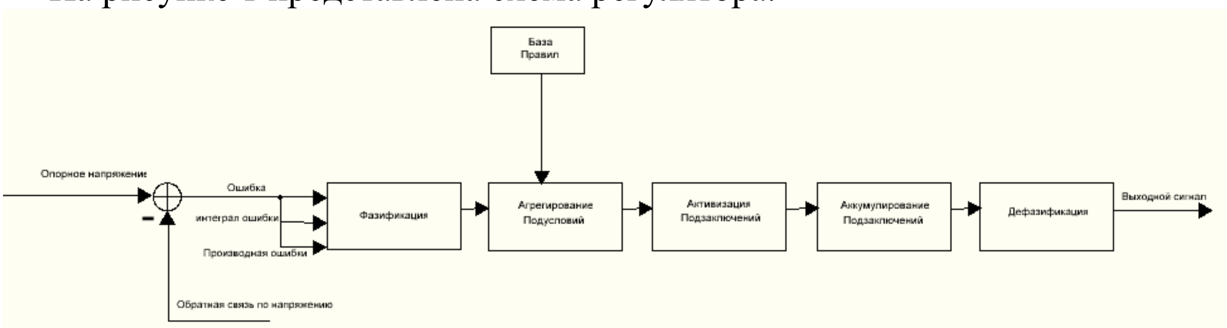



Рисунок 1- Структурная схема fuzzy регулятора

Сам регулятор реализован по алгоритму Мамдани, входными сигналами являются разность между опорным напряжением и действующим, ее производная и интеграл. Выходной сигнал подается на дисплей.

При разработке регулятора первым шагом является составление базы правил, которая содержит высказывания в форме «Если-То». Фрагмент базы правил представлен на рисунке 6. Далее входной сигнал проходит процедуру фазификации, т.е. преобразование численной переменной в лингвистическую. Следующим идет блок агрегирования подусловий. На данном этапе происходит определение степеней истинности для всех условий, подусловий базы правил. После чего происходит переход от условий к подзаключениям и получение нечеткого множества для всех выходных переменных. На рисунках 2-5 показаны функции принадлежности сигналов.

Сформированные лингвистические значения переходят в блок дефазификации, где они преобразуются в численное значение, которое выводится на дисплей. Модель энергетической системы изображена на рисунке 7.

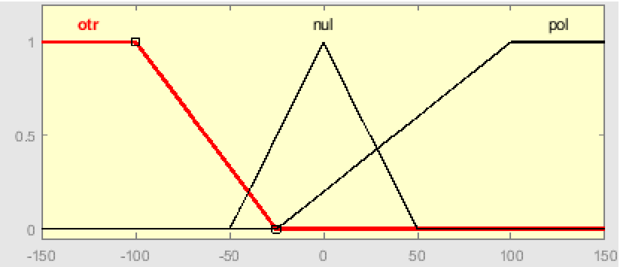



Рисунок 2- Функции принадлежности ЛП «ошибка»

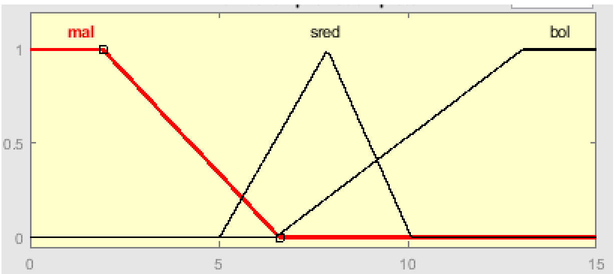



Рисунок 3- Функции принадлежности ЛП «интеграл ошибки»

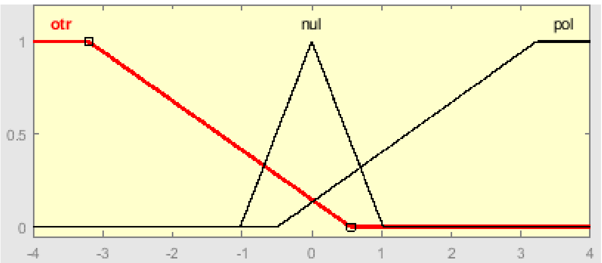



Рисунок 4- Функции принадлежности ЛП «производная ошибки»

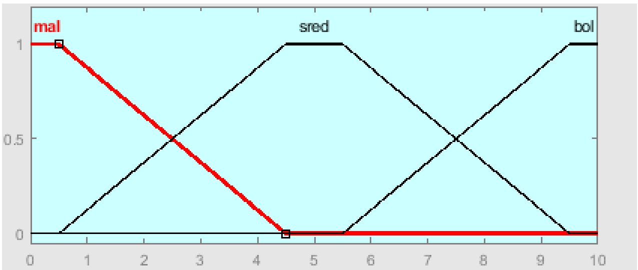



Рисунок 5- Функции принадлежности ЛП «коэффициент усиления $K_p$»

Функции принадлежности ЛП «$K_i$» и «$K_d$» также отображаются Z и S – образными графическими видами [7]. Однако $K_i$ лежит на универсуме [0-15], а $K_d$ = [0-0.02].

Таблица1- Условные обозначения:

| | |
|---|---|
| Otr | Отрицательное значение |
| Nul | Нулевое значение |
| Pol | Положительное значение |
| Mal | Малое значение |
| Sred | Среднее значение |
| Bol | Большое значение |

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

1. If (E is otr) and (EI is mal) and (ED is otr) then (KU is bol)(KI is bol)(KD is bol) (1)
2. If (E is otr) and (EI is mal) and (ED is pol) then (KU is bol)(KI is bol)(KD is mal) (1)
3. If (E is otr) and (EI is mal) and (ED is nul) then (KU is bol)(KI is bol)(KD is sred) (1)
4. If (E is otr) and (EI is bol) and (ED is otr) then (KU is bol)(KI is mal)(KD is bol) (1)
5. If (E is otr) and (EI is sred) and (ED is otr) then (KU is bol)(KI is sred)(KD is bol) (1)
6. If (E is otr) and (EI is bol) and (ED is pol) then (KU is sred)(KI is mal)(KD is mal) (1)
7. If (E is otr) and (EI is bol) and (ED is nul) then (KU is bol)(KI is mal)(KD is sred) (1)
8. If (E is otr) and (EI is sred) and (ED is pol) then (KU is bol)(KI is sred)(KD is mal) (1)
9. If (E is otr) and (EI is sred) and (ED is nul) then (KU is bol)(KI is sred)(KD is sred) (1)
10. If (E is nul) and (EI is mal) and (ED is pol) then (KU is sred)(KI is bol)(KD is mal) (1)

Рисунок 6 – Фрагмент базы правил

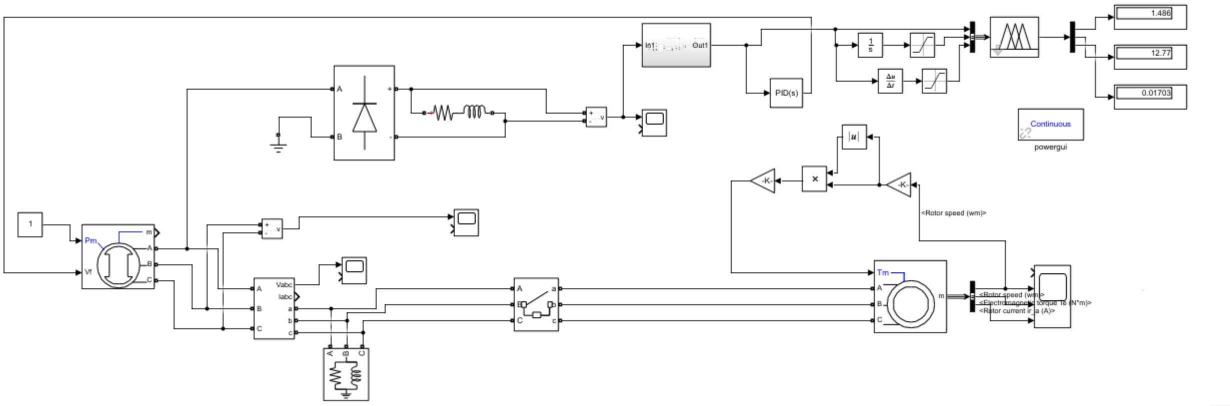



Рисунок 7 – Модель энергетической системы

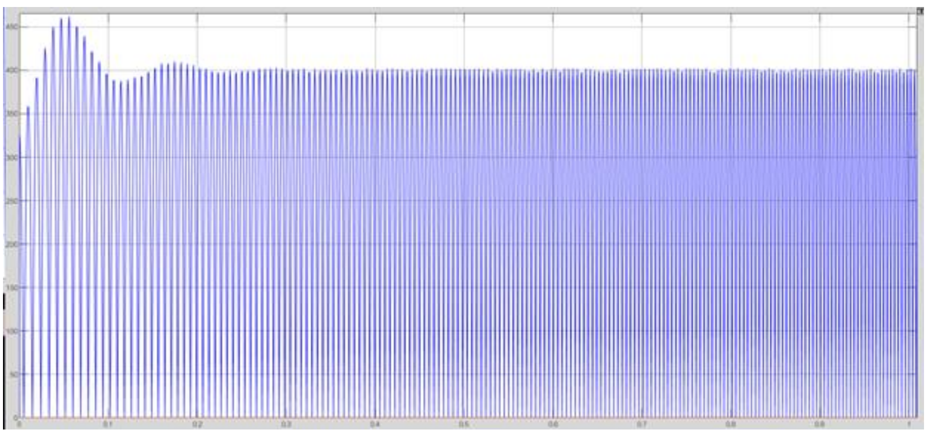


Рисунок 8 – Результаты моделирования

На рисунке 8 можно заметить скачок напряжения, который не превышает 15% от номинального напряжения, что соответствует требованиям ГОСТа

**Вывод.** В данной работе была усовершенствована модель энергетической системы с использованием регулятора нечеткой логики. Благодаря модернизации, fuzzy регулятор выполняет функцию системы поддержки принятия решений при настройке ПИД регулятора. Дальнейшая работа будет направлена на создание модели системы поддержки принятия решений при параллельной работе генераторов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Kongsberg K-Chief 600 Alarm and Monitoring Operator Manual. – January 2013 – Rev. F – P. 17.
2. Мухаметзянов И.З.- Нечеткий логический вывод и нечеткий метод анализа иерархий в системах поддержки принятия решений: приложение к оценке надежности технических систем //Кибернетика и программирование.- 2017.- №2.-С.59
3.L. A. Zadeh (1965) ≪Fuzzy sets≫. Information and Control 8 (3) 338–353.
4. Kosko, Bart. Fuzzy thinking / Hyperion, 1993. 5. Kosko, Bart. Neural Networks and Fuzzy Systems / Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1991.
5. Е.В. Бахусова-Методы поддержки принятия решений на основе нечеткой математики. ж: « Современные информационные технологии и ИТ-образование». – 2013 г 822с.
6. Сараев А. Д., Щербина О. А. Системный анализ и современные информационные технологии//Труды Крымской Академии наук. — Симферополь: СОНАТ, 2006. — С. 47-59
7.И.С.Коберси, А.В.Кияшко,Е.А.Македонов,Е.Р.Крамаренкр,В.И.Финаев. Система управления напряжением генератора на базе нечеткой логики. ж: «Вестник Дона».
8. Михайленко В.С., Ложечников В.Ф. Методы настройки неченткого адаптивного ПИД-регулятора// Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009.- №2.-С.174
9. Интернет-ресурс: https://basegroup.ru/community/articles/fuzzylogic-math

УДК 621.313.8

# ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ РОТОРА ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ДЛЯ «АЗІПОД» НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СДПМ

**Д.Д. Комарніцький,** студент
**М.О. Проноза**, студент
**О.І. Зарицька,** к.т.н., доцент
Одеський національний морський університет

***Анотація:**дослідження впливу конструкції ротора електродвигунів з постійними магнітами для «Азіпод», а саме вплив конструктивного виконання ротору на вихідні характеристики електричної машини.*

***Ключові слова:** магніт, електродвигун, полюс, ротор,конструкція.*

# INFLUENCE OF THE ELECTRIC MOTORS ROTOR STRUCTURE WITH PERMANENT MAGNETS FOR "AZIPOD" ON THE MAIN CHARACTERISTICS OF PMSM

**D. Komarnitskyi,** Student
**M. Pronoza,** Student
**O. Zarytska,** PhD, Associate Professor
Odessa National Maritime University

***Annotation:** the research of the electric motors with permanent magnets rotor design for the "Azipod", specifically the influence of the rotor constructive fabrication to characteristics of the electric machine.*

***Key words:** magnet, electric motor, pole, rotor, design.*

**Вступ.** На даний час в світовому суднобудуванні знаходять широке застосування принципово нові пропульсивні кермові установки потужністю від 5 до 30 Мвт з азимутними гребними гвинтами типу "Azipod" або типу Schottel Propulsor з подвійними гвинтами.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Назва гвинто-рульової установки Azipod походить від слів Azimuthing Podded Drive. Вперше була розроблена в Фінляндії і встановлена в 1990 р на двох арктичних танкерах, які пройшли випробування в російській Арктиці в 1998 році. На базі цього досвіду фінська фірма Kvaerner Masa-Yards розробила танкер подвійної дії - Double Acting Tanker (DAT).

Установка може застосовуватися на всіх судах, обладнаних електричною енергетичною установкою. Найбільше застосування вона знайшла на круїзних пасажирських судах, що вимагають високої маневреності при заходах в порти і при швартуванні до причалів. На кабелеукладачах і інших типах допоміжних суден, що вимагають високої маневреності.

Основною перевагою азіподів є відсутність традиційної лінії валопроводу від двигуна до гвинта, керма і рульової машини, зниження рівня шуму і вібрації, спричиненої гребним гвинтом. Крутний момент на гвинті утворюється гребним електродвигуном, розташованим всередині гондоли на одному валу з гребним гвинтом. Установка розміщена поза межами корпусу судна і створює реактивну силу, напрям якої може змінюватися в широких межах, що дозволяє повертати судно на місці на 360 градусів, стабільно тримати курс. Технічне обслуговування установки мінімально, підшипники не вимагають ремонту протягом 100 тис.год (приблизно 10 років експлуатації).

Економія часу на швартування з установкою Azipod становить 2-3 год, а палива головного двигуна досягає 10%.

Завдяки встановленню Azipod при проектуванні судів не виникає проблем з розміщенням головного двигуна в машинному відділенні, площа якого завжди лімітувалась установкою двигуна в ДП судна і використовувалась нераціонально.

На даний час поширення, як двигуни для даного типу установок, отримали синхронні двигуни змінного струму з постійними магнітами.

Як показують дослідження, електродвигуни з постійними магнітами дозволяють створити надійну енергетичну систему з низькими експлуатаційними витратами [1]. Удосконалення таких систем дозволяє значно підвищити основні характеристики таких двигунів .

Головна відмінність між синхронними електродвигунами з постійними магнітами (СДПМ) і іншими електродвигунами змінного струму (асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, синхронний з традиційним електромагнітним збудженням) в конструкції ротора. За рахунок використання постійних магнітів в роторі відсутні втрати [1,2].

Значить, СДПМ має ККД значно більше (2-3%), ніж високо ефективний асинхронний електродвигун, за умови, що статор має однакову конструкцію, а для управління використовується один і той же частотний перетворювач. При цьому ККД залишається постійним на всьому діапазоні регулюванні швидкості. Завдяки цьому спостерігається зниження втрат потужності від впливу корпусу.

Діапазон швидкостей СДПМ значно перевершує діапазон асинхронних електродвигунів.

Результати розрахунків параметрів СДПМ показали, що застосування постійних магнітів підвищує вихідну потужність в порівнянні з традиційними СД [3].

Відсутність магнітопроводу ротора машини дозволяє також знизити його вагу, що особливо важливо для суднобудування. СДПМ набагато легше і компактніше асинхронних електродвигунів, мають більший термін служби при збільшенні міжсервісних інтервалів.

Відсутність обмотки збудження на роторі спрощує експлуатацію СДПМ, через відсутність щітково-кільцевого вузла, як у синхронних двигунів з традиційним електромагнітним збудженням. СДПМ  відрізняються безшумність під час роботи [2].

Ці двигуни мають здатність синфазного обертання декількох двигунів включених в одну мережу.

Порівняльний аналіз показав, що виграш потужності має місце в наслідок значного зниження індуктивного опору машини. Вказана обставина дозволяє зробити висновок, що СДПМ є більш перспективними при їх використанні в якості гребних електродвигунів[4].

Конструктивне виконання ротора явно полюсного СД може бути реалізоване по наступним варіантам [4]:

- І варіант: СД зі збірним ротором з постійними призматичними магнітами (ППМ) радіального намагнічування типу «зірочка» без опуклих полюсних башмаків (ПБ) та без звареній оболонці;
- ІІ варіант: СД зі збірним ротором з ПМ тангенціального намагнічування колекторного типу без опуклих ПБ та без звареній оболонці.

У даній роботі було спроектовано синхронний двигун з призматичними постійними магнітами (два варіанта розрахунку ротора: типу «зірочка» – з радіальним розташуванням магнітів, колекторного типу – з тангенціальним розташуванням магнітів) з наступними номінальними параметрами:

Номінальна потужність на валу – $P_{2N} = 8500$ кВт.

Лінійна напруга – $U_{лN} = 6600$В, з'єднання фаз – «зірка» ($m = 3$).

Частота мережі – $f = 50$ Гц.

Коефіцієнт потужності – $cos\varphi_N$ = 0,9 (випереджаюче).

Швидкість обертання – $n_N = 150$ об/хв.

Гарантований ККД – $\eta$ не нижче 93,0%.

Статична перевантаженість – не менше 2 ($\frac{M_{max}}{M_N} \geq 2$).

Пусковий момент – $М_п$ не нижче 1,5 $\cdot M_N$.

Пусковий струм – $I_п$ не вище 4,0 $\cdot I_N$.

Вхідний момент – $М_{вх}$ не нижче 0,8 $\cdot M_N$.

Дані два типу ротора були змодельовані у програмі ELCUT.

Дали наведені результати модулювання, у програмі ELCUT, ротора з двома типами намагнічування

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Рисунок 2 – Два типу намагнічування ротора
а) ротор типу «зірочка» з радіальним намагнічуванням
б) колекторний ротор з тангенціальним намагнічуванням

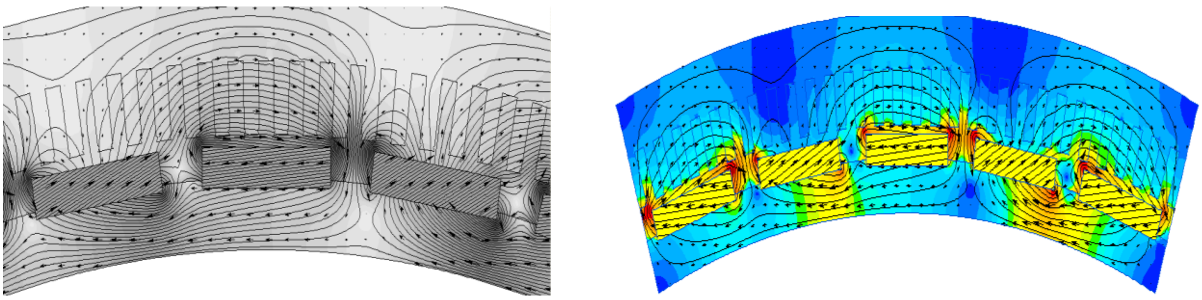


Рисунок 3 – Картина поля для ротора типу «зірочка» з радіальним намагнічуванням

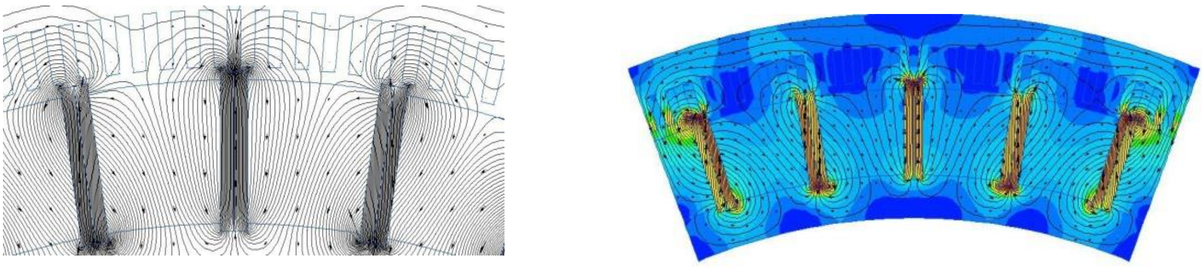


Рисунок 4 – Картина поля для ротора колекторного типу з тангенціальним намагнічуванням

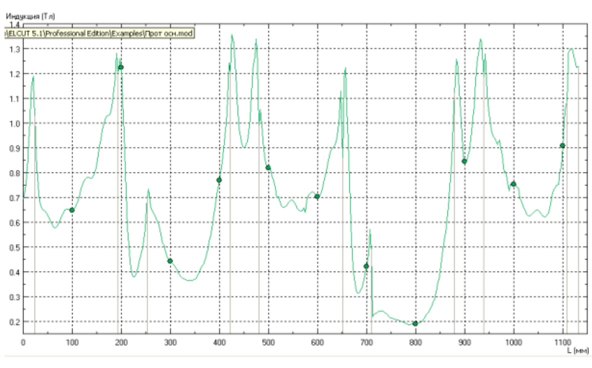


Рис. 5.1 – Магнітна індукція в зазорі для ротора типу «зірочка»

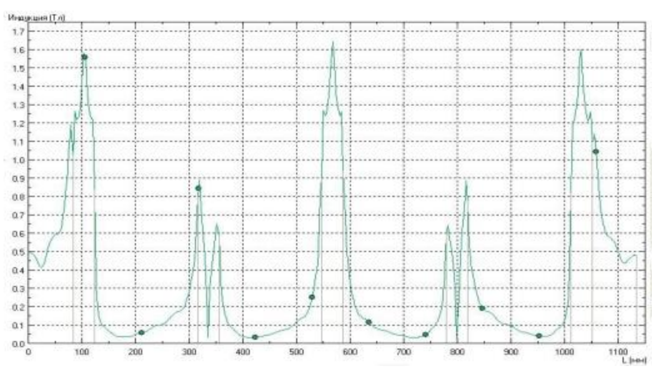


Рис. 5.2 – Магнітна індукція в зазорі для ротора колекторного типу

**Висновок.** За результатами дослідження видно, що конструкція ротора змінюється в залежності від розташування магнітів на ньому [3].

Ротор колекторного типу має магнітну індукцію, магнітний потік, більше ніж ротор типу «зірочка». Так як магнітний потік впливає на основні електричні параметри машини, то очевидно і основні характеристики машини такого виконання будуть краще.

Форма кривих залежностей магнітної індукції, напруженості та магнітного потоку є очевидною для електродвигунів з постійними магнітами колекторного типу.

## ЛІТЕРАТУРА

1.Балагуров В.А. Электрические генераторы с постоянными магнитами / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 280 с.

2.Ледовский А.Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А.Н. Ледовский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.

3.Зарицка Е.И. «Оценка влияния конфигурации магнитной системы на характеристики тихоходного СГПМ/Е.И.Зарицкая М.В.Прыймак, А.М. Олейников//Електротехника и єлектромеханика.- 2012.-№1.-с.28-32.

4.Інтерент ресурс: https://new.abb.com/marine

УДК 681.335

# АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ КОРМОВОЮ ТА БІЧНОЮ АПАРЕЛЯМИ РОЛКЕРА

**Б. В. Крицький,** магістрант
**В. В. Крицький,** магістрант
**В.В. Бушер**, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Мета роботи – розробка прототипу автоматизованої системи керування кормовою та бічною рампами ролкерів з використанням сучасних електроприводів, промислових контролерів та засобів візуалізації, диспетчеризації та нагляду. Автоматизовану систему побудовано на базі SCADA Citech v.7.40, промислових контролерів та керованих електроприводів Mitsubishi Electric. Враховано особливості роботи контролерів та SCADA, що дозволило розподілити задачі між ними, та забезпечено можливість автоматичного підйому/спуску рамп з узгодженим керуванням електроприводів 1-ї та 2-ї секцій для кормової апарелі та механізмів підйому/спуску рампи і опори для бічної апарелі. Система візуалізації за рахунок суміщення графічних образів, контрастних кольорів, розташування органів керування поруч з зображенням відповідного механізму забезпечує зручну роботу, індикацію стану механізмів, в тому числі аварій, та, насамперед, забезпечує автоматичний підйом/спуск рамп. Наукова новизна роботи полягає в розробці методу узгодженого керування механізмами повороту секцій кормової рампи для забезпечення автоматичного підйому/спуску з захистом від заривання або надмірного підйому носу рампи та методу керування електроприводом підйому/спуску бічної рампи з постійною кутовою швидкістю на підставі розрахунку умовної лінійної швидкості в графічному зображенні тросу підтягування рампи в тому числі при одночасній роботі механізму переміщення опори рампи.*

***Ключові слова.*** *Ролкер, апарель, SCADA, промисловий програмований контролер, перетворювач частоти.*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# AUTOMATION OF CONTROL SYSTEMS OF THE QUARTER AND SIDE RAMPS OF A RO-RO

**B.V. Kritsky**, Master Student
**V.V. Kritsky**, Master Student
**V.V. Busher**, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *The purpose of the work is to develop a prototype of an automated control system for the quarter and side ramps of rollers using modern electric drives, industrial controllers, and means of visualization, scheduling, and supervision. The automated system is based on SCADA Citech v.7.40, industrial controllers, and electric drives Mitsubishi Electric. The peculiarities of the controllers and SCADA are taken into account, which allowed distributing tasks between them, and the possibility of automatic lifting / lowering of ramps with coordinated control of electric drives of 1st and 2nd sections for quarter ramp and mechanisms for raising / lowering, and support for side ramp is provided. The visualization system by combining graphic images, contrasting colors, the location of the controls near to the image of the corresponding mechanism provides convenient operation, indication of the status of mechanisms, including accidents, and, above all, provides automatic lifting / lowering of ramps. The scientific novelty of the work is to develop a method of coordinated control of the mechanisms of rotation of the quarter ramp sections to provide automatic lifting / lowering with protection against burying or excessive lifting of the ramp nose and a method of controlling the electric drive lifting / lowering the side ramp at a constant angular velocity. the image of a rope of pulling up of a ramp including at simultaneous work of the mechanism of movement of a support of a ramp.*

***Key words:*** *Ro-Ro, ramp, SCADA, industrial PLC, frequency converter.*

Ролкери призначено для перевезення вантажів на колісній ході, які розташовуються на чисельних палубах, з’єднаних підйомними горизонтальними та/або нахильними пандусами між собою та двома завантажувальними рампами (апарелями) – кормовою та бічною – для забезпечення руху вантажів на берег чи з берега (рис. 1).

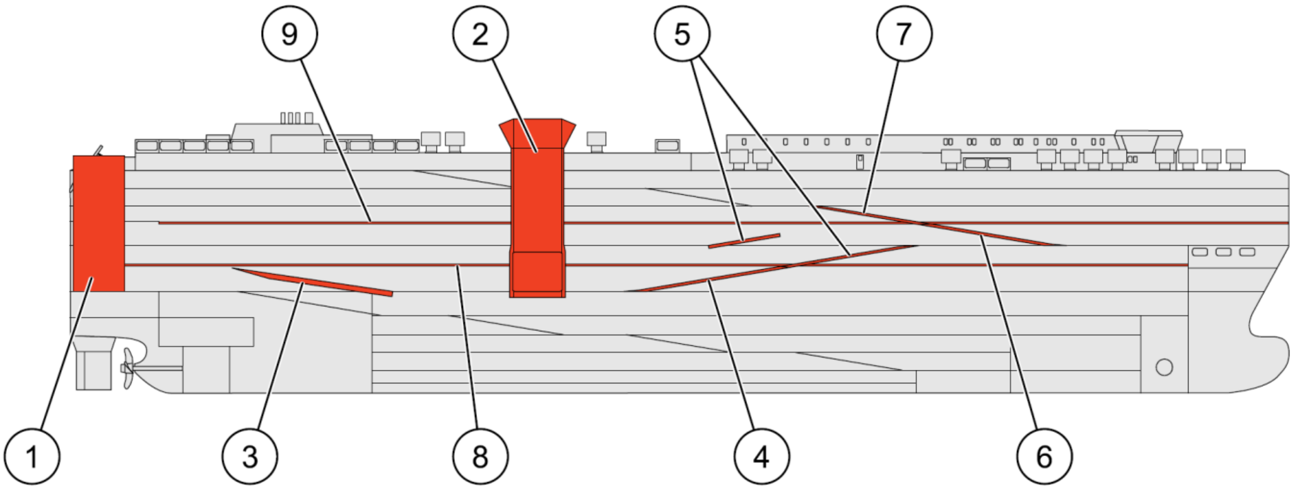



Рисунок 1 – Типова конфігурація вантажних палуб та апарелей на ролкері (1– кормова рампа, 2 – бічна рампа, 3 – навіс, 4…9 – підйомні та рухомі пандуси та палуби) [1]

На ролкерах Noble Ace [2] та Lydden [3] системи підйому/спуску кормової та бічної рамп побудовано десятиріччя тому і передбачають тільки ручне керування.

**Мета роботи** – розробка прототипу автоматизованої системи керування рампами з використанням сучасних електроприводів, промислових контролерів та засобів візуалізації, диспетчеризації та нагляду (SCADA).

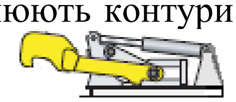
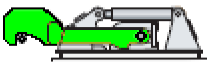
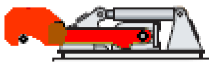
Кормова апарель складається з двох секцій, і основною особливістю її роботи є необхідність узгодженого керування підйомом та спуском так, щоб ніс рампи не зарився у берег або не піднімався дуже високо. Крім того, під час спуску рампи 1-у секцію опускають, а 2-у – піднімають, а під час підйому – навпаки. Це ускладнює роботу оператора.

При роботі у ручному режимі для виключення помилок всі операції виконуються послідовно для окремих секцій з візуальним контролем положення рампи. Також для коректної роботи рампи встановлений датчик кута відхилення 1-й секції рампи від вертикалі, після проходження якого необхідно вмикати механізм підйому другої секції під час спуску рампи, або спуску 2-ї секції під час підйому рампи.

Для автоматичної системи керування необхідно розподілити зони відповідальності між контролером та SCADA. З урахуванням того, що типовий цикл контролера складає одиниці мілісекунд, він може бути визначений точно і за цей час обов’язково виконуються всі операції програми, то на контролер необхідно покласти відповідальні задачі безпосереднього контролю стану кожного виконавчого елементу та аварійних ситуацій. А SCADA з циклом виконання, який складає приблизно 0,05 с та може випадково змінюватися із-за фонових програм, повинна відпрацьовувати команди оператора, формувати діаграми швидкості (положення) механізмів на підставі команд та інформації від датчиків та забезпечувати візуалізацію процесів, збереження протоколів дій оператора та відпрацювання штатних і аварійних датчиків.

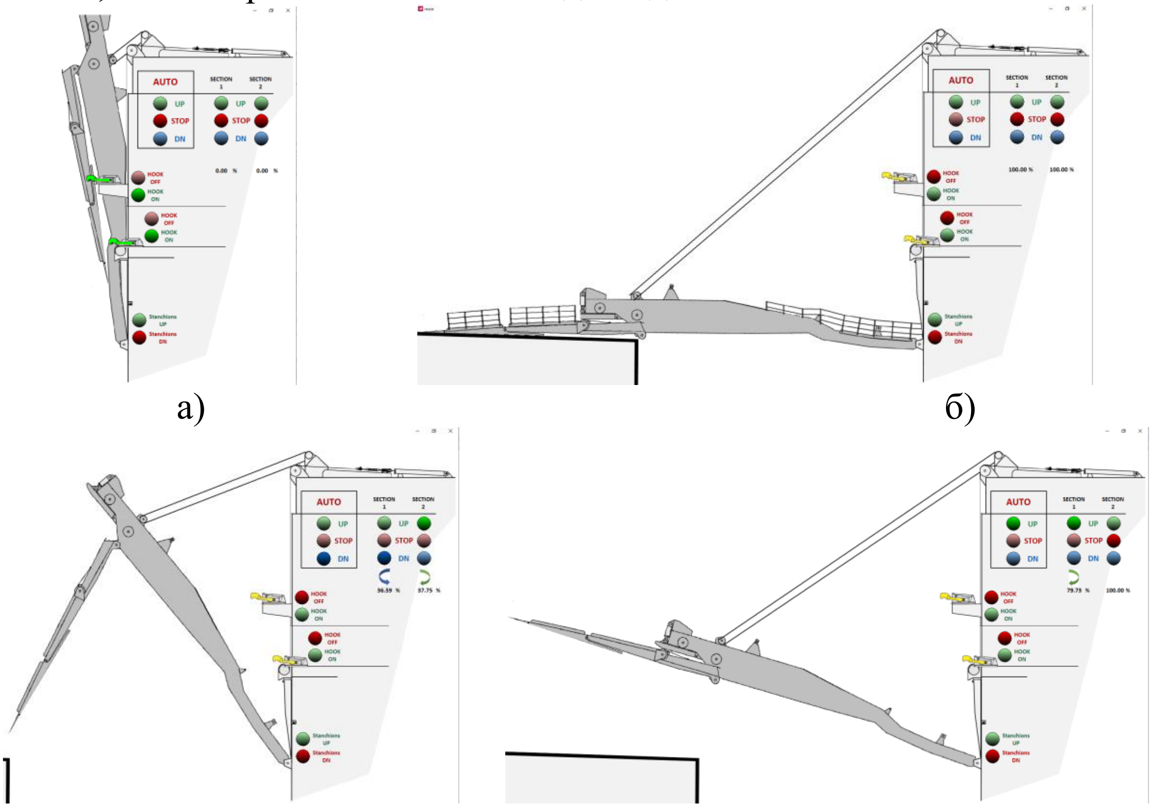
На підставі цього розроблено візуальну систему, в якої відображається положення рампи, стан окремих технологічних датчиків, координат та органів керування. На рис. 2 відображено декілька кадрів з ключовими положеннями рампи.

Можливості SCADA дозволяють реалізувати деякі спеціальні ефекти, які з одного боку підкреслюють на екрані найважливіші події, а з другого боку зменшують кількість графічних елементів.

Так, кнопки за рахунок зміни кольору одночасно виконують функції індикатора дії – вони передають команду контролеру та отримують від нього підтвердження виконання операції, фіксатори змінюють контури і кольори відповідно до команд та їх фактичного стану:  – розімкнений;  – замкнений;  – аварія, якщо стан фіксаторів на лівому та/або правому боках рампи не відповідає заданому стану після певної затримки часу. Також за допомогою кольору та напряму стрілок  підкреслюється напрям руху механізмів підйому/спуску окремих секцій рампи.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Органи керування згруповано по секціям та окремо для автоматичного керування, а також розташовано біля відповідних механізмів.




а) б)

в) г)

Рисунок 2 – Візуальне оформлення роботи кормової рампи
(а – рампа піднята і зафіксована; б – рампа на березі; в – найнижча точка носу при спускі; г – найвища точка носу при підйомі)

Також вирішено завдання відображення тросу для першої секції за допомогою двох функцій – розрахунку умовної довжини канату L_rope1 та повороту лінії на кут fi_rope1 від кута повороту 1-ї секції fi_section1:

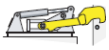
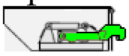
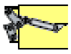
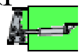
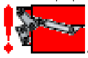
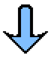
L_rope1 = Sqrt ( 900*900 + 815*815 – 2 * 900 * 815 * Cos ( ( fi_section1 + 45 ) /57.3)),

fi_rope1 = – 90 – 57.3 * ArcSin ( 850 * Sin ( ( 45 + fi_section1 ) / 57.3 ) / L_rope1 ).

Це візуально необхідно для створення цілісного графічного образу.

SCADA бічної рампи побудовано за тими ж принципами. Але суттєвою відмінністю між рампами є можливість бічної рампи не тальки підніматися та опускатися на берег, але й переміщувати точку опори на борту судна поруч з необхідною палубою – 5, 6a, 6b, MaxLevel.

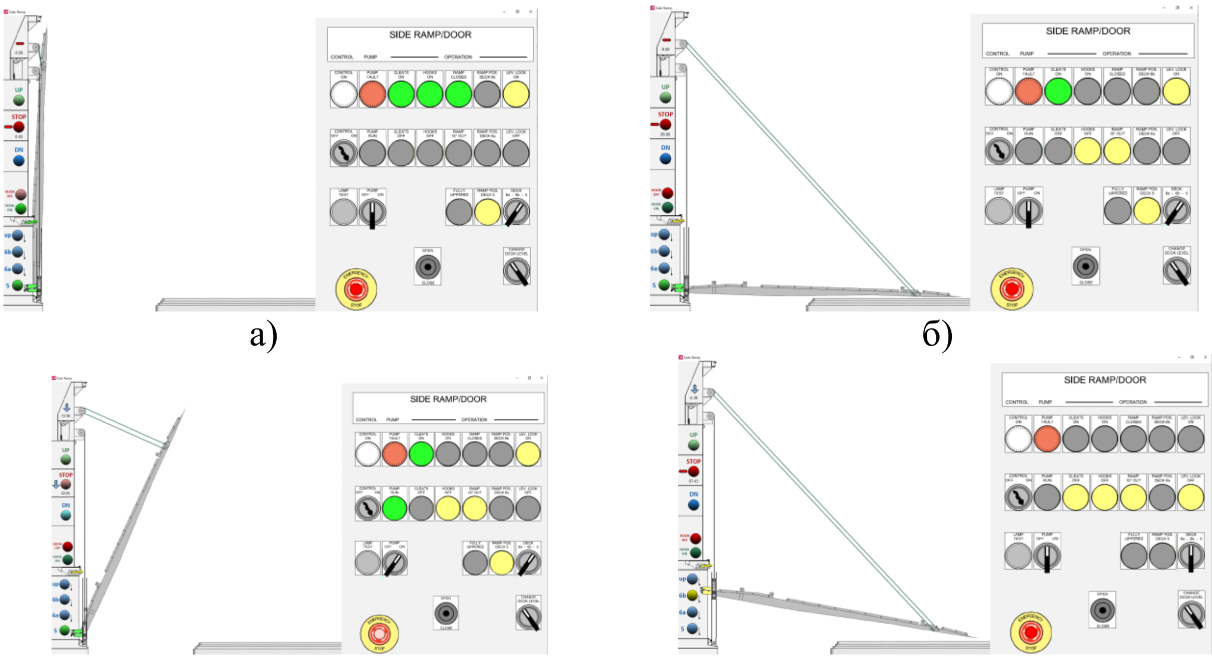
Тому алгоритм роботи передбачає контроль двох координат – положення точки опору відповідно до команди оператора (аналогічно ліфту) та спуск/підйом рампи. Положення точки опори впливає на механізм підйому рампи – максимальний кут спуску залежить від палуби, проти якої зафіксовано рампу.

В SCADA реалізовано функцію контроля відстані рампи від берега незалежно від палуби, що забезпечує захист від заривання або відриву рампи від берега. Стан фіксаторів відображається графічними елементами:  (розімкнений) та  (замкнений) – для фіксаторів рампи до борту;  та  – для фіксаторів опори рампи проти необхідної палуби. За основу графічних елементів взято їх фактичний вигляд з технічного паспорту приладів [1], але для підкреслення стану за допомогою Bitmap Editor змінено кольори. Якщо стан фіксаторів не відповідає заданому через певний час, зображення змінюються на аварійні: , . Додаткові графічні елементи для відображення напряму руху тросу  (вниз),  (вгору),  (стоп) поєднано в групу . Необхідний елемент вмикається на підставі аналізу знаку швидкості відповідного електроприводу.

Кнопки керування фіксаторами, підйому/спуску опори, автоматичного підйому/спуску рампи розташовано безпосередньо поруч з відповідними механізмами.

Панель справа відповідає фактичному вигляду секції керування рампою та за допомогою графічних образів «ламп» та «перемикачів», які змінюють свої кольори та кут повороту, відображає стан механізму.

Основні положення бічної рампи на екрані SCADA відображено на рис. 3.




а) б) в) г)

Рисунок 3 – Візуальне оформлення роботи бічної рампи
(а – рампа піднята і зафіксована; б – рампа на березі; в – рампа нижче 15 °;
г – рампа спускається з MaxLevel до палуби 6b)

Для відображення графічного образу тросу використано функції масштабування та повороту на підставі розрахунку значень L_rope і fi_rope залежно від положення точки опору рампи s_deck та кута повороту рампи s_fi:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

L_rope = Sqrt ( (875 – s_deck*60)*(875 – s_deck*60) + 800*800 – 2 * (875 – s_deck*60) * 800 * Cos ( (90 + s_fi) / 57.3) ),

fi_rope = 90 – 57.3 * ArcSin ( 800 * Sin ( (90 + s_fi) / 57.3 ) / L_rope).

Але, крім графічного зображення, розрахунок умовної довжини тросу надає змогу сформувати завдання швидкості для електроприводу механізму підйому рампи для забезпечення постійної кутової швидкості:

v_rope = – ( L_rope – L_rope_old ) / 0.05,

L_rope_old = L_rope.

Роботу SCADA на комп’ютері виконано у режимі емуляції процесів з локальними змінними. Але усі константи та змінні в програмі SCADA відповідають тегам, пов’язаним з програмою контролера. Тому перехід на робочу версію програми з використанням контролерів Mitsubishi Electric FX3U [4] та перетворювачів частоти FR-F800-E [5] може бути здійснений за короткий час шляхом переміщення локальних змінних у теги з прив’язкою до відповідних фізичних дискретних та аналогових входів та виходів контролера та його внутрішніх змінних.

**Висновки**. Розроблено прототипи систем керування кормовою та бічною апарелями ролкерів для заміни ручного керування на автоматизовані системи з використанням SCADA Citech v.7.40, промислових контролерів та керованих електроприводів Mitsubishi Electric. В конфігурації системи враховано особливості роботи контролерів та SCADA, що дозволяє розподілити задачі між ними, та забезпечено можливість автоматичного підйому/спуску рамп з узгодженим керуванням електроприводів 1-ї та 2-ї секцій для кормової апарелі та механізмів підйому/спуску рампи і точки опору для бічної апарелі. Система візуалізації за рахунок суміщення графічних образів, контрастних кольорів, розташування органів керування поруч з зображенням відповідного механізму забезпечує зручну роботу та, насамперед, забезпечує автоматичний підйом/спуск рамп.

**Наукова новизна** роботи полягає в розробці методу узгодженого керування механізмами повороту секцій кормової рампи для забезпечення автоматичного підйому/спуску з захистом від заривання або надмірного підйому носу рампи та методу керування електроприводом підйому/спуску бічної рампи з постійною кутовою швидкістю на підставі розрахунку умовної лінійної швидкості в графічному зображенні тросу підтягування рампи в тому числі при одночасній роботі механізму переміщення опори рампи.

### ЛІТЕРАТУРА

1.MacGregor.pdf – 411025, September 2011, Edition 2, – 568 p.

2.http://marinelike.com/en/vessels/7714416-noble_ace.html [електронний ресурс].

3.https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/8315-lydden-imo-9782091 [електронний ресурс].

4.https://ru3a.mitsubishielectric.com/fa/ru/shared/img/producttables/1_PLC_main_unit_FX3U_FX3UC [електронний ресурс].

5.https://ru3a.mitsubishielectric.com/fa/ru/products/drv/inv/local/f800 [електронний ресурс].

УДК 681.335

# ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ СУДНОВИМ ЛІФТОМ

**І. І. Сапожник**, магістрант
**В. Бушер**, д.т.н., професор
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Мета роботи – удосконалення методу керування електроприводом ліфту відповідно до можливостей сучасних асинхронних приводів з векторним керуванням з орієнтацією за полем для забезпечення підвищеної точності позиціонування при обмеженнях швидкості, моменту та швидкості зростання моменту. Аналіз можливостей сучасних перетворювачів частоти дозволяє запропонувати метод позиціонування кабіни ліфту шляхом формування детермінованої діаграми швидкості з обмеженням ривка та прискорення, що забезпечує лінійне безударне зростання моменту двигуна. Зупинка стає можливою в точно визначений час при мінімальній розрахунковій похибці позиціонування. Додаткове підвищення точності забезпечує ПІ-регулятор за похибкою між сформованою та фактичною швидкостями руху кабіни. Реалізація запропонованого методу на базі промислового контролеру з використанням розповсюджених енкодерів також надає можливість встановлювати кінцеві датчики на точно визначеній відстані від кожної точки зупинки, переїзд яких «вмикає» гальмівну ділянку діаграми і забезпечує точну зупинку незалежно від завантаження кабіни.*

***Ключові слова.*** *Вантажопасажирський ліфт, промисловий програмований контролер, перетворювач частоти з векторним керуванням, асинхронний електропривод.*

# OPTIMIZATION OF SHIP ELEVATOR CONTROL

**I.I. Sapozhnyk**, Master Student
**V.V. Busher**, Dr. of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *The purpose of the work is to improve the method of control of the electric drive of the elevator in accordance with the capabilities of modern asynchronous drives with field orientation control to ensure increased positioning accuracy with speed, torque, and torque growth limits. The analysis of possibilities of modern frequency converters allows offering a method of positioning of an elevator cab by the formation of the deterministic diagram of speed with restriction of jerk and acceleration that provides linear shock-free growth of the moment of the engine. Stopping becomes possible at a precisely defined time with minimal positioning error. An additional increase in accuracy is provided by the PI controller for the error between the generated and the actual speed of the cab. The implementation of the proposed method on the basis of an industrial controller using common encoders also makes it possible to install end switces at a precisely defined distance from each stopping point, moving which "turns on" the brake section of the diagram and provides accurate stopping regardless of cab load.*

***Keywords.*** *Freight and passenger elevator, industrial programmable controller, frequency converter with vector control, asynchronous electric drive.*

Пасажирський ліфт призначений для підйому і спуску людей та/або вантажів у кабіні, рухомій по жорстких вертикальних направляючих в спеціальній ізольованій шахті (рис. 1). Основні вимоги до ліфту – комфортне і безпечне переміщення пасажирів на необхідну палубу. В окремих випадках допускається транспортування вантажів у супроводі пасажира, при цьому сумарна вага не повинна перевищувати встановлену вантажопідйомність ліфта. Ліфт та його система керування повинні відповідати певним критеріям і бути пристосованим до роботи на судні.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

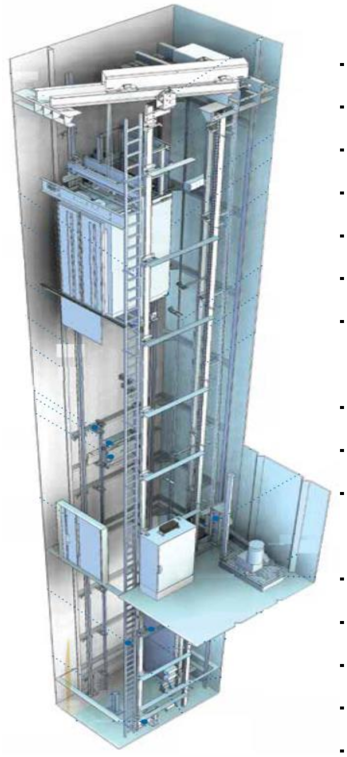


Рисунок 1 – Загальний вигляд ліфта [1]

Основними складовими частинами ліфта є:

- - головний електропривод з редуктором;
- - кабіна;
- - противага;
- - тягові ремені;
- - двері кабіни;
- - електропривод дверей кабіни;
- - кінцеві та прикінцеві датчики положення дверей кабіни;
- - двері шахти на кожній палубі;
- - електроприводи дверей шахти на кожній палубі;
- - кінцеві та прикінцеві датчики положення дверей шахти на кожній палубі;
- - направляючі кабіни і противаги;
- - буфери кабіни і противаги;
- - панель управління з контролером;
- - датчики положення кабіни на кожній палубі;
- - обмежувач швидкості.

Одним з основних пристроїв, що повинен забезпечити надійну роботу і комфорт переміщення у ліфті, є електропривод головного двигуна. Алгоритм керування електроприводом від контролера та його регулятори повинні забезпечити виконання групи вимог [2]:

1. Точне позиціювання ліфту на кожній палубі незалежно від напряму руху та завантаження кабіни;
2. Обмеження швидкості руху на паспортному рівні;
3. Обмеження прискорення;
4. Обмеження моменту і струму двигуна в динамічних і усталених режимах;
5. Обмеження темпу зростання моменту для зменшення ударних навантажень в механічній частині ліфта.

Основною дією системи керування є перевезення пасажирів та/або вантажу в кабіні ліфта на задану палубу. Найбільш розповсюдженими в останні роки є електроприводи з векторним керуванням асинхронними короткозамкненими двигунами, які допускають два режими роботи: керування швидкістю та керування моментом двигуна. В першому випадку в системі керування активовано два підпорядкованих регулятора швидкості і векторного керування моментом, в другому – сигнал з зовнішньої контролера безпосередньо передається на регулятор моменту. При цьому існує можливість керування як із застосуванням енкодерів, так і без них в режимі "Sensorless" [3].

**Метою роботи** є удосконалення методу керування електроприводом ліфту відповідно до можливостей сучасних асинхронних приводів з векторним керуванням з орієнтацією за полем для забезпечення підвищеної точності позиціонування при обмеженнях швидкості, моменту та швидкості зростання моменту.

Для виконання цих вимог необхідно сформувати таку діаграму зміни положення кабіни $s(t)$, яка буде неперервна, тричі диференційована. Важливо, що в системі керування необхідно буде лише задавати діаграму третьої похідної $s'''_{\max}$, а інші координати зможе обчислити контролер будь-яким методом інтегрування [4]:

$$\begin{aligned} s'' &= \frac{d^2 s}{dt^2} = \int_0^t \frac{d^3 s}{dt^3}\,dt, \\ s' &= \frac{ds}{dt} = \int_0^t \frac{d^2 s}{dt^2}\,dt, \\ s(t) &= \int_0^t \frac{ds}{dt}\,dt. \end{aligned} \tag{1}$$

Близькі за виглядом діаграми формують для демпфування коливань підвішеного вантажу або довгих рухомих конструкцій [4–7].

Задаємо початкову ділянку діаграми з інтервалами часу $t_{1.1} - t_{1.2} - t_{1.1}$, на якій необхідно виконання умови $0 \le |F(t)| \le F_{\max}$.

З закону зміни $s'''(t)$:

$$s'''(t) = \begin{cases} s'''_{\max}\ \forall\ 0 \le t \le t_{1.1}, \\ 0\ \forall\ t_{1.1} \le t \le t_{1.1} + t_{1.2}, \\ -s'''_{\max} \forall\ t_{1.1} + t_{1.2} \le t \le 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases} \tag{2}$$

отримаємо:

$$s''(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} t\ \forall\ 0 \le t \le t_{1.1}, \\ t_{1.1}\ \forall\ t_{1.1} \le t \le t_{1.1} + t_{1.2}, \\ t_{1.1} - \left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right) \forall\ t_{1.1} + t_{1.2} \le t \le 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases}$$

$$s'(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} \dfrac{t^2}{2}\ \forall\ 0 \le t \le t_{1.1}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^2}{2} + t_{1.1}\left(t - t_{1.1}\right) \forall\ t_{1.1} \le t \le t_{1.1} + t_{1.2}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^2}{2} + t_{1.1}t_{1.2} + t_{1.1}\left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right) - \dfrac{\left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right)^2}{2} \forall\ t_{1.1} + t_{1.2} \le t \le 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases}$$

$$s(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} \dfrac{t^3}{6}\ \forall\ 0 \le t \le t_{1.1}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^3}{6} + \dfrac{t_{1.1}{}^2\left(t - t_{1.1}\right)}{2} + \dfrac{t_{1.1}\left(t - t_{1.1}\right)^2}{2} \forall\ t_{1.1} \le t \le t_{1.1} + t_{1.2}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^3}{6} + \dfrac{t_{1.1}{}^2 t_{1.2}}{2} + \dfrac{t_{1.1}t_{1.2}{}^2}{2} + \left(\dfrac{t_{1.1}{}^2}{2} + t_{1.1}t_{1.2}\right)\left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right) + \\ + \dfrac{t_{1.1}\left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right)^2}{2} - \dfrac{\left(t - \left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\right)^3}{6} \forall\ t_{1.1} + t_{1.2} \le t \le 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases} \tag{3}$$

В кінцевих точках інтервалів отримаємо:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$s''(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} t_{1.1} \ \forall\, t = t_{1.1}, \\ t_{1.1} \ \forall\, t = t_{1.1} + t_{1.2}, \\ 0 \ \forall\, t = 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases}$$

$$s'(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} \dfrac{t_{1.1}{}^2}{2} \ \forall\, t = t_{1.1}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^2}{2} + t_{1.1}t_{1.2} \ \forall\, t = t_{1.1} + t_{1.2}, \\ t_{1.1}t_{1.2} + t_{1.1}{}^2 \ \forall\, t = 2t_{1.1} + t_{1.2}, \end{cases}$$

$$s(t) = s'''_{\max} \times \begin{cases} \dfrac{t_{1.1}{}^3}{6} \ \forall\, t = t_{1.1}, \\ \dfrac{t_{1.1}{}^3}{6} + \dfrac{t_{1.1}t_{1.2}{}^2}{2} \ \forall\, t = t_{1.1} + t_{1.2}, \\ t_{1.1}{}^3 + \dfrac{3t_{1.1}{}^2 t_{1.2}}{2} + \dfrac{t_{1.1}t_{1.2}{}^2}{2} \ \forall\, t = 2t_{1.1} + t_{1.2}. \end{cases} \quad (4)$$

Відомо, що при формуванні таких діаграм необхідно розглядати декілька класів переміщення: великі – швидкість досягає номінальної величини; середні – прискорення досягає номінальної величини; малі – ривок має номінальну величину; надмалі – за припустимий мінімальний час реакції системи ривок необхідно зменшувати. Проаналізуємо механізм ліфту.

В момент часу $t = t_{1.1}$ прискорення достає максимуму, тобто $a_{\max} = s'''_{\max} t_{1.1}$, а швидкість стає максимальною $v_{\max} = s'''_{\max}\left(t_{1.1}t_{1.2} + t_{1.1}{}^2\right)$ при $t = 2t_{1.1} + t_{1.2}$. За цей час ліфт повинен пройти шлях $s'''_{\max}\left(t_{1.1}{}^3 + \dfrac{3t_{1.1}{}^2 t_{1.2}}{2} + \dfrac{t_{1.1}t_{1.2}{}^2}{2}\right)$.

За час $2t$ (розгін та гальмування з діаграмою (2) з протилежними знаками) буде пройдено шлях $s_{12}$, що дозволяє встановити необхідні співвідношення між $a_{\max}, v_{\max}, s'''_{\max}, t_{1.1}, t_{1.2}$:

$$\begin{aligned} a_{\max} &= s'''_{\max} t_{1.1}, \\ v_{\max} &= s'''_{\max}\left(t_{1.1}t_{1.2} + t_{1.1}{}^2\right) = a_{\max}\left(t_{1.2} + t_{1.1}\right), \\ s_{12} &= 2s'''_{\max}\left(t_{1.1}{}^3 + \frac{3t_{1.1}{}^2 t_{1.2}}{2} + \frac{t_{1.1}t_{1.2}{}^2}{2}\right) = 2a_{\max}\left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)\left(t_{1.1} + \frac{t_{1.2}}{2}\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Є нормативні величини, які дозволяють визначити необхідні часові інтервали. Так, комфортним вважається прискорення не більше $a_{\max} = 0.1g = 1\,m/s^2$, паспортна швидкість ліфту $v_{\max} = 0.5\,m/s$. Відповідно $t_{1.2} + t_{1.1} = 0.5\,s$. Яким би не було співвідношення між $t_{1.1}, t_{1.2}$, сумарний час руху між двома сусідніми палубами не зможе бути більшим за 1 s, якщо між ділянками розгону та гальмування не буде ділянки з постійною максимальною швидкістю. При звичайній відстані 3 *m* та максимальній швидкості 0.5 *m/s* це неможливо. Тому необхідний третій часовий інтервал $t_{1.3}$, розрахунок якого достатньо простий. Якщо визначено величини $t_{1.1}, t_{1.2}$, то

$$t_{1.3} = \frac{s_L - 2a_{\max}\left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)}{a_{\max}\left(t_{1.1} + t_{1.2}\right)} = \frac{s_L}{v_{\max}} - \left(2t_{1.1} + t_{1.2}\right). \qquad (6)$$

В діаграмах на рис. 2 прийнято $t_{1.1} = 0.3\,s$. Відповідно $s'''_{\max} = 3.(3)\,m/s^3$, $s_{12} = 0.4\,m$. При відстані між палубами 3 *m* отримаємо $t_{1.3} = 5.2\,s$.

Таким чином, будь-яке переміщення ліфту між палубами відноситься до класу великих.

Така діаграма має переваги перед діаграмою, яку відпрацьовує стандартна система з регулятором положення:

1) момент двигуна є знакозмінним, але він накладається не стрибком, як це пропонується в більшості відомих методів, а змінюється плавно в відповідності до завдання;

2) шлях, який проходить кабіна до кінця періоду розгону та гальмування, є абсолютно детермінованим, оскільки, по суті, це задано формулами (5). Це надає змогу використовувати датчики положення на певної відстані від точки зупинки для початку формування гальмівної ділянки діаграми.

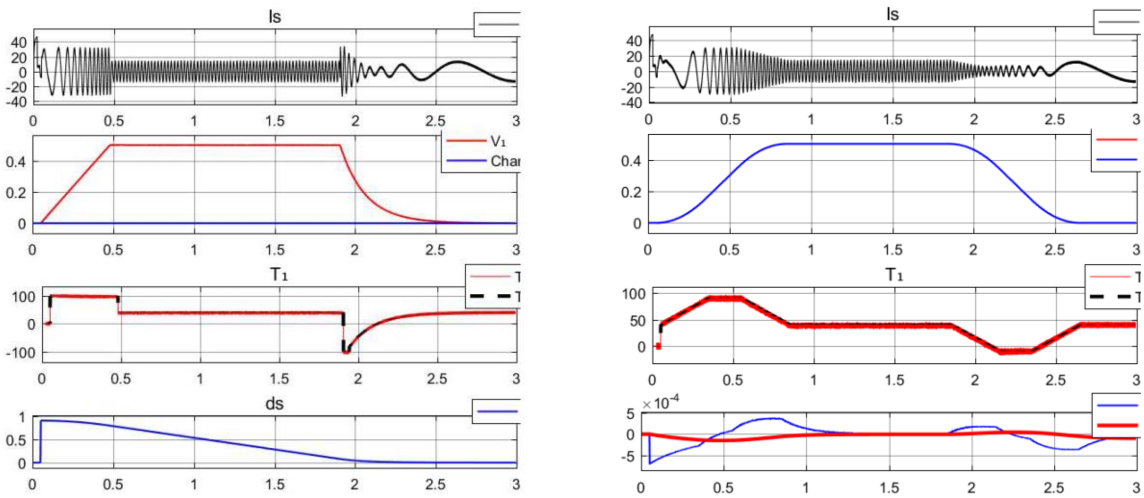
Якщо вважати електропривод ідеальним, подача на вхід завдання швидкості сигналу $s'(t)$ забезпечить переміщення кабіни на задану відстань. Але із-за електромагнітних перехідних процесів та активного і реактивного навантаження на механізм фактична діаграма буде відрізнятися від розрахункової.

На рис. 2 порівняно діаграми струмів статора, швидкостей, моментів та похибки позиціонування $ds$ в системі з класичним пропорційним регулятором положення (рис. 2,а) та в системі із блоком завдання швидкості за формулами (3) (рис. 2,б). Відповідні блоки для нової системи позначено на моделі (рис. 2,в) червоним кольором. Видно, що час перехідного процесу майже не змінився, але в запропонованій системі моменти змінюються за лінійним законом, а не стрибками. А наприкінці перехідного процесу точно в заданий час похибка складає 2e-4 *m* на відміну від класичного регулятора з затягнутим процесом.

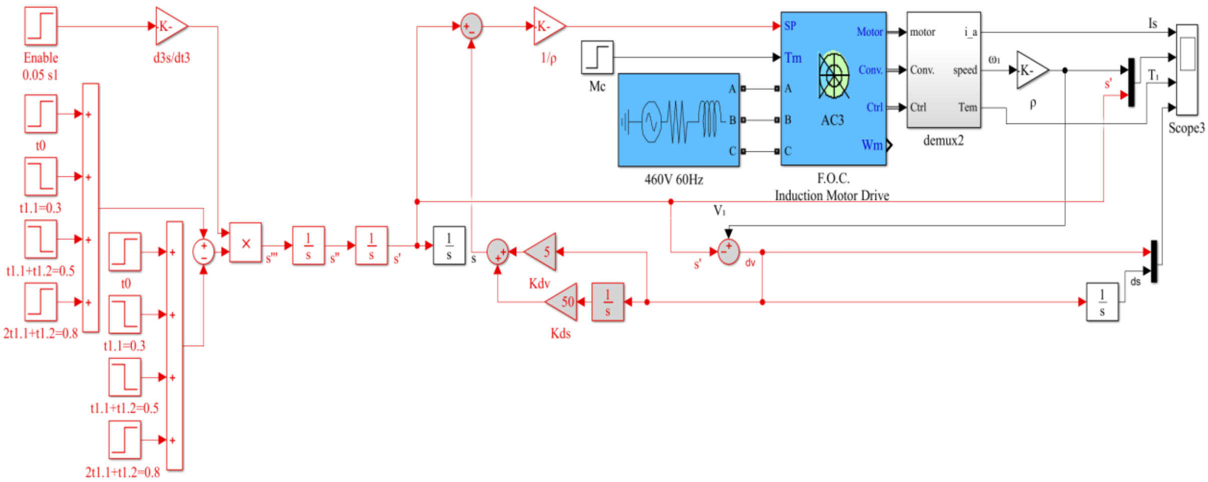
Аналіз графіків на рис. 2,б дозволяє запропонувати ПІ-регулятор за похибкою між завданням $s'$ та швидкістю механізму, що фізично відповідає ПД-регулятору положення. Блоки такого регулятора зображено в моделі сірим кольором з червоним текстом на рис. 2,в. Похибка за положенням не перевищує 8e-6 *m*, що менш за точність вимірювання будь-яким датчиком положення для ліфтових механізмів.

Реалізація запропонованого методу можлива на базі промислового контролеру з обробкою чисел з плаваючою комою, наприклад, контролерів Mitsubishi Electric, та з використанням розповсюджених енкодерів з 2500 *ppr* та стандартною схемою мультиплікації імпульсів з коефіцієнтом 4, яку забезпечують надшвидкісні лічильники у складі периферійних модулів цих контролерів. Також необхідно встановлювати кінцеві датчики на відстані 0.4 *m* від кожної точки зупинки, переїзд яких буде вмикати гальмівну ділянку діаграми швидкості.

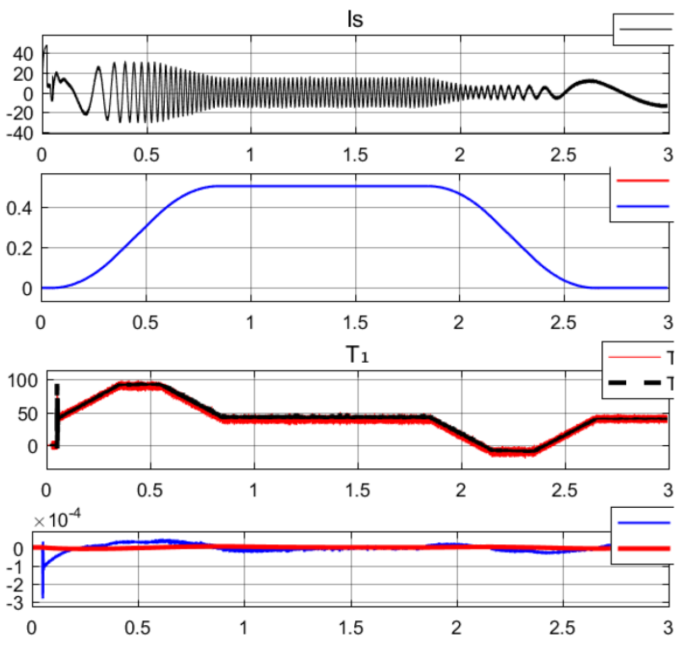
ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245



а) б)




в)



г)

Рисунок 2 – Порівняння перехідних процесів в системах з класичним П-регулятором положення (а), в системі з формуванням діаграми швидкості за формулами (3) (б), та в системі (в) з ПД-регулятором положення і формуванням діаграми швидкості (г)

***Висновки.*** Аналіз можливостей сучасних перетворювачів частоти для керування асинхронними короткозамкненими двигунами з орієнтацією вектору поля дозволив запропонувати метод позиціонування кабіни ліфту шляхом формування детермінованої діаграми швидкості з обмеженням ривка та прискорення, що забезпечує лінійне безударне зростання або зменшення моменту двигуна. При цьому зупинка стає можливою в точно визначений час при розрахунковій похибці позиціонування менш 1 *mm*. Реалізація запропонованого методу на базі промислового контролеру з обробкою чисел з плаваючою комою та з використанням розповсюджених енкодерів з 2500 *ppr* та стандартною схемою мультиплікації імпульсів також надає можливість встановлювати кінцеві датчики на точно визначеній відстані від кожної точки зупинки.

**Наукова новизна** полягає в формуванні діаграм руху ліфту з обмеженням ривка та прискорення та синтезі додаткового ПІ-регулятора за похибкою між сформованою та фактичною швидкостями руху, які забезпечують точну зупинку кабіни ліфта незалежно від завантаження.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. https://kleemann-eit.ru/images/katalog/final/Marine_Solutions_Eng_0917.pdf
2. Герасимяк Р. П. Электроприводы и системы управления крановых механизмов : уч. пособие. / Р. П. Герасимяк, В. В. Бушер, А. Г. Калинин. – Одесса. Наука и Техника, 2014. – 202 с.
3. Шестака, А. І., Мельнікова, Л. В., Бушер, В. В. Управління моментом двигуна в електроприводі контейнерного крана // Електромеханічні і енергозберігаючі системи, p-ISSN 2072-2052, e-ISSN 2074-9937. – Кременчук: КрНУ, – 2020. – Вип. 2/2020. – С. 25–34. https://doi.org/10.30929/2072-2052.2020.2.50.25-34
4. Khandakji, K. Parabolic Angle-based Anti-sway Control for Container Cranes with Limited Dynamic Loads [Text] / Kamal Khandakji, Victor Busher, Lubov Melnikova // Int. J. of Automation and Control, ISSN online: 1740-7524 ISSN print: 1740-7516. – InderScience Publishers, 2019. – Vol. 13, No. 3. – P. 282–300. https://doi.org/10.1504/IJAAC.2019.098581
5. Ilharfi A. Control Design of an Overhead crane System from the Perspective of Stabilizing Undesired Oscillations, (2011), IMA Journal of Mathematical Control and Information Publ., 28, – pp. 267–278.
6. Толочко О. И. Гашение горизонтальных упругих колебаний конструкции мостового крана [Текст] / О. И. Толочко, Ф. Палис, Д. В. Бажутин // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тем. вип. «Проблеми АЕП. Теорія і практика». – Кременчук. - 2012. – №3/2012 (19). – С. 336–339 url: http://ees.kdu.edu.ua/wp-ontent/uploads/2013/04/336.pdf
7. Kentaro Sato, Kiyoshi Ohishi, Toshimasa Miyazaki. Anti-Sway Crane Control Considering Wind Disturbance and Container Mass // Electrical Engineering in Japan, Vol.193, No.1, 2015 – p. 21-32.

УДК 681.121

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ ВИТРАТОМІРОМ РІДИНИ

**Т.О. Гаур,** ст.викладач
**О.І. Зарицька,** к.т.н., доцент
**А.О. Ліщинський,** магістрант
**В.І. Цацко,** к.ф-м.н, ст.викладач
Одеський національний морський університет

***Анотація.*** *Розглянуте застосування тензометричного витратоміру рідини, в якому для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби для системи завантаження палива на*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*судно. Показано, що встановлення третього тензорезистора дозволяє поширити вимірювальний діапазон швидкостей потоку Встановлений вплив геометричних розмірів та фізичних властивостей рідини на величину похибки.. При малих швидкостях потоку при стані системи, яка близька до рівноваги, вимірювання необхідне проводити за допомогою виразів, що описують вплив втрат на тертя палива IFO та MGO.*

***Ключові слова:*** *рідина, витратомір, тензометрія, паливна система, похибка,*

## INVESTIGATION OF A SHIP FUEL SYSTEM WITH A TENSOMETRIC LIQUID VITRATOMER

**T.Gaur**, senior lecturer
**O .Zaritskaya**, Ph.D., docent
**A. Lishchynsky**, undergraduate
**V.Tsatsko**, Ph.D., senior lecturer
Odessa National Maritime University

***Abstract.*** *The application of a strain gauge of liquid flow is considered, in which to increase the reliability and accuracy of measurement it was proposed to measure the flow of liquid by the difference of static pressures in two different sections of the pipe for the fuel loading system on the ship. It is shown that the installation of the third strain gage allows to extend the measuring range of flow velocities. The influence of geometric dimensions and physical properties of the fluid on the magnitude of the error is established. At low flow rates at a system state close to equilibrium, measurements must be made using expressions describing the effect of IFO and MGO fuel friction losses.*

***Keywords:*** *liquid, flow meter, strain gauge, fuel system, error.*

**Постановка проблеми.** Судна - самі «ненажерливі» і в той же час невибагливі споживачі палива: для їх заправки використовують і дизель, і мазут, і суміші різних фракцій вуглеводнів. Однак «всеїдність» суднових двигунів сьогодні все сильніше обмежують екологічні норми. А жорсткі вимоги безпеки при бункеруванні - заправці судів паливом - дозволяють мінімізувати забруднення морських вод нафтопродуктами. Для швидкого та якісного здійснення операції бункерування необхідно використовувати виміри витрат палива.

**Аналіз останніх наукових досліджень**. Відомі індукційний, тепловий та інші витратоміри, недоліками яких є необхідність встановлення в потоці рідини тих чи інших елементів вимірювання. Це призводить до погрішності вимірювань протягом зростання часу перебування цих елементів в рідині і зменшує їх надійність. Рані нами було показане , що для підвищення надійності та точності в баластно-осушувальній системі можливе використання вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби [1]. Встановлено, що при зменшенні швидкості потоку зростає похибка, яка викликана наявністю тертя у трубопроводі. Розрахунки, які були проведені для забортної води, де швидкість потоку обмежена правилами Регістру до значення 3,25 м/с, показали зменшення похибок при зростанні швидкості потоку [2], зменшенні відстані між тензорезисторами. Було показано, що використання способу вимірювань з трьома тензорезисторами [3] дозволяє поширити діапазон швидкостей потоку. Питання можливості використання тензометрії при завантаженні палива, яке володіє більшою в'язкістю порівняно з забортною водою в роботі [1] не розглядалась.

Оптимальна швидкість [4] для в’язких рідин не перевищує 1,7 м/с, для маловʼязких – 2,0 м/с

**Метою даної роботи** є дослідження системи завантаження палива із тензометричним витратоміром рідини (рисунок 1).

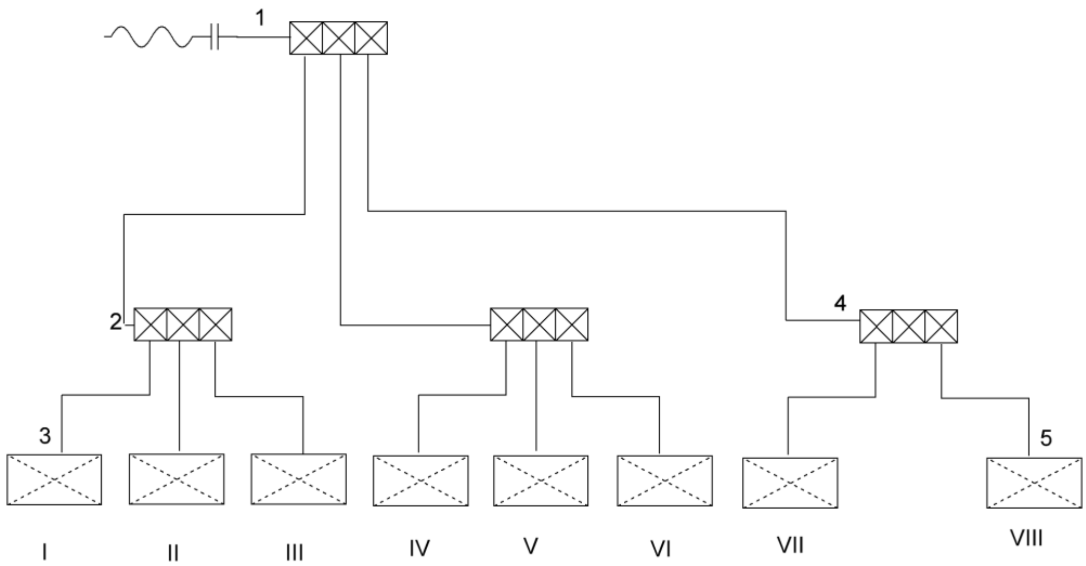



Рисунок 1 – Схематичне зображення суднової підсистеми завантаження палива
I-VI – танки з IFO; VII, VIII – танки з MGO

В роботі [2] було показано, що при малих швидкостях потоку показники такого витратоміру внаслідок наявності тертя залежать як від геометричних розмірів трубопроводу, так і від швидкості потоку, в’язкості рідини.

Можна показати, що співвідношення різниці тиску за рахунок тертя $\Delta p_{TP}$ та різниці тиску за рахунок різниці діаметрів трубопроводу $p_1 - p_2$ має наступний вигляд:

$$\frac{\Delta p_{TP}}{p_1 - p_2} = \frac{64\nu\, l\, v_{CP}}{d^2 v_1^2 \rho\left(\dfrac{r_{i1}^4}{r_{i2}^4} - 1\right)} = \frac{64\nu\, v_{CP}}{d v_1^2 \rho\left(\dfrac{r_{i1}^4}{r_{i2}^4} - 1\right)}\frac{l}{d}, \qquad (2)$$

де $\nu$ - в’язкість рідини;

$l$ - відстань, на якій вимірюється різниця тиску;

$v_{CP}$ - середня швидкість потоку;

$d$ - діаметр трубопроводу;

$v_1$ - швидкість рідини у перетині 1;

$\rho$ - щільність рідини,

$r_{i1}, r_{i2}$ - внутрішні радіуси труб в перетинах 1 і 2.

При припущенні, що $v_{CP} = v_1$ цей вираз для води при нормальних умовах ($\rho$= 1кг/м$^3$, $\nu$ = 0,001 Па$\cdot$ с) та розмірах вимірювальної ділянки трубопроводу ($d$ = 0,1 м, $r_{i1} / r_{i2}$= 1,1) прийме вигляд

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$\frac{\Delta p_{TP}}{p_1 - p_2} = \frac{1{,}39 \cdot 10^{-1}}{v_1} \frac{l}{d} \qquad (3)$$

З цієї формули слідує, що вплив тертя зростає при зменшенні швидкості потоку та діаметру трубопроводу та зростанні відстані, на якій вимірюється різниця тисків.

На рисунку 2 [2] зображені залежності похибки від швидкості потоку при двох значеннях відношення $l / d$ .

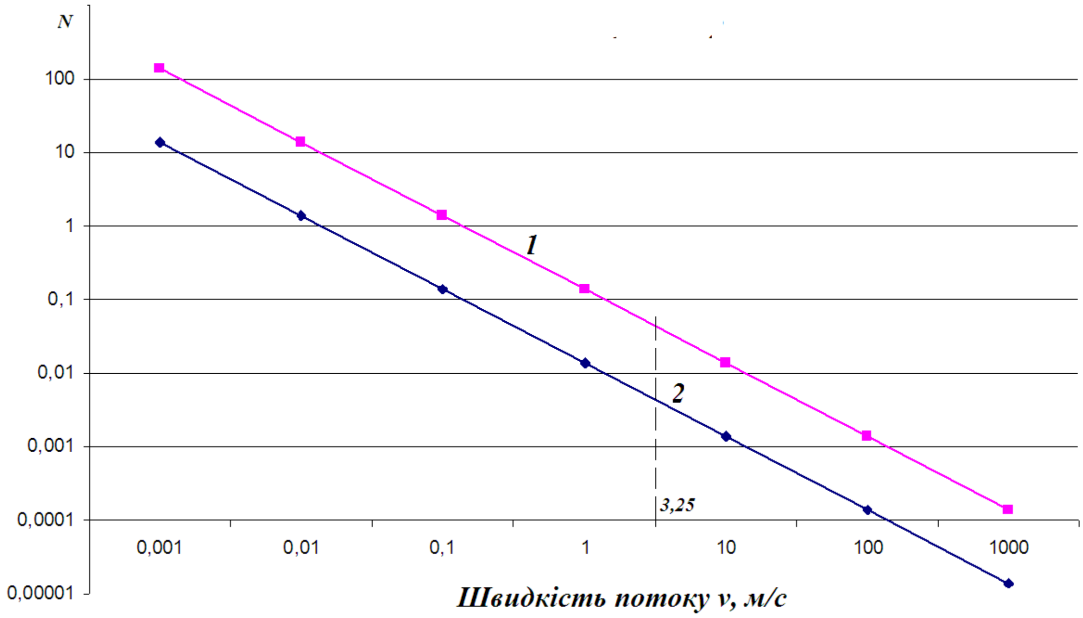



Рисунок 2 – Вплив співвідношення ***l/d*** на величину похибки
d = 0,1 м, 1- *l/d*=0,1; 2 - *l/d*=0,01 [2]

**Висновки**. Встановлено, що при великих швидкостях потоку, які характерні для систем подачі палива при великих відхиленнях від стану рівноваги, вимірювання необхідне проводити за різницею тисків у перетинах різного діаметра. При малих швидкостях потоку при стані системи, яка близька до рівноваги, вимірювання необхідне проводити за допомогою виразів, що описують вплив втрат на тертя палива IFO та MGO [2].

**ЛІТЕРАТУРА**

1.Гаур Т.О., Зарицька О.І., Скрибантович В.В., Цацко В.І. Дослідження суднової баластно-осушувальної системи з тензометричним витратоміром рідини /Матеріали науково-методичної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" 05.11.2019-06.11.2019.-Одеса;НУ "ОМА",2020,с.61-64.

2.Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. Středoevropský věstník pro vědu a výzkum 7(59) 2019, pp/65-74.

3.Антохов О.Д., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Тензометричний витратомір рідини. Вісник Одеського національного морського університету. №4(57), 2018, с.121-130.

4.http://bcm-oil.ru/?page_id=6066 (Дата звернення 18.06.2020).

УДК 681.121

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ

**С.М. Дранчук,** к.т.н, доцент
**О.В. Кочетков,** к.т.н., доцент
**І.С. Мудрьонов,** магістрант
**В.І. Цацко,** к.ф-м.н, ст.викладач
Одеський національний морський університет

***Анотація.*** *Досліджений вплив форми вимірювального трубопроводу тензометричного витратоміра рідини на похибку вимірювання. Встановлено, що гідравлічний опір вимірювального трубопроводу не оказує значного впливу на втрату напору. Для підвищення точності вимірювань рекомендується використовувати трубопровід з раптовими розширенням та звуженням потоку. Це дозволяє зменшити вплив тертя на результати вимірювань та поширити діапазон швидкостей потоку зрівняно з поступовим розширенням та звуженням потоку.*

***Ключові слова:*** *рідина, витратомір, тензометрія, трубопровід, похибка,*

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE MEASURING PIPELINE ON THE RESULTS OF MEASUREMENT OF LIQUID FLOWS IN SHIP SYSTEMS

**S. Dranchuk**, Ph.D., docent
**O. Kochetkov**, Ph.D., docent
**I. Mudryonov**, undergraduate
**V. Tsatsko**, Ph.D., senior lecturer
Odessa National Maritime University

***Abstract.*** *The influence of the shape of the measuring pipe of the strain gauge of the liquid flow on the measurement error is investigated. It is established that the hydraulic resistance of the measuring pipeline does not have a significant effect on the pressure loss. To increase the accuracy of measurements, it is recommended to use a pipeline with sudden expansion and contraction of the flow. This reduces the effect of friction on the measurement results and extends the range of flow velocities as compared to the gradual expansion and contraction of the flow.*

***Keywords:*** *liquid, flowmeter, strain gauge, pipeline, error.*

**Постановка проблеми.** На великих судах, нафторудовозах і криголамах для керування процесами перекачування великих мас води в баластних системах, завантаженні палива та мастил та ін. необхідно проводити вимірювання витрат рідини. Використання витратомірів, в яких датчики розміщені всередині трубопроводів, потребує великих затрат часу на проведення технічного обслуговування, що пов'язане з необхідністю розбирання трубопроводів для профілактики або заміни датчиків.

**Аналіз останніх наукових досліджень**. В роботі [1] для підвищення надійності та точності вимірювання було запропоновано вимірювання витрат рідини за різницею статичних тисків в двох різних перетинах труби.

У наведеному в роботі [1] витратомірі не враховувався вплив тертя на результати вимірювань. По мірі зменшення швидкості потоку похибка визначення витрат зростає.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Тому в роботі [2] була запропонована схема вимірювання з трьома тензорезисторами. Це дозволило поширило діапазон швидкостей.

В наведених вище роботах не розглядався вплив форми вимірювального трубопроводу на гідравлічний опір трубопроводу.

**Мета роботи**. Метою даної роботи є саме дослідження форми впливу вимірювального трубопроводу на гідравлічний опір та похибки тензометричного витратоміру.

**Виклад основного матеріалу**.

Згідно РД 5.5270-85 «Системи трюмні і баластні суднові. Правила і норми проектування », швидкість в нагнітальній магістралі не повинна перевищувати 3,25 м / с [3] .

На рисунку 1 зображені залежності похибки від швидкості потоку при різних геометричних розмірах [4].

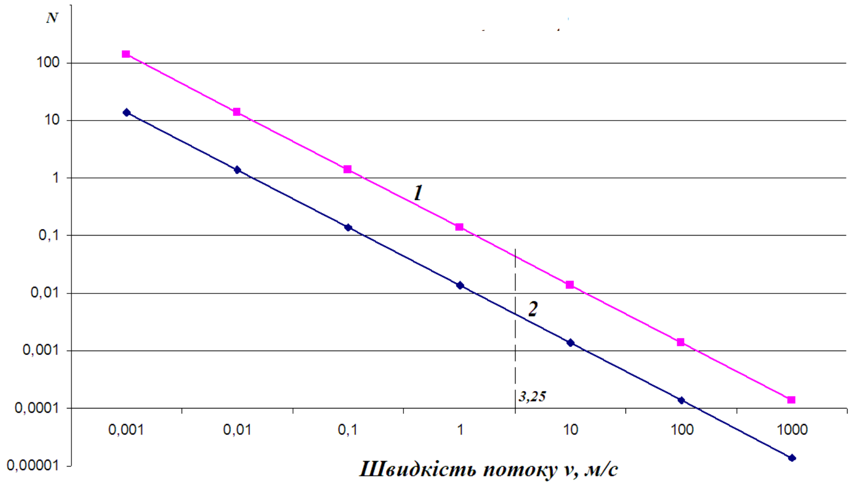



Рисунок 1 – Вплив співвідношення ***l/d*** на величину похибки
d = 0,1 м, 1- *l/d*=0,1; 2 - *l/d*=0,01 [4]

У роботі [1] вимірювальний трубопровід має два поступові переходи від більшого до меншого і навпаки. Це дозволяє зменшити гідравлічний опір трубопроводу, але ускладнює отримання низьких значень $l/d$, що приводить до зростання похибок. Раптові переходи (рисунок 2) приводять до більших значень гідравлічного опору, але дозволяють отримати менші значення. Оцінимо величину гідравлічного опору.

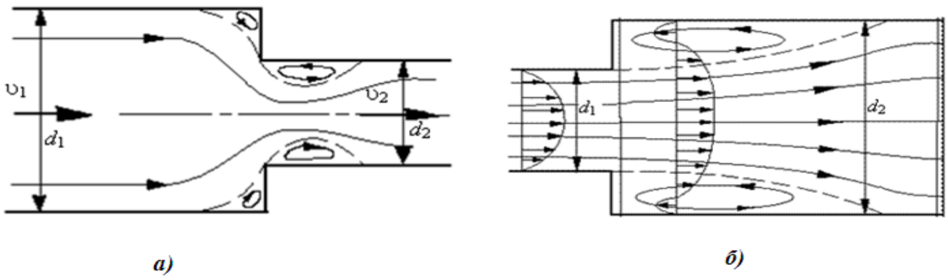



Рисунок 2. – Раптові звуження і розширення потоку

Для конкретизації розглянемо встановлення вимірювальної ділянки на трубопровід, який виготовлений на основі труби діаметром 108 мм з товщиною стінки 5 мм з умовним проходом Dy100.

Можливі два випадки для розрахунку вимірювального трубопроводу:

1. Вимірювальний трубопровід меншого внутрішнього діаметра та меншої товщини стінки.

2. Вимірювальний трубопровід більшого внутрішнього діаметра та більшої товщини стінки.

В першому випадку зменшення внутрішнього діаметра може привести до перевищення максимальної швидкості в нагнітальній магістралі. Розрахунки показують, що при товщині стінки $h_{21}$ = 4,5 мм цього не відбувається. Тоді внутрішній радіус $r_{i21}$ = 44,1 мм.

Для другого випадку приймаємо $h_{22}$= 5,6 мм, тоді $r_{i22}$ = 54,9 мм.

Втрата напору на вимірювальному трубопроводі складає і в першому і другому випадках біля 0,3 м. Ця величина значно менше напору насосу (наприклад насос НЦВС-63/20М має напір 20 м), тому втратами напору на вимірювальному трубопроводі можна знехтувати.

При поступовому розширенні та звуженні трубопроводу втрати напору зменшуються. При перебігу рідини в дифузорі швидкість потоку поступово зменшується, зменшується кінетична енергія частинок, але збільшується градієнт тиску. При деяких значеннях кута розширення α частинки у стінки не можуть подолати збільшується тиск і зупиняються. При подальшому збільшенні кута частки рідини можуть рухатися проти основного потоку, як при різкому розширенні. Відбувається відрив основного потоку від стінок і створення вихрів. Інтенсивність цих явищ зростає зі збільшенням кута α і ступенем розширення. Втрату напору в дифузорі можна умовно розглядати як суму втрат на тертя і розширення. При невеликих кутах α зростають втрати по довжині, а опір на розширення стає мінімальним. При великих кутах α навпаки зростає опір на розширення.

Значення відношення $l/d$ при раптовому звуженні та розширенні потоку значно нижче ніж при поступовому. Це дозволяє зменшити величину похибки, що виникає внаслідок наявності тертя і розширити діапазон швидкостей вимірювання. Тому рекомендуємо використовувати вимірювальний трубопровід з раптовими звуженням та розширенням.

**Висновки**. Досліджений вплив форми вимірювального трубопроводу тензометричного витратоміра рідини на похибку вимірювання. Встановлено, що гідравлічний опір вимірювального трубопроводу не оказує значного впливу на втрату напору.

Для підвищення точності вимірювань рекомендується використовувати трубопровід з раптовими розширенням та звуженням потоку.

Це дозволяє зменшити вплив тертя на результати вимірювань та поширити діапазон швидкостей потоку зрівняно з поступовим розширенням та звуженням потоку.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

**ЛІТЕРАТУРА**

1.Тензометрический расходомер //Патент России № 2037796.19.06.1995.//Петросов Д.С., Гурюшкина Н.Г. , Коршунова О.Н. Ильясафов А.Д.

2.Антохов О.Д., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Тензометричний витратомір рідини. Вісник Одеського національного морського університету. №4(57), 2018, с.121-130.

3.РД 5.570-285 «Системы трубные и балластные судовые. Правила и нормы проектирования».

4.Антохов О.Д., Бабій Ю.С., Гаур Т.О., Нікіфоров В.І., Цацко В.І. Оцінка впливу деяких факторів на точність тензометричного витратоміра рідини. Středoevropský věstník pro vědu a výzkum 7(59) 2019, pp/65-74.

УДК. 621.18-5

## ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ВЕНТИЛЯТОРУ СУДНОВОГО ДОПОМІЖНОГО КОТЛА З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ГАЗІВ В АТМОСФЕРУ

**В.С. Михайленко,** к.т.н., доцент
**П.С. Янков,** магістрант
**В.В. Лещенко,** старший викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація**: Пропонується зниження вмісту NOx та COx у вихідних газах, за допомогою управління димососа рециркуляційної системи димових газів судового допоміжного котла.*
***Ключові слова:** Допоміжний котел, оксиди азоту, система управління, шкідливі викиди, система рециркуляції*

## IMPROVEMENT CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE FOR THE RECIRCULATION FAN OF SHIP'S AUXILIARY BOILER, IN ORDER TO REDUCE THE NEGATIVE EMISSIONS OF GAS INTO THE ATMOSPHERE

**V. Mikhailenko**, Ph.D., Associate Professor
**P. Yankov,** Master Student
**V. Leschenko,** Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

**Abstract:** *It is proposed to reduce the content of NOx and COx in the exhaust gases by controlling the flue gas recirculation system of the ship auxiliary boiler.*
***Keywords:** Auxiliary boiler, nitrogen oxides, control system, harmful emissions, recirculation system*

**Постановка проблеми.** Проблема чистоти атмосфери виникла разом з появою промисловості і транспорту, що працюють на нафті. Протягом попередніх століть забруднення повітря носило місцевий характер. В останні роки зросло занепокоєння громадськості з приводу впливу морського транспорту на навколишнє середовище. Аналіз основних впливів діяльності морського транспорту на якість повітря підкреслює той факт, що на цей сектор припадає значна частина загальних викидів NOx та COx і забруднювачів повітря. Крім того, існуючі тенденції припускають погіршення ситуації в майбутньому. Дійсно, викиди CO2 від судноплавства оцінюються в 3-5% від загальних викидів CO2. Крім того, оцінки показують, що в 2050 році на морський транспорт буде припадати 15% загальних викидів NOx та COx [1]. За останні роки ряд морських організацій ввели жорсткі вимоги що до судового обладнання та матеріалів які впливають на навколишнє середовище і використовуються на судах морського флоту. З 1 січня 2020 року МК МАРПОЛ ввела обмеження на вміт сірки в мазуті, використовуваному на судах, які працюють за межами позначених зон обмеження викидів, буде знижено до 0,5%. Це означає, що все паливо, що використовується судновими двигунами (як основними, так і допоміжними) і котлами, має містити не більше 0,5% сірки. Крім того, існують зони контролю викидів, також відомі як ECA, - це зони, де діють більш суворі правила і вимоги щодо викидів при транспортуванні вантажів. Ліміт вмісту сірки в паливі для суден в країнах з зонами ECA становить 0,1%. У зв'язку зі строгими вимогами додатка VI МК МАРПОЛ дана проблема є актуальною і потребує активних дій сприяючих рішенню забруднення навколишнього середовища оксидами азоту та іншими шкідливими газами.

**Мета та задача дослідження.** Експериментальні дослідження системи рециркуляції відпрацьованих газів, зниження шкідливих викидів вихлопних газів в атмосферу способом управління і розташування рециркуляційного димососа.

Об'єктом роботи є процес утворення димових газів в судовому допоміжному котлі

Відомо, що зниження рівню NOx може бути досягнуто шляхом впливу на максимальну температуру горіння, що забезпечується введенням газів рециркуляції. Цей захід є одним з найбільш ефективних, з точки зору зниження викидів оксидів азоту . Зазвичай димові гази рециркуляції забираються з входу у систему, де їх температура становить від 300 до 350 ° C, і з допомогою димососів рециркуляції подають в топкову камеру. Кількість і місце введення газів рециркуляції відіграє дуже велику роль з точки зору зниження викидів оксидів азоту. При цьому спостерігається зниження NOx до 50% [2].

Відштовхуючись від проблеми дослідження, мети та об'єкта була створена математична модель та система керування потоком вихідних газів у рециркуляційній системі суднових допоміжних котлів у програмному середовищі Matlab.

Враховуючи використання рециркуляції та можливість управління димососом можливо зменшити зниження викидів NOx та COx до 50% в залежності від навантаження головного двигуна та генераторів, а також районів плавання та погодних умов, що є вагомою перспективою для покращення навколишнього середовища.

Існує п'ять основних методів вводу газів рециркуляції.

1. Під нижню частину топки.
2. У шпліц під горіками.
3. У повітропровід гарячого повітря.
4. В запалюючий пристрій між потоками повітря, або в один з потоків.
5. В потік палива на запалюючий пристрій.

На основі аналізу досліджень зменшення викидів шкідливих речовин, враховуючи різні типи рециркуляційних систем, розташування димососу, метод вводу газів, була створена діаграма яка показує ефективність зменшення NOx.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

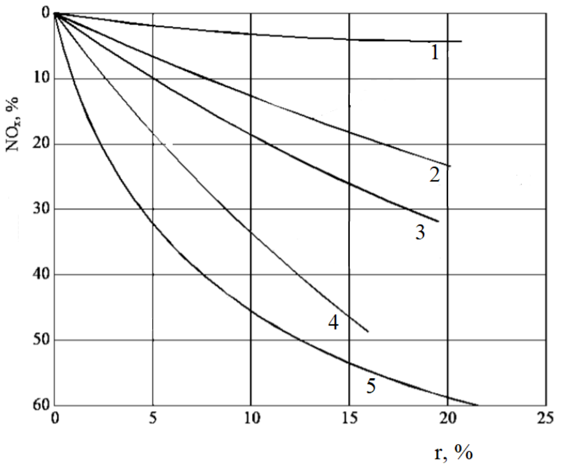



Рисунок 1 – Залежність зменшення рівню NOx у вихідних газах при різних методах вводу газів рециркуляції

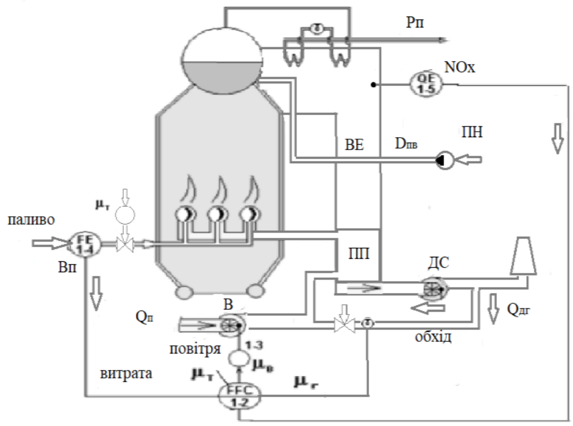



Рисунок 2 – Схема судового допоміжного котла з автоматикою, та рециркуляцією димових газів: В – вентилятор; ДС – димосос; ПП - повітряний підігрівач; ВЕ – водяний економайзер; ПН – питомий насос; QE – газоаналізатор; FFC – регулятор рециркуляції; FE – вимірювач розходів; μ - керуючі впливи

У зв'язку з збільшенням потреб людства прогрес не стоїть на місці. У сучасному судноплавстві все більше і більше використовуються автоматизовані судна класу «А1» для зменшення впливу людського фактору на виробництві, покращення якості перевезення, та зниження впливу на навколишнє середовище. Для досягнення мінімально можливого значення NOx, у допоміжному котлі установлено газоаналізатор для контролю якості горіння в топці, та контролер (рис 2), керуючий витрати димового газу на рециркуляцію, щоб домогтися правильного співвідношення газу та палива для для підвищення ефективності рециркуляції. Використання даних технологічних рішень, спрямованих на зниження шкідливих викидів, з урахуванням їх ефективності представляється перспективним напрямком в агрегатах СЕУ.

**Висновки:** Створена модель процесу роботи рециркуляційного димососу суднового допоміжного котла Балкеру водотоннажністю 38000 тон при різних навантаженнях. Виявлено що управління димососом сприяло зниженню рівню NOx та Cox у вихідних газах. Таким чином зменшена частка впливу отруйних речовин на навколишнє середовище. Така система може використовуватись у майбутньому для зменшення рівня забруднення з суден.

## ЛІТЕРАТУРА

1.Apolonia Miola / Biagio Ciuffo / Emiliano Giovine/ Marleen Marra Regulating air emissions from ships: the state of the art on methodologies, technologies and policy options. // JRC REFERENCE REPORTS. Європейський союз 2010 - 8 с.

2. ИМО 2020 – перспективы судоходной отрасли и нефтеперерабатывающих заводов [Электронный ресурс]. https://modcon.ru/applications/судоходство-и-морскиеперевозки/

3. Верещетин В.А. Совершенствование низкоэмиссионных газогорелочных устройств котлов ТЭС. Москва 2018 – с. 19-20

4. Михайленко В.С. Перспективы снижения содержания вредных выбросов от агрегатов СЄУ. Одесса 2020 10с [Электронный ресурс]. femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материалы%20конф_2019.pdf

5. Основы эксплуатации судовых вспомогательных котлов [Электронный ресурс]. https://mirmarine.net/svm/vspomogatelnye-kotly/138-osnovy-ekspluatatsii-sudovykh-vspomogatelnykh-kotelnykh-ustanovok

УДК 629.5.064.5

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОНДЕНСАТОРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ У СКЛАДІ СУДОВОЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**Д. Л. Вишневський**, аспірант
**Н. Й. Муха**, д.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Застосування конденсаторної системи управління в складі суднової електростанції дозволяє підвищити ККД генераторного комплексу, поліпшити якість перехідних процесів, спростити систему регулювання напругою.*
***Ключові слова****: Конденсаторна установка, система управління напругою, судновий генераторний комплекс.*

## PROSPECTS FOR USING THE CAPACITOR CONTROL SYSTEM IN A SHIP POWER PLANT

**D. Vyshnevskyi,** postgraduate
**M. Mukha,** Dr. of Technical Sciences, Associate professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** *The use of a capacitor control system as part of a ship power plant makes it possible to increase the efficiency of the generator complex, improve the quality of transient processes, and simplify the voltage regulation system.*
***Keywords****: Capacitor installation, voltage control system, ship generator complex.*

Судна сучасного морського флоту містять в своєму складі електростанцію, потужність якої складає до 30% потужності суднової енергетичної установки. Структура суднової електростанції постійно вдосконалюється виробниками з метою підвищення якості перехідних процесів і оптимізації ресурсів, які витрачаються на експлуатацію [1, 2].

Більшість споживачів електричної енергії на судах є електричні машини, в яких змінний магнітний потік пов'язаний з обмотками. Внаслідок цього в обмотках при протіканні змінного струму індукуються реактивні е.р.с., що обумовлюють зсув по фазі між напругою і струмом. Таке навантаження споживає реактивну потужність, збільшуючи необхідну повну потужність на величину $1/\cos\varphi$.

Без компенсації реактивної потужності виникає необхідність підключати додаткові генеруючі установки, що призводить до збільшення вироблення моторесурсу, зниження ККД і перевитрати палива. Прямий пуск потужного електродвигуна неможливий через необхідність генерувати реактивний струм, сумірний з номінальним струмом генератора [3].

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Найбільш перспективною є компенсація реактивної потужності шляхом комутації конденсаторних секцій за допомогою тиристорних ключів. Динамічна компенсація реактивної потужності дозволяє поліпшити якість перехідних процесів при комутації змішаному навантаженні і пуску приводів сумірною потужності [4].

Також відкриваються перспективи використання установки компенсації реактивної потужності (УКРМ) в якості системи управління напругою застосованих на даний момент синхронних генераторних установок. Конденсаторні секції, що підключаються до статора, забезпечують безінерційність каналу управління, що дозволяє на порядок підвищити швидкодію системи управління напругою. Режим паралельної роботи генераторних агрегатів може управлятися спільним регулятором напруги, що спрощує систему регулювання.

Застосування УКРМ також дає можливість використовувати переваги асинхронних генераторів [5] в порівнянні з синхронними з метою підвищення надійності, безпеки і зменшення вартості електроенергії.

**Висновки.** Таким чином, використання конденсаторної системи управління в складі суднової електростанції дозволяє істотно підвищити якість і знизити вартість електроенергії, що виробляється судновою електростанцією.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. - М.: Транспорт, 1988. - 328 с.
2. Голубев В.К. Современные системы управления судовыми теплоэнергетическими комплексами. -М.: "Мортехинформреклама", 1986. - 36 с.
3. Ерошкин А. В., Шейкин Ю.И. Сравнительный анализ вариантов технического решения плавного пуска мощных асинхронных электродвигателей // http://www.toroid.ru/article1.html
4. Муха Н. Й. Динамічна компенсація реактивної потужності в суднових автономних електроенергетичних системах: Дис докт. техн. наук.- Львів, 2018.
5. Радин В.И., Винокуров В.А. Применение асинхронных генераторов как автономных источников переменного тока // Электротехника. – 1967. - №8. – С.17 – 20.

УДК 621.314.26

# УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАРЯДНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АКУМУЛЯТОРНИХ МОРСЬКИХ СУДЕН

**С.О. Рожков,** д.т.н., професор
Херсонська державна морська академія
**О.К. Жук,** к.т.н., доцент
**Д.О. Жук,** к.т.н., доцент
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

***Анотація:*** *розглянуто принципи підвищення енергоефективності і стабілізації режиму безконтактної зарядної системи для акумуляторних морських суден при зміні умов індуктивного зв'язку.*
***Ключові слова***: *індуктивна зарядна система, магнітна муфта, коефіцієнт зв'язку..*

# IMPROVEMENT OF CHARGING SYSTEMS FOR BATTERY SHIPS

**S. Rozhkov,** Dr. of Science, Professor
Kherson State Maritime Academy
**O. Zhuk,** Ph.D., Associate Professor
**D. Zhuk,** Ph.D., Associate Professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

***Abstract:*** *The principles of increasing energy efficiency and stabilization of the contactless charging system for battery marine vessels when the conditions of inductive coupling change are considered.*
***Keywords:*** *inductive charging system, magnetic coupling, coupling factor.*

**Вступ.** При перевезеннях на суднах з короткими маршрутами (наприклад, на поромах або портових буксирах) використання чисто електричних рухових установок з удосконаленими літій-іонними батареями високої ємності може забезпечити роботу з нульовим рівнем викидів за умови підзарядки до достатнього рівня енергії на кожній стоянці. Для поромів час стоянки, протягом якого здійснюється підзарядка, може становити всього 4-5 хв.[1].

Досвід експлуатації  штекерних контактних стикувальних вузлів для зарядки акумуляторів, які застосовуються на електричних поромах або гібридних буксирах свідчить про їх недостатню надійність і відповідність вимогам електробезпеки в умовах засоленості, опадів і обмерзання. [2]. Крім того, морські системи зарядки потребують швидкого автоматичного підключення і відключення. З огляду на зазначені обставини мотивація використання індуктивної безконтактної передачі енергії для суднових систем зарядки акумуляторів є настільки ж великою, як і для подібних систем для електромобілів.

Індуктивні зарядні системи (ІЗС) можуть забезпечити негайну передачу енергії на судно, від моменту швартування і до того моменту, коли воно починає наступний рейс. Проте, впровадження технології індуктивної зарядки в морському секторі вимагає вирішення деяких конкретних проблем [ 3, 4, 5, 6]:

1. На відміну від електромобілів, електробусів або трамваїв, для суден потрібен значно вищий рівень енергії і потужності, що передаються, тому морський індуктивний зарядний пристрій повинен мати номінальну потужність порядку кількох одиниць мегават.

2 Судно під час зарядки може переміщуватися по відношенню до нерухомої берегової частини зарядної системи через комбіновану дію вітру, хвиль і зміну осадки у процесі завантаження і вивантаження. Це означає, що ефективність такої системи повинна бути незалежною від зсуву і зміни взаємного розташування елементів індуктивного зв'язку (котушок), а також довжини повітряного зазору між ними.

**Метою даної роботи** є аналіз напрямів удосконалення сучасних індуктивних зарядних систем для акумуляторних морських суден шляхом пошуку принципів забезпечення стабілізації переданої потужності (зарядного струму) і інваріантності показників енергоефективності зазначених систем до зміни умов індуктивного зв’язку.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

**Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:**

- огляд та аналіз напрямів розвитку (механічна конструкція, схемотехнічні рішення та методи керування) сучасних морських ІЗС;
- аналіз основних залежностей зарядного струму і необхідної встановленої потужності інверторного перетворювача ІЗС від коефіцієнта зв'язку;
- розробка рекомендацій щодо можливих принципів компенсації впливу зміни коефіцієнта зв'язку на режим ІЗС.

**Конструкція, схемотехніка та методи керування ІЗС.**

До останнього часу у морських зарядних системах використовувались механічні контактні стикувальні вузли. Але на першому в світі норвезькому акумуляторному автомобільному поромі MF Ampere, побудований у 2014 р., мали місце аварії, пов'язаніз відмовою гравітаційного штекера. Щоб уникнути проблем і обмежень, пов'язаних з механічними контактними вузлами, норвезька суднобудівна промисловість розробляє технологію бездротової безконтактної індуктивної передачі енергії на судно, принцип якої показано на рисунку 1 [7].

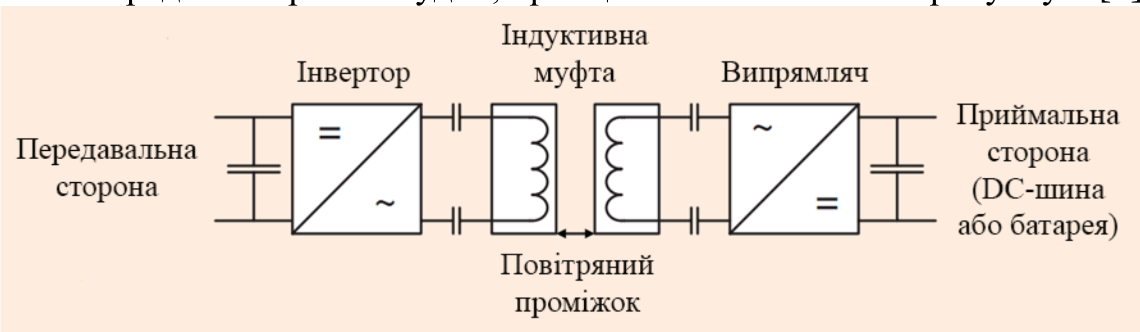



Рисунок 1 – Структурна схема індуктивної зарядної системи

Така система містить береговий та судновий компоненти, які не потребують гальванічного контакту. Технологія працює за рахунок досить близького розміщення двох індуктивних котушок, які утворюють т. з. індуктивну або магнітну муфту, через яку здійснюється безконтактна передача енергії через змінне магнітне поле.

У 2017 р. вперше в світі компанією Wärtsilä Marine Solutions вироблено, змонтовано і випробувано індуктивний зарядний пристрій на гібридному поромі MF Folgefonn. Реалізований пристрій забезпечує потужність передачі енергії до 2,5 МВт з ККД не менше 95% в умовах зміни повітряного проміжку між 15 і 50 см. Берегові та бортові частини пристрою зазвичай використовують напругу 690 В на змінному струмі. Також існує можливість підключення до розподільчих шин постійного струму. Щільність потужності, переданої через індуктивну муфту, складає 500 кВт/м2 на робочій частоті в діапазоні 2 – 8 кГц. На вибір діапазону робочих частот впливає переважне використання у береговому інверторі ІЗС порівняно дешевих і доступних стандартних мостових IGBT-модулів. З урахуванням значних очікуваних відносних зміщень котушок муфти у напрямі вгору – вниз для зменшення відносної зміни зони перекриття і коефіцієнта зв'язку між ними використовується їх конструкція, подовжена у вертикалі.

**Аналіз основних енергетичних показників ІЗС.**

На рисунку 2 наведена топологія ІЗС з серієсно-серієсною (SS) ємнісною компенсацією реактивної потужності, а на рисунку 3 – еквівалентна розрахункова схема цієї системи.

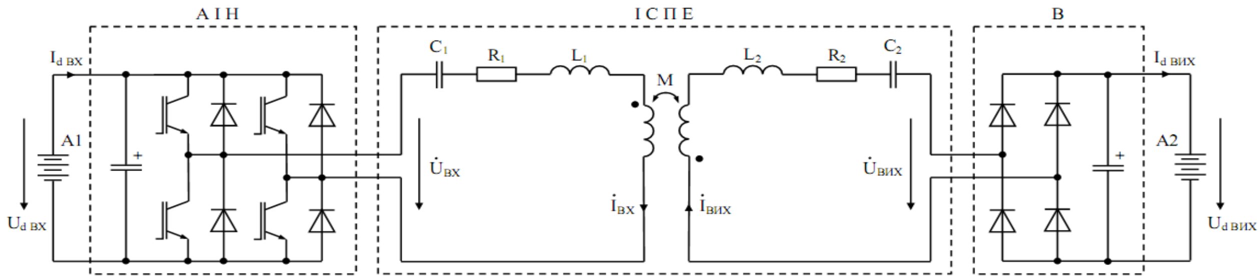



Рисунок 2 – Топологія типової ІЗС

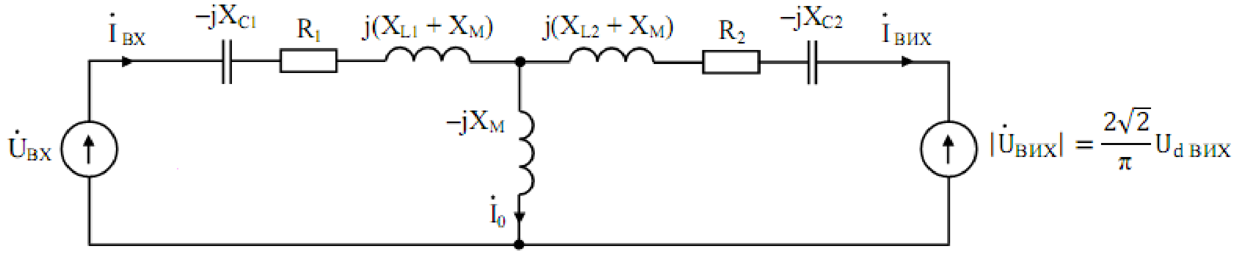


Рисунок 3 – Еквівалентна розрахункова схема ІЗС

Прийняті позначення: $R_1$, $L_1$; $R_2$, $L_2$ – активні опори та індуктивності розсіювання передавальної і приймальної котушок; M – взаємна індуктивність котушок; $C_1$, $C_2$ – компенсаційні ємності. Обидва контури (вхідний і вихідний) налаштовані на однакову резонансну частоту :

$$\omega_0 = \omega_{0\,\text{ВХ}} = \omega_{0\,\text{ВИХ}} = {}^{1}\!/_{(L_1C_1)^{1/2}} = {}^{1}\!/_{(L_2C_2)^{1/2}} = 2\pi f_0\,.$$

При аналізі використовуємо гармонічну апроксимацію змінних напруг і струмів; навантаження розглядаємо як еквівалентний опір. Діючі значення комплексів вхідної і вихідної напруги і струму:

$$0 \le U_{\text{ВХ}} \le 2\sqrt{2}\ U_{\text{d ВХ}}/\pi\,;\ \ U_{\text{ВИХ}} = 2\sqrt{2}\ U_{\text{d ВИХ}}/\pi\,; \tag{1}$$

$$I_{\text{ВХ}} = \pi I_{\text{d ВХ}}/\left(2\sqrt{2}\right);\qquad I_{\text{ВИХ}} = \pi I_{\text{d ВХ}}/\left(2\sqrt{2}\right). \tag{2}$$

Елементарний аналіз резонансного режиму еквівалентної схеми з нульовими втратами показує, що за умови $\dot{U}_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}$ :

$$\dot{I}_{\text{ВХ}} = {}^{U_{\text{ВИХ}}}\!/_{X_M}\,;\qquad \dot{I}_{\text{ВИХ}} = -j\ {}^{U_{\text{ВХ}}}\!/_{X_M}\,;\qquad \dot{U}_{\text{ВИХ}} = jU_{\text{ВИХ}}\,.$$

Тоді виходить, що комплексні і активні потужності вхідного і вихідного контурів співпадають за модулем , але протилежні за знаком, тобто вхідний контур є генеруючим, а вихідний – споживаючим:

$$\tilde{S}_{\text{ВХ}} = -\tilde{S}_{\text{ВИХ}} = P_{\text{ВХ}} = -P_{\text{ВИХ}} = {}^{U_{\text{ВХ}}\,U_{\text{ВИХ}}}\!/_{(\omega_0 M)}\,. \tag{3}$$

Якщо через зміну позиціонування котушок взаємна індуктивність змінюватиметься у діапазоні $M_{\min} \le M \le M_{\max}$ (при цьому вважається, що у слабко

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

зв'язаних системах індуктивності $L_1$ і $L_2$, а отже і резонансні частоти обох контурів $\omega_0$ залишаються сталими), то при номінальній переданій потужності $P_{НОМ}$ виконуються наступні співвідношення:

$$P_{НОМ} = {U_{ВХ\max} U_{ВИХ}}/{(\omega_0 M_{\max})} = {U_{ВХ\min} U_{ВИХ}}/{(\omega_0 M_{\min})}. \qquad (4)$$

Таким чином, максимальне значення необхідної встановленої потужності передавального АІН

$$S_{ВХ\max} = U_{ВХ\max} I_{ВХ\max} = \left({M_{\max}}/{M_{\min}}\right) P_{НОМ} = \left({k_{\max}}/{k_{\min}}\right) P_{НОМ} \qquad (5)$$

де $k = {M}/{(L_1 L_2)^{1/2}}$ – коефіцієнт зв'язку.

Останній вираз свідчить про те, що встановлена потужність пропорційна відношенню максимального і мінімального значень $k$ , тобто, чим більшим є діапазон зміни коефіцієнта зв'язку $k$, тим вищим буде необхідний номінал встановленої потужності АІН при заданому номіналі переданої активної потужності.

**Висновки:** інваріантність ІЗС до значних позиційних переміщень і відповідних змін коефіцієнта зв'язку може бути досягнута двома способами: 1) механічне позиціонування для фіксації взаємного положення обох котушок індуктивного зв'язку; 2) деяка припустима варіація коефіцієнта зв'язку має бути компенсована системою керування силового інверторного перетворювача. Система має контролювати зміну умов зв'язку і автоматично компенсувати їх негативний вплив на ефективність ІЗС. Недоліками першого шляху є складність, недостатня надійність і значна вартість. Другий шлях вимагає попереднього теоретичного дослідження умов забезпечення високих енергетичних показників ІЗС разом і стабільності зарядного струму при зміні коефіцієнта зв'язку за рахунок керування вихідною частотою і напругою інвертора.

## ЛІТЕРАТУРА

1. S. Karimi, M. Zadeh, J. A. Suul,” Shore Charging for Plug-In Battery-Powered Ships “IEEE Electrific. Mag., vol. 8, No. 3, pp. 47- 61, Sept.2020.

2. G. Guidi, J. A. Suul, F. Jenset, I. Sørfonn ,”Wireless Chargingfor Ships.Highpower inductivecharging for battery electricand plug-in hybrid vessels”. IEEE Electrification Magazine / september 2017,vol. 5, №4, pp.. 22-32

3. G. Guidi, J. A. Suul, "Minimization of Converter Ratings for MW-scale Inductive Charger Operated under Widely Variable Coupling Conditions," in Proc. of the IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power, 2015 WoW, Daejeon, Korea, 5-6 June 2015, pp. 23-32

4. S. Li, C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 4-17, Mar. 2015

5. C. Zheng, H. Ma, J.-S. Lai, L. Zhang, "Design Considerations to Reduce Gap Variation and Misalignment Effects for the Inductive Power Transfer System," IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 30, No. 11, pp. 6108-6119, Nov. 2015

6. C. Zheng, J.-S. Lai, R. Chen, W. E. Faraci, Z. U. Zahid, B. Gu, L. Zhang, G. Lisi, D. Anderson, "High-Efficiency Contactless Power Transfer System for Electric Vehicle Battery Charging Application," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 65-74, Mar. 2015

7. www.wartsila.com WÄRTSILÄ® is a registered trademark. Copyright © 2018 Wärtsilä Corporation. Specifications are subject to change without prior notice.Wärtsilä Marine Solutions | Wireless Charging.

УДК 629.

# АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИМИТИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПАЛУБНЫХ ГРУЗОВЫХ КРАНОВ С ЭЛЕКТРО- И ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

**В.В. Бушер**, д.т.н., професор
**А.С. Лозгачов**, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»

**Анотація**. *Проведено аналіз способів обмеження робочої зони, а також методів які дозволяють отримати інформацію о поточному навантаженні та степені виборки троса суднових палубних вантажних кранів з електро- та електрогідравлічним приводом таких провідних виробників як MITSUBISHI, MACGREGOR, IHI. Було встановлено, що використовуються схожі принципи та технологічні рішення, при побудові систем лімітування та визначенні поточної інформації, а також взаємозв'язку таких систем з приводом крана. На основі отриманої інформації розробляються алгоритми та фрагменти програмного коду контролерів, які можуть бути використані при переході з електрогідравлічного приводу на частотно-регульований електропривод з системою управління на базі PLC.*
**Ключові слова:** *палубний вантажний кран, лімітні вимикачі, робоча зона крану, система контролю крану, електрогідравлічний привод, частотно-регульований електропривод.*

# ANALYSIS OF TECHNICAL IMPLEMENTATION OF WORKING ZONE'S LIMITATON OF THE DECK CARGO CRANES THAT ARE ELECTRO- AND ELECTROHYDRAULIC DRIVEN

**V.V. Busher**, Dr. of Science, Professor
**A.S. Lozgachev**, Master Student
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.*** *An analysis of technical implementation of working zone's limitation and methods that are used for monitoring current load and jib position of the deck cargo cranes that are electro and electro hydraulic driven was performed. It was established that different leading manufacturers such as MITSUBISHI, MACGREGOR, IHI are using similar design principles in constructing such systems. Algorithms and controller's code fragments based on the information received during analysis were designed. That may be used when changing from electro hydraulic drives, already established, on electric motor based on VFD and PLC.*
***Keywords:*** *deck cargo crane, limit-switch, crane's working zone, crane control system, electro hydraulic, variable-frequency electric motor.*

Палубные грузовые краны, установленные на балкерах, являются важным элементом при выполнении разгрузочно-погрузочных операций. Исправность каждого крана, а главное – обеспечение безопасности при управлении им – ответственная задача для обслуживающего персонала [9]. Одним из способов обеспечения безопасной эксплуатации является ограничение рабочей зоны крана [7].

Целью работы является анализ основных и дополнительных ограничителей и способов реализации соответствующих ограничений электрогидравлических и электрических кранов, взаимодействия с блоком ограничителей и настроек приводов кранов.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Ведущие производители палубных грузовых кранов, такие, как MISUBISHI, MACGREGOR, IHI, используют общие принципы и похожие технологические решения при изготовлении ограничителей [2,3,4,5,6], что, независимо от производителя, регламентируется классификационными сообществами, например, ClassNK (Nipon Kaji Kyokai), American Bureau of shipping, Russian maritime register of shipping [1,8,10]. В зависимости от производителя различается лишь набор установленных ограничителей или конечных выключателей. Однако, минимальный набор ограничителей, установленный на каждом кране, включает в себя следующее: ограничитель подъема гака, ограничитель спуска гака, ограничители минимального/максимального вылета стрелы. Дополнительно могут быть установлены не регламентируемые конечные выключатели, способствующие повышению безопасности при выполнении грузовых операций краном.

Устанавливаемые на кранах фирмы MACGREGOR наборы ограничителей, состоящие как из классификационных так и дополнительных, являются хорошим примером подхода к повышению безопасности работы крана.

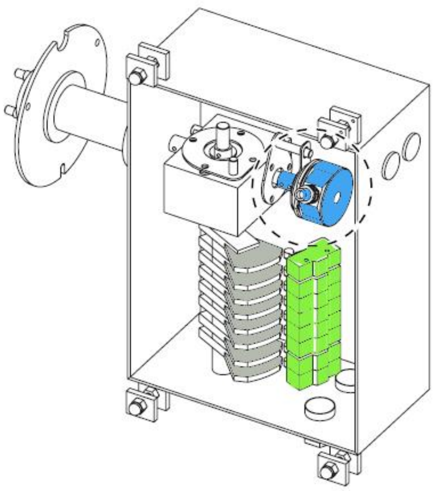


Рисунок 1 – Limit switch box слева - чертеж (зеленым показаны микропереключатели, синим – энкодер, серым кулачки) справа - соответствующее фото реального механизма

На лебедках механизма изменения вылета стрелы и механизма подъема/спуска груза размещен limit switch box (Рис. 1), который состоит из вала, на котором размещены кулачки, микропереключатели и абсолютный энкодер (в частности, для кранов MACGREGOR). Limit switch box через механическую передачу связан с осью вращения барабана. Взаимосвязь количества оборотов барабана и степени выборки троса при совершении этих оборотов определяет положение кулачков в limit switch box. Воздействие кулачка на микропереключатель и замыкание последнего дает возможность системе понять, что достигнуто граничное положение, что ведет к остановке крана или снижению скорости движения рабочих органов.

Для устройства подъема/спуска (Рис 2) это следующие ограничители: ВН 4 верхняя граница подъема гака (full drum limit); ВН 3 промежуточная граница, лежащая на некотором небольшом расстоянии (10%) до достижения верхней границы подъема гака и при достижении которой уменьшается скорость подъема(speed reduce full drum); ВН 1 нижняя граница спуска гака (empty drum limit); ВН 2 аналогичный ВН 3, только для нижней границы (speed reduce empty drum); ограничитель, предотвращающий столкновение блока со стрелой крана (high hook limit).

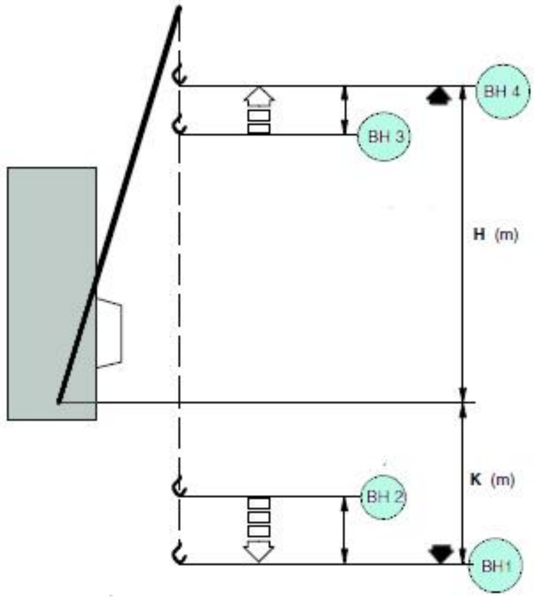



Рисунок 2 – Уровни срабатывания ограничителей для устройства подъема/спуска

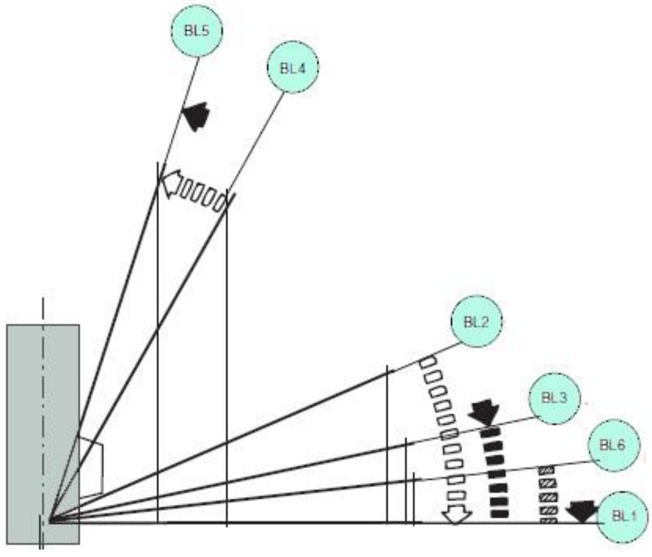



Рисунок 3 – Уровни срабатывания ограничителей для устройства изменения вылета стрелы

Для устройства изменения вылета стрелы (Рис 3): BL 1 ограничитель, устанавливающий нижний предел вылета стрелы при установке в положение «по-походному» (jib parking position); BL 2 граница, достигая которую происходит уменьшение скорости; при подходе вылета стрелы к максимальному (speed reduce, luffing out); BL 3 максимальный вылет стрелы (Max jib outreach); BL 4 по аналогии с BL 2, только при уменьшении вылета стрелы (speed reduce, luffing in); BL 5 минимальный вылет стрелы (min jib outreach); BL 6 при срабатывании этого лимитного выключателя происходит ограничение скорости гидромотора/электродвигателя, так как в этом положении стрелы трос испытывает повышенную нагрузку и резкое изменение направления движения может привести к его обрыву (Force limitation for parking position); BL 7 limit switch (детектор) системы «Jack knife prevention», в которую входят непосредственно сам ограничитель BL 7 и Tilt switch, реагирующий на положение судна (предотвращение «Jack knife» подразумевает предотвращение столкновения груза с башней крана и опрокидывании стрелы на башню крана, такая опасность может возникнуть при большом крене/деференте -1 , небольшом вылете стрелы - 2 и большой силе ветра – 3 , направленной в сторону опрокидывания стрелы Рис. 4). Для каждого из барабанов механизма изменения вылета стрелы и подъема/спуска груза устанавливается детектор провисания троса, воздействующий на limit-switch slack wire switch, срабатывание ведет к остановке крана.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Также классификационными сообществами оговорено, что в кабине крана должна быть размещена диаграмма, показывающая радиус действия и допускаемую рабочую нагрузку, а также указатель рабочей нагрузки, соответствующей установленному вылету стрелы.

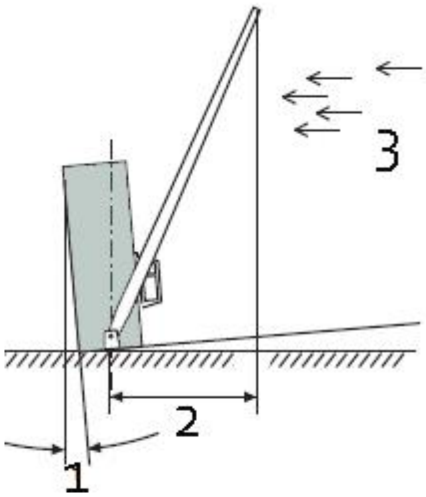


Рисунок 4 – Условия «Jack Knife»

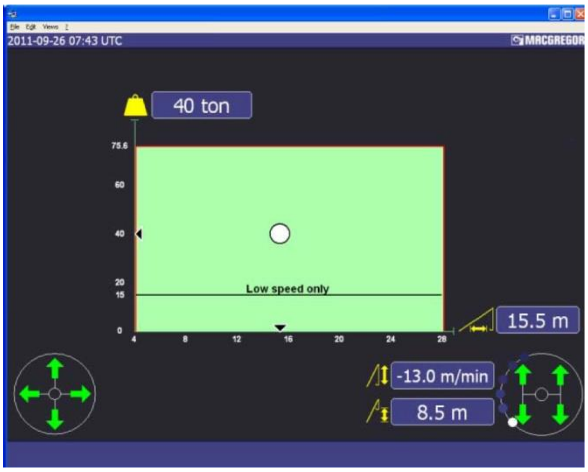


Рисунок 5 – Снимок монитора на который выводится информация о текущей нагрузке и положении стрелы

В кранах фирмы MACGREGOR информация о выходе за пределы рабочей зоны или допустимых условий эксплуатации выводится на дисплей (человеко-машинный интерфейс), где также показана текущая нагрузка и степень выборки троса (Рис 5).

Соответственно, как программное обеспечение контроллера, так и настройки регулируемого электропривода в электрических кранах должны обеспечивать своевременное и соответствующее ситуации реагирование на команды, поступающие от конечных выключателей, датчиков. Данные о нагрузке в электрогидравлических кранах основываются на сигнале 4-20 mA, поступающего от датчика давления, установленного в гидравлической системе крана (давление пропорционально нагрузке на гаке/грейфере). В кранах с электроприводом устанавливается тензометрический датчик нагрузки (load cell), однако информация о нагрузке основывается не только на показаниях датчика, происходит сравнение с данными о моменте нагрузки на валу электродвигателя, поступающих от преобразователей частоты. (В систему управления входят 4 преобразователя частоты [4,11] для каждого электродвигателя и состоящие из общего звена постоянного тока образующего шину постоянного тока от которой питаются инверторные части каждого ПЧ. .Данные о моменте  нагрузки на валу электродвигателя приходящие с ПЧ и аналогового сигнала с датчика нагрузки обрабатываются системой контроля крана СС3000, построенной на PLC, состоящей как минимум из 4 основных блоков – самого PLC и модулей расширения, имеющие следующие названия:Sc – supervisory, Ho – hoisting, Lu – luffing, Sl – slewing.  Как видно, структура позволяет разделить входные/выходные сигналы для каждого отдельно взятого механизма крана).

Для определения степени выборки троса используют абсолютный энкодер, как в электрогидравлических, так и в кранах с электроприводом Рис. 1.

На основании собранной информации разрабатываются алгоритмы и фрагменты программного обеспечения промышленного контроллера, а также правила настройки преобразователя частоты для электрических кранов или для переоборудования электрогидравлических кранов электроприводами.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Nippon Kaiji Kyokai (‘ClassNK’) 2018. Rules for cargo handling appliances.
2. Mitsubishi heavy industries mechatronics system, LTD. Deck Crane. Operating and Maintenance Manual. Oct.01.2015.
3. IWAGI ZOSEN CO.LTD. SNo. Z375. Manufacturing specification of hydraulic deck crane. Specification No. D40QYN1SP0.
4. MACGREGOR. Instruction manual.Crane GLBE3025-2/2425gr Feb 16, 2012.
5. MACGREGOR. Instruction manual.Crane GLBE30,528-2/2428gr Apr 04, 2011.
6. Hydraulic deck crane, IMABARI SHIPBUILDING CO, LT. 26D-029. Dec 14, 2015.
7. The role of the limit switch in promoting overhead crane safety. Expert article. C. Storer.
8. China Classification Society. Guideline No.:G-01(201510) CRANES. Oct 20. 2015
9. The London P&I Club. Lp Focus. Deck crane inspection and maintenance. Feb. 2016.
10. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов. Российский морской регистр судоходства. Санкт-Петербург, 2017.
11. Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 – 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – 226 с.

УДК 681.586.5

## ДАТЧИК ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВЫХ ГРУПП ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕНЕГО СГОРАНИЯ

**А.К. Сандлер**, доцент
**А.А. Кузнецова**, доцент, к.ф-м.н.
Национальный университет "Одесская морская академия"

***Аннотация.*** Для построения системы всестороннего мониторинга параметров судовой энергетической установки необходимо осуществлять эффективный контроль состояния цилиндро-поршневой группы. Существующие системы контроля не в полной мере по своим спецификационным и техническим характеристикам соответствуют задачам мониторинга. Возможности существующих известных систем имеют ограничения по глубине использования и компенсации влияния эксплуатационных факторов. Предложено новое схемотехническое решение датчика износа на основе волоконно-оптических элементов.

***Ключевые слова:*** втулка цилиндра, износ, световод

## SURFACE WEAR SENSOR CYLINDER-PISTON GROUPS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

**A. Sandler,** docent
**A. Kuznetsova,** docent
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.*** To build a comprehensive monitoring system for the parameters of the ship's power plant, it is necessary to effectively monitor the state of the cylinder-piston group. The existing control systems do

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

not fully meet the monitoring tasks in terms of their specification and technical characteristics. The capabilities of the existing known systems have limitations on the depth of use and compensation for the influence of operational factors. A new circuit design of the wear sensor based on fiber-optic elements is proposed.
***Key words:*** cylinder sleeve, wear, light guide

Современное состояние теории рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания, отработанные методики контроля, наличие информационно-измерительных средств с высокой достоверностью определения эксплуатационных нагрузок в совокупности с новыми материалами с более совершенными физическими и механическими свойствами позволяют обеспечить необходимую прочность деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) с большой гарантией от деструкции их в номинальных условиях эксплуатации. Поэтому наиболее распространенной причиной выхода деталей ЦПГ из строя является не разрушение, а износ и нарушение целостности рабочих поверхностей.

Именно поэтому оценка и прогнозирование износостойкости деталей ЦПГ на всех этапах жизненного цикла для определения нормативов сроков и объемов технического обслуживания и ремонта ЦПГ является актуальной научно-технической задачей [1, 2].

Необходимость применения более эффективных и дешевых приборов контроля износа, обладающих повышенной защищенностью и экспрессивностью, потребовал перехода к использованию волоконно-оптических технологий и компонентов для создания датчиков [3, 4].

При этом достоверность получаемой измерительной информации во многом зависит от алгоритма и средств получения и обработки измерительной информации, устройства первичного оптико-электронного преобразователя (ПОЭП) [5]. Сравнительный анализ волоконно-оптических датчиков износа показал, что в большинстве известных практических реализаций ПОЭП создан на основе волоконной решетки Брэгга.

Известно схемотехническое решение датчика износа, который состоит из световода с волоконной решеткой Брэгга, который встроен перпендикулярно изнашиваемой поверхности (рис. 1) [6].

Недостатки устройства, которые обусловлены использованием световода, который изнашивается одновременно с контролируемой поверхностью и волоконных решеток Брэгга:

– необходимость анализа отклика от изнашиваемой поверхности, которая имеет вариативную отражательную способность;

– необходимость регулярной очистки торца световода от загрязнений продуктами износа;

– необходимость дополнительных устройств для осуществления интерферометрических методов обработки информационного сигнала;

– применение измерения температуры световодом с решеткой Брэгга для оценки величины износа.

В тоже время, известно, что трение в трибосопряжении в зависимости от микрорельефа поверхности является источником вибрации высокочастотного диапазона [7].

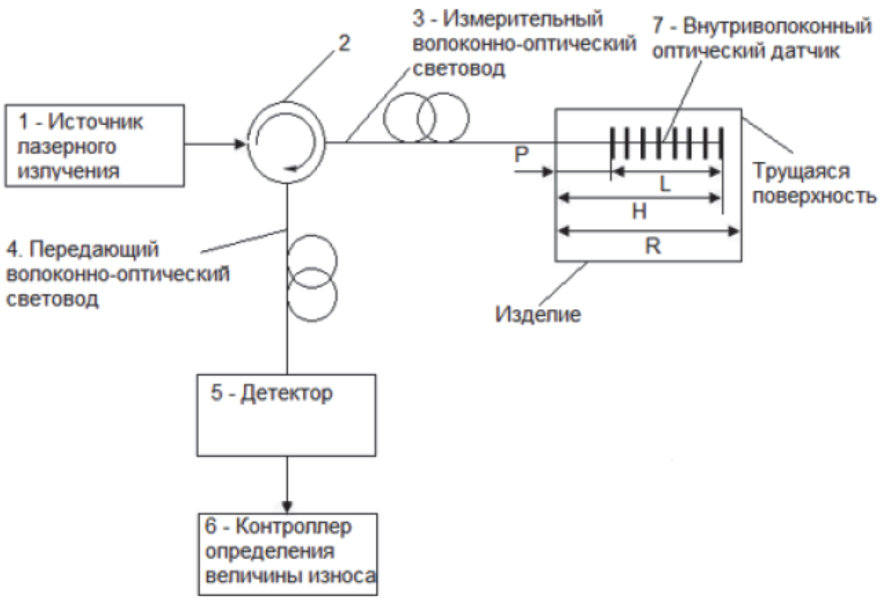



Рисунок 1 – Блок-схема измерительной системы датчик износа
с волоконной решеткой Брэгга

Датчик износа, ориентированный на контроль вибрации поверхностей ЦПГ, состоит из герметичного корпуса с основанием и световода с консольно закрепленным на нем зеркалом (рис. 2) [8].

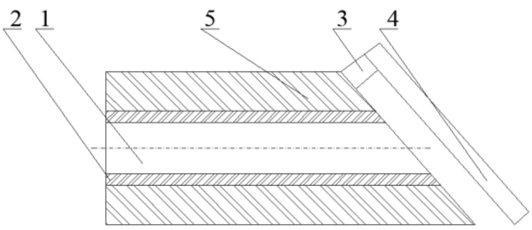



Рисунок 2 – Вибрационный датчик износа: 1 – оптическое волокно; 2 – оболочка; 3 – опора консоли; 4 – зеркало; 5 – основание

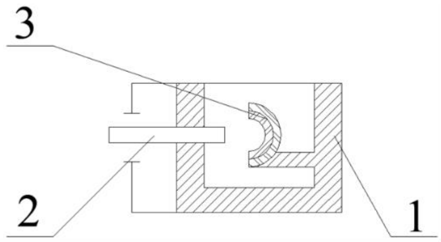



Рисунок 3 –Волоконно-оптический датчик износа: 1 – корпус с основанием; 2 – световод; 3 – бистеклянное зеркало-инерционная масса.

В тоже время возможности устройства серьезно ограничивают особенности, обусловленные использованием консольно закрепленного на световоде зеркала:

– невозможность компенсации влияния негативных дестабилизирующих факторов, таких как повышенная температура;

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

– создание комплексом "световод-консоль зеркало" дополнительных собственных колебаний, которые могут быть паразитными по отношению к колебаниям, создаваемых контролируемой поверхностью.

Анализ конструкций известных датчиков износа позволил конкретизировать требования к новому схемотехническому решению. Для устранения недостатков, присущих известным образцам, разрабатываемый датчик должен обеспечить:

– повышенную защищенность элементов от неконтролируемых эксплуатационных факторов;

– отсутствие дополнительных устройств обработки информационного сигнала, которые могут искажать результаты измерения;

– сохранение высокого уровня чувствительности и быстродействия волоконных датчиков известных типов.

В соответствии в вышеизложенными требованиями разработан усовершенствованный волоконно-оптический датчик износа. Сущность разработанного датчика поясняется чертежом (рис. 3). Фокус параболического зеркала, которое выполнено с иттриевого и кварцевого стекла, совпадает с осью световода.

Под влиянием механических колебаний зеркало, как инерционная масса, воссоздает колебания, генерируемые изнашиваемой поверхностью. Колебания зеркала вызывают модуляцию опорного светового излучения, поступающего с световода к зеркалу и в обратном порядке до световода. Под воздействием температуры бистеклянное зеркало изменяет свою геометрию (изменяется расстояние между фокусом зеркала и торцом световода) и в соответствии условия модуляции опорного излучения. Таким образом происходит компенсация неконтролируемых дестабилизирующих факторов [9-12].

Дальнейшая обработка величины интенсивности излучения, над ходит со световода позволит получить электрический сигнал, который будет пропорционален величине измеряемой вибрации контролируемой поверхности и пропорциональной к ней величины износа, и в котором будет компенсирована паразитная составляющая от плыву дестабилизирующих факторов.

В статическом режиме (механические колебания контролируемой поверхности отсутствуют, внешние климатические условия близки к стандартным), в элементах датчика происходит уменьшение интенсивности проходящего оптического излучения, которое обусловлено только воздействием дестабилизирующих неконтролируемых факторов. В этом режиме, под воздействием температуры, изменяется геометрия бистеклянного зеркала, зафиксированного на опоре. Изменение радиуса изгиба зеркала вызывает изменения условия модуляции опорного излучения пропорционально температуре внешней среды. Зафиксированные изменения учитываются в дальнейшем как соответствующие поправки.

В динамическом режиме (двигатель в рабочем режиме) под влиянием вибрации происходит движение зеркала-инерционной массы, который превращается в изменения условия модуляции опорного излучения в световоде пропорционально величине измеряемой вибрации контролируемой поверхности и пропорциональной ее величины износа.

Под воздействием температуры, изменяется геометрия бистеклянного зеркала, зафиксированного на опоре. Изменение радиуса изгиба зеркала вызывает изменения условия модуляции опорного излучения пропорционально температуре окружающей среды.

Дальнейшая обработка величины интенсивности излучения, над ходит со световода позволит получить электрический сигнал, который будет пропорционален величине измеряемой вибрации контролируемой поверхности и пропорциональной к ней величины износа, и в котором будет компенсирована паразитная составляющая от плыву дестабилизирующих факторов.

Таким образом будет осуществлена инвариантность датчика к дестабилизирующим факторов и реализована возможность применения в специальных условиях эксплуатации.

Таким образом, разработанное измерительное устройство обеспечит:

– более адекватное преобразование параметров вибрации в изменения информационных сигнала;

– компенсацию влияния дестабилизирующих факторов на измерительный канал датчика;

– приближение датчика, благодаря компенсации дестабилизирующих факторов, к источнику возникновения вибрации контролируемых поверхностей;

– повышение качества функционирования за счет избрания рациональной схемы модуляции излучения;

– упрощение конструктивного исполнения.

Использование предлагаемого датчика, в системах контроля технического состояния ЦПГ позволит адекватно, достоверно и безопасно оценивать количественные показатели износа и оптимизировать по этому критерию стратегию технического обслуживания и ремонта судовых двигателей.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Моек, Е., Штрикерт, Х. Техническая диагностика судовых машин и механизмов. – Л.: Судостроение, 1986. – 232 с.
2. Кузнецов, А.А. Комплексированный волоконно-оптический датчик износа и температуры трущихся поверхностей / А.А. Кузнецов // Научно-технический вестник Поволжья. - 2016. - №1 - С.45-48.
3. Pinet, Éric Temperature fiber-optic point sensors: Commercial technologies and industrial application / Eric Pinet, Sébastien Ellyson, Frédéric Borne // MIDEM Conference 2010. - P. 31-43.
4. Discenzo, F.M. System for monitoring bearing wear. Patent USA № 7551288, 2009.
5. Афанасьев, А. А., Писарик, В. В., Артемьева, Н. А., Парахневич, А. В. Волоконно-оптический цифровой турбидиметр // Материалы 3 Международной научно-технической конференции. Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов. – Могилев. – 2009. – С. 210.
6. Кузнецов, А.А., Морозов, О.Г., Нуреев, И.И., Фасхутдинов, Л.М., Артемьев, В.И. Датчик износа и температуры изделия на основе волоконно-оптического чувствительного элемента / А.А. Кузнецов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев, Л.М. Фасхутдинов, В.И. Артемьев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т.17. – №6 (2). – С. 455-460.
7. Ефремов, Л. В., Баева, Л. С., Тикалов, А. В. Виброакустические испытания образцов трибосопряжений на износостойкость // АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 69-76.
8. Попков, В.И., Мышинский, Э.Л., Попков, О.И. Виброакустическая диагностика в судостроении. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.

ISSN 2706-7874 (print)

DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

9. Гуляев, Ю.В., Меш, М.Я., Проклов, В.В. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. – М.: Радио и связь, 1991. – 152 с.

10. Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.

11. Температурный коэффициент линейного расширения стекла при различных температурах. Електронний ресурс. Режим доступу: http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/keramika-i-steklo/temperaturnyj-koeffitsient-linejnogo-rasshireniya-stekla-pri-razlichnyh-temperaturah

12. Сандлер, А. К. Оптимізація конструктивних параметрів волоконного акселерометру // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 42. –VOL.1. – P. 25-31.

УДК 681.7.068:66.62

# ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

**А.К. Сандлер,** доцент
**М.О. Опрышко,** старший преподаватель
Национальный университет "Одесская морская академия"

***Аннотация.*** *Для построения системы всестороннего мониторинга параметров судовой энергетической установки необходимо осуществлять эффективный контроль состояния технических сред. Существующие системы контроля не в полной мере по своим спецификационным и техническим характеристикам соответствуют задачам мониторинга. Возможности существующих известных систем имеют ограничения по глубине использования и компенсации влияния эксплуатационных факторов. Предложено новое схемотехническое решение турбидиметра на основе волоконно-оптических элементов.*
***Ключевые слова:*** *технические среды, турбидиметр, световод*

# FIBER OPTICAL CONTROL SENSOR CONDITIONS OF TECHNICAL FLUIDS AND GASES

**A. Sandler**, docent
**M. Opryshko**, senior Lecturer
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** To build a comprehensive monitoring system for the parameters of a ship's power plant, it is necessary to effectively monitor the state of technical environments. The existing control systems do not fully meet the monitoring tasks in terms of their specification and technical characteristics. The capabilities of the existing known systems have limitations in the depth of use and compensation for the influence of operational factors. A new circuit design of a turbidimeter based on fiber-optic elements is proposed.
***Key words:*** technical liquids, turbidimeter, light guide

## Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

В процессах оперативного контроля состояния жидких и газообразных технических сред в судовых энергетических установках (СЭУ) неразрушающие методы и средства мутнометрии в большей мере соответствуют условиям автоматизированной обработки распределенной в пространственно-временных координатах среды первичной информации. Средства и технологические процессы неразрушающего контроля предполагают анализ реального состояния без изменения структуры, свойств и параметров среды [1].

Получение диагностической информации в реальном масштабе времени о текущем состоянии контролируемых сред позволяет определить причины, механизмы и уровни загрязнений, прогнозировать время безопасного использования технических сред и вносить коррективы в теплоэнергетические процессы объектов СЭУ.

Газообразные, смазочные и охлаждающие технические среды, как активная составляющая теплоэнергетических процессов, активно влияют и на весь производственный процесс, его энергоэффективность и экономичность. Особую актуальность имеет своевременное выявление отклонений в связи с интенсивным старением технических сред в зависимости от наработки. Методами ступенчатой фильтрации не обеспечивается оптимальные режимы использования объектов СЭУ.

Многофакторная зависимость работоспособности объектов СЭУ определяется состоянием масел, коллоидных растворов, эмульсий, суспензий, охлаждающих жидкостей, для оценки качества которых используются методы и средства мутнометрии.

Селективная и быстродействующая аппаратура оптико-электронной мутнометрии позволяет своевременно получать и отрабатывать информацию на уровне зарождения аномальных отклонений [1-3].

## Решение данной проблемы и освещение нерешенных ранее частей общей проблемы

Параметры и свойства средств контроля мутности технических сред определяются прежде всего эксплуатационными условиями применения. Для большинства применений достаточно размещение проб контролируемых сред в специальных кюветах, и применение пробоотборников для отбора и транспортировки проб. В большинстве информационно-измерительных систем наземного стационарного базирования такой подход в некоторой мере улучшает ограниченную мобильность турбодиметров, но не решает проблем экспресс-контроля с допустимой степенью достоверности полностью. Альтернативой известным приборам мутнометрии являются турбидиметры, созданные на основе волоконно-оптических компонентов. Однако, в настоящее время исследования в этой области не вышли за рамки лабораторных и практически не производятся волоконно-оптические приборы измерения мутности для экспресс-контроля. Между тем потребность в недорогом и универсальном приборе для такого рода работ постоянно возрастает [2].

## Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато формулирование цели статьи (постановка задачи)

Для определения потенциальных возможностей и путей совершенствования волоконно-оптических турбидиметров проанализированы наиболее известные схемотехнические решения подобных приборов.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Известный оптический турбидиметр, который состоит из основы в виде кюветы для контролируемой среды, источника излучения, излучающего и принимающего световодов, фотоприемника и процессорного модуля с жидкокристаллическим экраном, объединенных в составе рефлектометра (рис. 1) [2].

Недостатки устройства, которые обусловлены расположением сведотоводов по разные стороны кюветы:

– необходимость постоянной корректировки соосности световодов под воздействием эксплуатационных дестабилизирующих факторов;

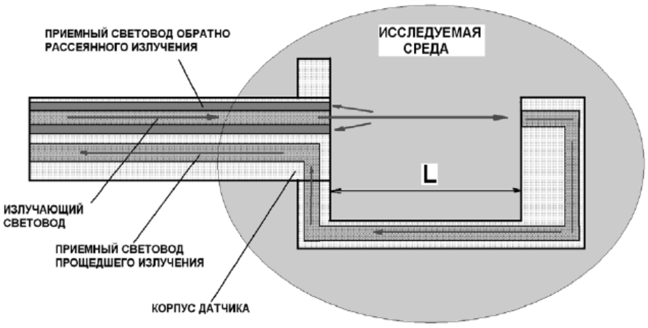



Рисунок 1 – Первичный преобразователь волоконно-оптического турбидиметра

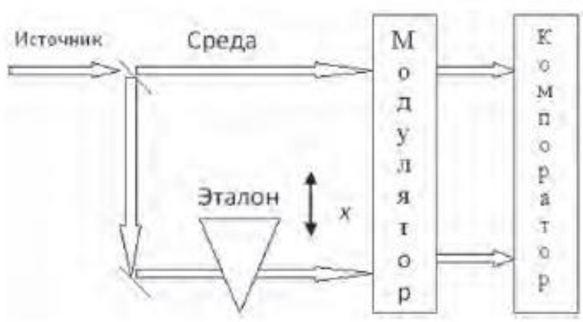



Рисунок 2 – Схема двухлучевого компенсационного турбидиметра

– необходимость периодической шлифовки торцов световодов из кварцевого стекла для удаления, деструктурированного под влиянием контролируемых сред, слоя стекла;

– отсутствие возможности учета температуры контролируемой среды результатов измерения;

– необходимость применения максимально большой оптической базы для получения удовлетворительного уровня чувствительности устройства.

Наиболее близким по технической сущности и результатом, что достигается, к решению задачи контроля технических сред, является волоконно-оптический турбидиметр, состоящий из основы, источника излучения, разветвителя, световода канала формирования первичной информации, световода эталонного канала, кюветы с контролируемым средой и эталоном, фотоприемника, компаратора и процессорного модуля с жидкокристаллическим экраном, объединенных в составе рефлектометра (рис. 2) [3].

Недостатки устройства, которые обусловлены использованием эталона, световода канала формирования первичной информации и световода эталонного канала:

– невозможность достижения полной компенсации мощностей, обусловленная погрешностями эталона;

– отсутствие термокомпенсации колебаний температуры внешней среды и контролируемой среды;

– необходимость изготовления и монтажа световода канала формирования первичной информации и световода эталонного канала с очень высоким качеством во избежание создания условий для появления паразитной модуляции;

– необходимость наличия сложной механической системы позиционирования эталона относительно световода.

## Изложение материала исследования

Анализ приборов контроля мутности показал, что рациональным является создание волоконно-оптического турбидиметра, в котором отсутствует механическая система позиционирования, повышенная защищенность элементов, отсутствует зависимость от состояния внешней и контролируемого сред и одновременно сохранены высокий уровень чувствительности и быстродействие устройств известных типов.

Сущность разработанного турбидиметра поясняется чертежом (рис. 3). Предлагаемое схемотехническое решение отличается тем, что основа содержит волоконно-оптический чувствительный элемент, представляющий собой центральный световод с зеркальным слоем с сапфирового стекла на торце.

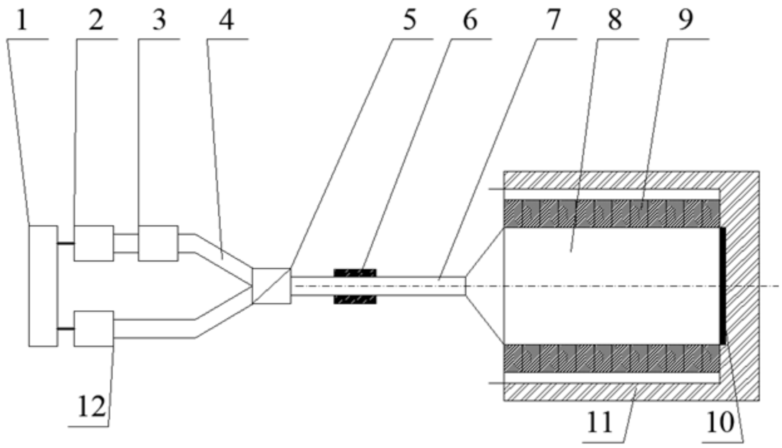



Рисунок 3 – Волоконно-оптический турбидиметр: 1 – процессорный модуль с экраном, объединенные в составе рефлектометра; 2 – источник излучения; 3 – блок оптических спектральных фильтров; 4 – разветвитель; 5 – мультиплексор / демультиплексор; 6 – биметаллическая пластина; 7 – первичный световод; 8 – центральный световод; 9 – кольца из крона и тяжелого флинта; 10 – зеркальный слой; 11 – основание; 12 – фотоприемник.

Центральный световод соединен с набором сваренных между собой колец, выполненных из стекол типа крон и тяжелый флинт. Кольца расположены коаксиально центральному световоду. Последний соединен с первичным световодом, связанным с биметаллической пластиной, мультиплексором/демультиплексором, разветвителем, блоком оптических спектральных фильтров, источником излучения и фотоприемниками. Излучение генерируется и регистрируется рефлектометром.

Диапазон коэффициентов преломления колец наиболее приближен к диапазону коэффициентов преломления контролируемой среды. Излучение от источника поступает в блок оптических спектральных фильтров, где происходит разделение на несколько лучей с различными длинами волн. Разделенное излу-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

чение через разветвитель, мультиплексор/демультиплексор и первичный световод поступает в центральный световод.

Центральный световод, кольца из крона и тяжелого флинта и контролируемая среда с внешней стороны колец образуют трехслойный оптический волновод. При контакте контролируемой среды с кольцами, в центральном световоде происходит нарушение условий полного внутреннего отражения света. Последнее генерирует туннельное перекачивание излучения за пределы световода. Показатели преломления колец подобраны для обеспечения максимального уровня перекачивания при контакте з контролированной средой в рамках трех режимов: появление загрязнения в концентрации "следы"; "тревога"; "авария". Нарушения условий полного внутреннего отражения света в центральном световоде проявляется в изменении величины интенсивности светового излучения, отражающегося от слоя из сапфирового стекла [4-6].

В режиме калибровки, то есть в отсутствии контролируемой среды, в рефлектометре генерируется излучение, которое поступает в центральный световод. В световоде, который оптически связан с кольцами, происходит уменьшение интенсивности оптического излучения, проходящего сквозь него, обусловленное ослаблением в материале световода под влиянием эксплуатационных факторов. Интенсивность излучения, возвращающегося в рефлектометр, фиксируется и запоминается как поправка.

В погружении в контролируемую среду центрального световода, сопряженного с кольцами, происходит перекачка оптического излучения из световода наружу, то есть происходит туннелирование оптической мощности. После этого, измененное по интенсивности излучение, отражается от зеркального слоя и через соответствующую ветку разветвителя поступает на вход рефлектометра. В рефлектометре происходит постоянный пошаговый контроль интенсивности излучения, поступающего от всех зон контакта световода с кольцами.

Интенсивность зарегистрированной части света будет пропорциональна величине измеряемого параметра контролируемой среды, а оптические параметры зафиксированного рефлектометром излучения укажут на соответствующее кольцо, то есть на величину мутности.

Биметаллическая пластина служит для создания предварительного изгиба световода на участке первичного световода. Созданный изгиб инициирует дополнительную утечку излучения за пределы световода. При росте температуры контролируемой среды изгиб пластины и предварительно созданные потери меняются. Таким образом происходит автоматическая коррекция информационного сигнала в соответствии с температурным воздействием.

Дальнейшая обработка излучения позволит получить электрический сигнал, который будет пропорционален величине мутности контролируемой среды.

**Выводы**

Таким образом, разработанное измерительное устройство состояния технических сред обеспечит:

– более адекватные преобразования параметров контролируемой среды в изменения информационного сигнала;

– компенсацию влияния дестабилизирующих факторов на измерительный канал;

– возможность создания разветвленной сети контроля технических сред в особых условиях;

– повышение качества функционирования за счет использования материалов с близким коэффициентом теплового распространения и избрание рациональной схемы модуляции опорного излучения.

Применение компактного, низкоэнергозатратного и нематериалоемкого, надежного в эксплуатации и простого в обслуживании волоконно-оптического турбодиметра позволит адекватно, достоверно и безопасно оценивать степень загрязнения технических сред широкого спектра объектов СЭУ [7, 8].

**ЛИТЕРАТУРА**

1.Оптико-волновая мутнометрия технических сред и масел / А. П. Марков и др. – Национальная академия наук Беларуси; Институт технологии металлов. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 287 с.

2.Марков, А. П. Особенности световодной мутнометрии // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – № 4 (37). – С. 93-103.

3.Марукович, Е. И., Сергеев, С. С., Марков, А. П., Захарова, К. А. Схемотехника совершенствования мутнометрии жидких и газообразных сред // Литье и металлургия. – 2013. – № 3 (71). – С. 36-42.

4.Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь,1987. – 656 с.

5.Бусурин, В. И., Носов, Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

6.Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла // IX міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 05-06 листопада 2019 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – С. 27-33.

7.Sandler, A. K., Drozd, E. V. Automated lubrication system of guides to move heavy cargoes // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – Вып. 23. – Одесса: НУ "ОМА" – С. 96-100.

8.Сандлер, А. К., Опришко, М. О. Засіб автоматизації контролю вмісту нафтопродуктів // Slovak international scientific journal. – 2020. – № 45. –VOL.3. – P. 36-39.

УДК 621.317.1

# СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

**В.В. Пономаренко,** к.т.н., доцент
**В.А. Шевченко,** к.т.н., доцент
**Ю.І. Тєплов,** доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Аннотація.****Запропоновано спосіб підвищення швидкодії вимірювання параметрів електричної енергії судна, який базується на застосуванні методики мультиплиційної обробки інформації, що надходить від вимірювальних датчиків струму та напруги синхронного генератору. Спосіб дозволяє вимірювати лінійну напругу, фазний струм, коефіцієнт потужності, частоту струму та напрямок потужності за час, що не перевищує одного періоду синусоїдальної напруги. Наведено графічне пояснення способу вимірювання параметрів та, як кінцевий результат, розроблено алгоритм вимірювання, що технічно легко реалізується.*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

***Ключові слова:*** *інформаційно-вимірювальна система, суднова електроенергетична система, вимірювання, параметри електроенергії.*

## THE METHOD OF MARINE ELECTRICAL POWER PLANT PARAMETERS MEASUREMENT SPEED IMPROVEMENT

**V. Ponomarenko**, Ph.D. associate professor
**V. Shevchenko**, Ph.D. associate professor
**Y. Teplov**, associate professor
National university "Odessa maritime academy"

***Abstract:*** *Ship electrical power system with synchronous generators basic parameters measurement algorithm and method is offered. The main feature of new solution is based on the application of advanced multiplicated data processing method, the primary data is coming from generator current and voltage sensors. Offered method application allows in period of time faster than one sinusoid period to measure: line voltage, phase current, power factor, current frequency and direction of the power. The predictive calculation possibility of evaluating variables peak values sampling moments is provided. The algorithm is multipurpose because it can be easily adopted in any ship's electrical power measurement, control and monitoring systems, it has small measuring errors and simple technical implementation. Application of the offered algorithm is especially effective in ship's electrical power systems where a number of specific parameters (high accuracy ship dynamic positioning, fast power factor correction, impact electrical load compensation) dynamic stabilization and compensation is necessary.*
***Keywords:*** *ship's electrical power system, measurement, electrical power parameters, algorithm.*

**Постановка проблеми**. Зростання потужності та ускладнення конфігурації сучасних суднових електроенергетичних систем (СЕЕС), обумовлене, у першу чергу, необхідністю підвищення економічної та екологічної ефективності морських вантажоперевезень, вимагає удосконалення процесів моніторингу та управління такими системами. Сучасні швидкодіючі системи вимірювання параметрів електроенергії особливо затребувані на суднах з комбінованими та гібридними електричними пропульсивними комплексами, на суднах з системами динамічного позиціювання та безпілотних суднах з електрорухом [1-3, 15].

Програмне забезпечення автоматизованих систем управління (АСУ) судновими багатоагрегатними електричними станціями розглянуто у [4-6, 19, 20], де висвітлені найбільш важливі з точки зору управління параметрами та составом генераторних агрегатів (ГА) процеси та процедури вимірювання.

Застосування у суднових системах управління та релейного захисту цифрових контролерів (у програмно-апаратній частині та техніці вимірювань електроенергетичних параметрів) зіткнулось з низкою завдань [4, 7, 8, 21-25], у тому числі забезпечення необхідних вимог надійності функціонування та економічним показникам.

У роботах [4-6, 8, 17, 18] відзначено, що важливішою складовою таких суднових АСУ, кожного інформаційно-вимірювального процесу є необхідність максимально швидкого вимірювання та оцінки електроенергетичних параметрів ГА: амплітуди та характеру струму навантаження у всіх фазах, напруги, частоти струму, фазового кута (φ) зсуву між струмом та напругою, напряму потужності та інших.

Вимога високої швидкодії інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) пов'язана з тим, що електроенергетична система зазначених суден нерозривно пов'язана з електричним пропульсивним комплексом та системою стабілізації технологічних параметрів. У кінцевому рахунку, саме швидкодія ІВС забезпечує високу якість виконання судном його головного завдання, характеризує його головні тактико-технічні властивості і можливості.

Таким чином, разом із необхідністю забезпечення надійності, економічності та точності вимірювань при виконанні підпрограм вимірювання електричних параметрів, гостро виникло завдання досягнення високої швидкодії усієї ІВС. Вирішення даного завдання вимагає пошуку нових шляхів його вирішення на базі системного підходу, з урахуванням відомих [4, 9-11, 16] цифрових способів обробки вимірювальної інформації.

Метою роботи є пошук методу та розробка алгоритму швидкодіючої оцінки параметрів електричної енергії суднової електроенергетичної системи, що функціонує на основі синхронного генератору.

**Основний матеріал дослідження.** У загальному виді завдання виміру параметрів електричної енергії у $n$-фазній системі пов'язане з визначенням безлічі величин $\{I_1, \ldots, I_n, U_1, \ldots, U_n, f, \varphi\}$ відповідно до обраного критерію швидкодії, де $I_1, \ldots, I_n$ і $U_1, \ldots, U_n$ амплітудні значення фазних струмів і лінійних напруг.

Як приклад, розглянемо трифазну систему, як найпоширеніший окремий випадок $n$-фазної системи. Для виміру параметрів електричної енергії у трифазній системі перетворимо, за допомогою формувачів прямокутних імпульсів, три лінійні ($AB$, $BC$, $CA$) напруги й три фазних ($A$, $B$, $C$) струми генератора у дискретні сигнали, що відображають півперіоди їх синусоїд. Послідовний, побайтний аналіз наборів станів вхідних сигналів дає можливість визначити закон (алгоритм) управління АЦП, на вхід якого надходять нормалізовані амплітудні значення повних струмів фаз і лінійних напруг генератора.

На рис. 1. наведені діаграми, що пояснюють сутність запропонованого способу виміру. У якості базових величин при визначенні вихідного стану оберемо лінійні напруги генератора. Оскільки система трифазна, то число можливих станів дискретних сигналів, що відображають півперіоди синусоїд, буде дорівнювати шести. Однозначні набори 0–0–0 і 1–1–1 у симетричній трифазній системі неможливі. Можливі набори станів для послідовності чергування лінійних напруг $U_{AB}$, $U_{BC}$, $U_{CA}$ позначимо $C_1, \ldots, C_6$ так, щоб порядковий номер стану збігався з його двійковим кодом, тобто $C_1$ – 001 ($U_{AB}=0$; $U_{BC}=0$; $U_{CA}=1$); $C_2$ – 010; $C_3$ – 011; $C_4$ – 100; $C_5$ – 101; $C_6$ – 110. Кожний стан визначає єдиний можливий за критерієм швидкодії шлях (алгоритм) розв'язання завдання виміру.

Аналіз значень цих бітів дозволяє визначити напрямок потужності генератора. При цьому, якщо $U_{BC}$ переходить:

$$\left.\begin{array}{l}\text{від } 0\ \partial o\, 1, \text{ а } I_A = 0, \\ \text{від } 1\ \partial o\, 0, \text{ а } I_A = 1\end{array}\right\} \text{- генераторний режим;} \quad \left.\begin{array}{l}\text{від } 0\ \partial o\, 1, \text{ а } I_A = 1, \\ \text{від } 1\ \partial o\, 0, \text{ а } I_A = 0\end{array}\right\} \text{- руховий режим.}$$

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Наприклад, якщо вихідний стан – $C_4$ (на діаграмі це позначене лінією – 1), тому найближчим за часом є зміна стану біта $U_{BC}$. Тому програма виміру визначає момент переходу $U_{BC}$ з «0» у «1» (лінія 2) і записує все вихідне слово, у якому маскуються всі біти, крім $U_{BC}$ і $I_A$.

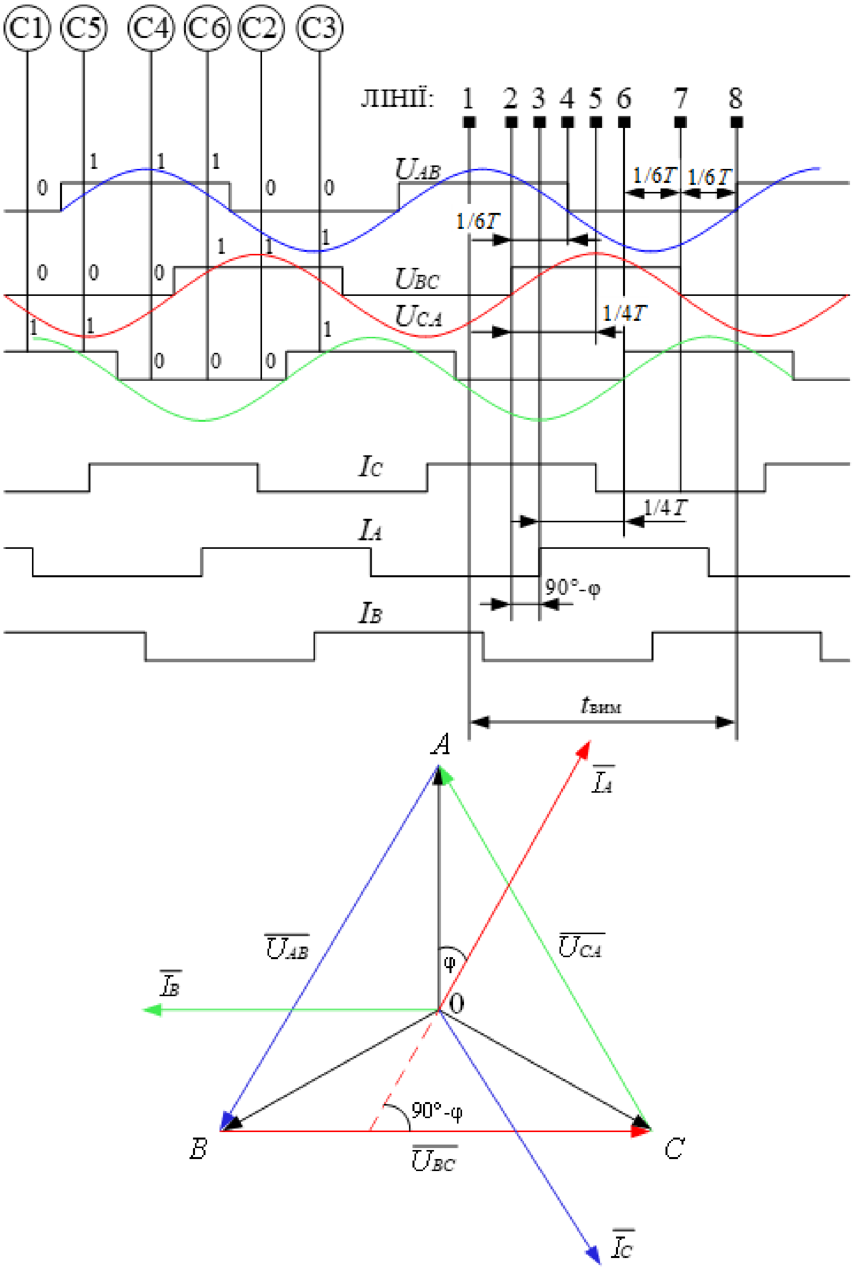



Рисунок 1 – Діаграми, що пояснюють спосіб багатомірного виміру параметрів електроенергії

Далі будемо робити відлік одиничних часових інтервалів від лінії 2 до моментів зміни стану бітів $I_A$ і $U_{BC}$ (лінії 3 і 4, відповідно). Отримані у такий спосіб цифрові коди дозволили визначити значення фазового куту φ і період $T$. У даному прикладі цифровий код інтервалу (лінія 2 – лінія 3) відповідає величині (90° – φ), а код інтервалу (лінія 2 – лінія 4) величині 1/6$T$. Ця інформація дозволяє визначати моменти виміру амплітудних значень напруги $U_{BC}$ і фазних струмів $I_A$, $I_B$, $I_C$ (відповідно, на лініях 5, 6, 7, 8), що випливають один за одним інтервалом $\tau = 1/6T$.

Для випадку, наведеного на діаграмі, момент виміру амплітуди струму $I_A$ визначається рівністю кількості відлічених одиничних часових інтервалів величині $1/4T + (90° - \varphi)$ з моменту переходу $U_{BC}$ з 0 у 1.

Отримані у такий спосіб цифрові коди, що відповідають поточним значенням $I_A$, $I_B$, $I_C$, $U$, $f$ і $\varphi$ дозволяють розрахувати активну – $P$, реактивну – $Q$ і повну потужність по відомих залежностях: $P = UI\cos\varphi$, $Q = P\,tg\varphi$, або $Q = UI\sin\varphi$; $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$, або $S=UI$, а також визначити ступінь нерівномірності їх розподілу за фазами (обрив, коротке замикання (КЗ), несиметричне навантаження і т. д.).

Для підвищення швидкодії виміру активної й реактивної потужності ГА відмовимося від операцій, пов'язаних з їх розрахунками за значеннями і фазою струму. Досягти цього можна формуванням імпульсу на вимір струму навантаження у момент зміни стану бітів спеціально обраних напруг: для $I_A \rightarrow U_{BC}$; для $I_B \rightarrow U_{CA}$; для $I_C \rightarrow U_{AB}$. У цьому випадку (див. рис. 1), моменти виміру активних струмів будуть проводитися по лініях 2, 4, 6 відповідно для струмів $I_A$, $I_B$, $I_C$. Практична можливість застосування такого підходу залежить від швидкодії й принципу роботи АЦП.

Додатково розглянемо розв'язання завдання синтезу алгоритму управління процесом виміру. Вважаємо, що у МП-системі надання інформації про параметри ($I_A$, $I_B$, $I_C$, $U$, $f$ і $\varphi$) здійснюється циклічно (з періодом $T_{\text{ТЦ}}$) і пов'язане з управлінням і роботою АЦП. Із цієї причини ефективність запропонованого способу й структура управління процесом виміру будуть залежати від швидкодії й точності перетворення використовуваного АЦП, тобто у методі та елементної бази перетворення.

При розв'язанні завдання багатомірного виміру параметрів електроенергії (струмів, потужності, напруги й ін.), з міркувань економічності і згідно з обраними критеріями точності та швидкодії, принципово придатні АЦП із погрішністю від 0,05 до 1 % при максимальній частоті перетворення 30 МГц.

Особливістю програмної реалізації запропонованого методу є адаптація процесу виміру до: стану параметрів електроенергії на момент уведення інформації $C = \{C_1,\ldots,C_n\}$ і часового інтервалу між моментом уведення $C_i$ і початком його аналізу $t = \{t_1,\ldots,t_n\}$, де $n = 1, 2, 3,\ldots$ . Завдання оптимізації у цьому випадку полягає у вказівці, яку альтернативу з $S = \{U_1, \ldots ,U_q\}$, де $q$ – число таких альтернатив, слід реалізувати залежно від C и $t$. Це завдання вирішується правилом (алгоритмом) $R_A$:

$$U_i = R_A\{C, U_{i-1}, t\},$$

де $U_i$, $U_{i-1} \in S$. При цьому правило $R_A$ вирішує завдання альтернативної оптимізації: за критерієм швидкодії $U$ шляхом перевірки умов $P_1$, $P_2$ і $P_3$ для визначення стану $C_i$ з набору $\{C_1,\ldots,C_6\}$.

За встановленим станом $C_i$ альтернативні управління $U_i$ уводять до алгоритму потрібний набір умов для виконання процесу обробки інформації, а сама

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

архітектура алгоритму при цьому залишається незмінною. Враховуючи викладене, алгоритм програми виміру параметрів електроенергії ГА *PRMP*, записаний мовою ЛСА, зводиться до наступного вираження:

$$PRMP = S_{\Pi}.A_1.P_1\overset{2}{\uparrow}P_2\overset{3}{\uparrow}P_3\overset{1}{\uparrow}\omega\overset{9}{\uparrow}\overset{1}{\downarrow}U_1\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow}P_2\overset{5}{\uparrow}\omega\overset{6}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow}P_3\overset{4}{\uparrow}U_2\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{4}{\downarrow}U_3\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{5}{\downarrow}P_3\overset{9}{\uparrow}$$

$$\omega\overset{8}{\uparrow}\overset{6}{\downarrow}P_3\overset{7}{\uparrow}U_4\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{7}{\downarrow}U_5\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{8}{\downarrow}U_6\omega\overset{10}{\uparrow}\overset{9}{\downarrow}A_2\omega\overset{25}{\uparrow}\overset{10}{\downarrow}MR_{\mathrm{I}}\overset{10}{\uparrow}MR_{\mathrm{II}}\overset{19}{\uparrow}A_3.A_5\overset{11}{\downarrow}MR_{\mathrm{III}}\overset{16}{\uparrow}A_8\overset{12}{\downarrow}$$

$$MR_{\mathrm{IV}}\overset{12}{\uparrow}A_{10}.A_{11}.A_{12}\overset{13}{\downarrow}P_{13}\overset{13}{\uparrow}\overset{14}{\downarrow}A_6\overset{15}{\downarrow}PC_{\mathrm{I}}.A_{17}.PC_{\mathrm{II}}.A_{17}.PC_{\mathrm{III}}\omega\overset{25}{\uparrow}\overset{15}{\downarrow}MR_{\mathrm{IV}}\overset{11}{\uparrow}A_{10}.$$

$$A_{11}\overset{17}{\downarrow}MR_{\mathrm{III}}\overset{17}{\uparrow}A_8.A_{12}\overset{18}{\downarrow}A_6.A_{18}\omega\overset{15}{\uparrow}\overset{19}{\downarrow}A_4.A_5\overset{20}{\downarrow}MR_{\mathrm{IV}}\overset{22}{\uparrow}A_{10}.A_{11}\overset{21}{\downarrow}MR_{\mathrm{II}}\overset{21}{\uparrow}A_9.A_{13}$$

$$\omega\overset{18}{\uparrow}\overset{22}{\downarrow}MR_{\mathrm{II}}\overset{20}{\uparrow}A_7\overset{23}{\downarrow}MR_{\mathrm{IV}}\overset{23}{\uparrow}A_{10}.A_{11}\overset{24}{\downarrow}P_{14}\overset{24}{\uparrow}\omega\overset{14}{\uparrow}\overset{25}{\downarrow}S_{\mathrm{K}}$$

де $S_{\Pi}$ і $S_{\mathrm{K}}$ – початковий і кінцевий оператори: $P_1$, $P_2$, $P_3$, $P_4$, $P_5$ і $P_6$ – перевірка умов $U_{AB} = 0$; $U_{BC} = 0$; $U_{CA} = 0$; $U_{AB} = 1$; $U_{BC} = 1$ і $U_{CA} = 1$, відповідно; $P_7$, $P_8$, $P_9$, $P_{10}$, $P_{11}$ і $P_{12}$ – перевірка умов $I_A = 0$ ; $I_B = 0$; $I_C = 0$; $I_A = 1$; $I_B = 1$ і $I_C = 1$, відповідно; $P_{13}$ і $P_{14}$ – перевірка умов рахування $N_{CT} = 1/4T + (90° – \varphi)$ і $N_{CT} = 1/4T + \varphi$, відповідно; $U_1 – U_6$ оператори управління записом умов стану параметрів у відповідні комірки пам'яті, наведені у таблиці 1; $A_1$ – оператор уведення цифрового коду напруг $U_{AB} – U_{BC} – U_{CA}$; $A_2$ – видача аварійного сигналу "Порушено чергування фаз"; $A_3$ і $A_4$ – реєстрація станів "Генераторний режим роботи ГА" і "Руховий режим роботи ГА", відповідно; $A_5$ і $A_6$ – оператори початку й зупинки рахування, відповідно; $A_7$, $A_8$, $A_9$, $A_{10}$ – оператори запису у пам'яті значень φ; 90° – φ: 180° – φ і $1/6T$, відповідно; $A_{11}$ – розрахунки значення $T_1$, $1/2T$, $1/4T$; $A_{12}$ і $A_{13}$ – розрахунки значення "φ" за формулами $\varphi = 1/4T – (90° – \varphi)$ і $\varphi = 1/2T – (180° – \varphi)$, відповідно; $A_{14}$, $A_{15}$ і $A_{16}$ – вимір $I_A$, $I_B$ і $I_C$, відповідно; $A_{17}$ і $A_{18}$ витримки часу $\tau = 1/6T$ і $\tau = 1/4T$, відповідно; ω – безумовний перехід.

Таблиця 1 - Оператори управління записом умов стану параметрів у відповідні комірки пам'яті

| Комірка / Оператор | *MRI* | *MRII* | *MRIII* | *MRIV* | *PCI* | *PCII* | *PCIII* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $U_1$ | $P_4$ | $P_9$ | $P_{12}$ | $P_3$ | $A_{16}$ | $A_{15}$ | $A_{14}$ |
| $U_2$ | $P_6$ | $P_8$ | $P_{11}$ | $P_2$ | $A_{15}$ | $A_{14}$ | $A_{16}$ |
| $U_3$ | $P_2$ | $P_{10}$ | $P_7$ | $P_4$ | $A_{14}$ | $A_{16}$ | $A_{15}$ |
| $U_4$ | $P_5$ | $P_7$ | $P_{10}$ | $P_1$ | $A_{14}$ | $A_{16}$ | $A_{15}$ |
| $U_5$ | $P_3$ | $P_{11}$ | $P_8$ | $P_5$ | $A_{15}$ | $A_{14}$ | $A_{16}$ |
| $U_6$ | $P_1$ | $P_{12}$ | $P_9$ | $P_6$ | $A_{16}$ | $A_{15}$ | $A_{14}$ |

У таблиці позначено: *MRI* – *MRIV* комірки пам'яті для запису відповідних умов; *PCI* – *PCIII* – комірки пам'яті для запису амплітудних значень фазних струмів згідно з алгоритмом.

Таким чином, запропонований спосіб багатомірного виміру параметрів електроенергії ГА, можна вважати мультиплиційною обробкою дискретно-аналогової інформації гармонійних величин. Така обробка дає можливість за час, що не перевищує один період синусоїдальної напруги, виміряти: амплітудні значення струмів навантаження у всіх фазах; лінійну напругу; фазовий кут навантаження; частоту струму; напрямок потужності.

**Висновки**. У роботі запропоновано спосіб та розроблено алгоритм вимірювання параметрів електроенергії суднової електроенергетичної системи, що базується на аналізі характерних точок гармонійної напруги та струму у реальному часі.

Алгоритм дозволяє розроблювати швидкодіючі системи управління процесом виміру, як для трифазних, так і для багатофазних систем електрозабезпечення; алгоритм універсальний, легко адаптується у будь-які суднові електроенергетичні системи вимірювання, управління і моніторингу, має низьку вимірювальну похибку та легку технічну реалізацію.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, V. 3, № 8(81), pp. 10-21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.

2. Букарос А.Ю. Корректор коэффициента мощности для частотно-регулированного електропривода / А. Ю. Букарос, О. А. Онищенко // Научные труды НТУ "ХПИ": Энергетика. Экология. Человек, 2012, С. 11-17.

3. Уточнение параметров математической модели трехфазного асинхронного электродвигателя системы электродвижения автономного плавательного аппарата / Я.Б. Волянская, С.М. Волянский, О.А. Онищенко // Морские интеллектуальные технологии, 2017. Т. 3, № 4 (38), с. 132-138.

4. Онищенко О. А.Информационно-измерительная система для оценки энергетической эффективности холодильных установок на основе среды VisiDAQ / О.А, Онищенко, А.М. Приходько // Вестник КГПУ (Кременчужского государственного технического университета), 2002, № (12)1, с. 301-303

5. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.

6. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб., 2015, Вып. 36, с. 74-82.

7. E. Kyriakides, G.T. Heydt, V. Vittal. On-line estimation of synchro-nous Generator parameters using a damper current observer and a graphic user interface. IEEE Transactions on Energy Conversion. V. 19, Is 3, Sept., 2004.

8. H. B. Karayaka, A. Keyhani, B. Agrawal, D. Selin, G. T. Heydt. Identification of armature circuit and field winding parameters of large utility generators. Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, vol. 1, pp. 29-34, Jan., 1999.

9. Sarkar, A.; Sengupta, S. A low-cost fault-tolerant real, reactive, and apparent power measurement technique using microprocessor. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2007, 56, 2672-2680.

10. Baloi, A., & Pana, A. A Virtual Measurement Instrument for Three Phase Electrical Networks Analysis, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Engineering Education (EDUCATION '11), Corfu Island, Greece, 14-16 July, 2011 (215-220). http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Corfu/EDUC/ EDUC-29.pdf.

11. O. Krejcar, R. Frischer. Real Time Voltage and Current Phase Shift Analyzer for Power Saving Applications. Sensors, vol. 12, no. 8, pp. 11391–11405, 2012. http://dx.doi.org/10.3390/s120811391

12. D. M. Laverty, J. Hastings and X. Zhao. An open source analogue to digital converter for power system measurements with time synchronisation. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Turin, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/I2MTC.2017.7969784.

13. Приборостроение и автоматический контроль. Сб. ст. / Редкол.: В.В. Казакевич (пред.) и др. - М. : Машиностроение, Вып. 3 : Автоматические оптимизаторы. Теория и применение, 1986, 276 с.

14. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: наук. -техн. сб., 2015. Вып. 1, с. 296-301.

15. V. Budashko and V. Shevchenko, "Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex", *2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, pp. 106-108, 16-18 Oct. 2018.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

16. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.

17. I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko and V. Shevchenko, "Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets", *2020 IEEE 15 th Intrnational Conference in Advanced Trends in Radioelectronics Telecommunications and Computer Engeneering (TCSET)*, pp. 350-354, 2020.

18. Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. № 4. С. 94–103.

19. Шевченко В. А. Синтез алгоритмов управления вало- и дизель-генераторными установками // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: наук. журнал. — Вип. 1(12). — Херсон: Видавництво ХДМА, 2018. — С. 92 — 97.

20. Шевченко В.А. Способ решения задач управления процессом пуска и остановки дизельгенератора в системах управления судовыми электростанциями // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 254. – Т. 266. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ їм. Петра Могили, 2018.

21. Судовые автоматизированные тепло- и электроэнергетические установки. Учебное пособие. / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Савельев А.Е., Шевченко В.А; Ин-т последипломного образования «Одесск. мор. тренажерн. центр» - Одесса: ТЭС, 2011 – 394 с.

22. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления: Учебное пособие / [Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Теплов Ю.И., Шевченко В.А.]. – Одесса: ТЭС, 2016. – 480 с.: ил.

23. Пипченко А.Н. Судовые автоматизированные механические установки: учебное пособие / А.Н. Пипченко, В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко. – Одесса: ТЭС, 2015. – 366 с.

24. Пипченко А.Н. Техническая эксплуатация одно- и двухтопливных двигателей Wartsila-Sulzer: Учебное пособие / [Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевчен-ко В.А., Табулинский И.Н.]. – Одесса: ТЭС, 2017. – 338 с.

25. Пипченко А.Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9

УДК 004.056.57

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ INTEL VPRO ДЛЯ УДАЛЁННОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

**В.Ф. Шапо**, к.т.н., доцент
Национальный университет "Одесская морская академия"

***Аннотация***. *Показана необходимость удалённого администрирования компьютерных систем для сокращения потребления временных и финансовых ресурсов. Проанализированы пути внедрения технологии Intel vPRO для автоматизации работы системных администраторов.*

***Ключевые слова***: *Intel vPRO, удалённое администрирование компьютерных систем.*

## INTEL VPRO TECHNOLOGY APPLICATION FOR REMOTE ADMINISTRATING OF COMPUTER SYSTEMS

**V.F.Shapo,** PhD, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.*** *The necessity of remote administrating of computer systems for reducing of time and financial resources consumption is shown. Ways of Intel vPro technology implementation for automation of system administrators operation are analyzed.*

***Keywords***: *Intel vPro, remote administrating of computer systems.*

В современной сетевой инфраструктуре любой организации управление компьютерами пользователей – важнейшая задача, требующая постоянного внимания ИТ-специалистов, стремящихся снизить временные и финансовые затраты на обслуживание компьютеров. Особенно актуальной эта ситуация стала в период перехода в удалённый режим работы и нахождения множества пользователей на большом удалении от организации, при переходе множества организаций и их подразделений на карантин, при существенных ограничениях возможностей пользования общественным транспортом, при работе студентов в компьютерных классах общежитий и т.д.

Подход ИТ-служб к решению данной проблемы может в некоторой степени различаться, но в общем позволяет реализовать обслуживание компьютеров пользователей с рабочего места администратора, чтобы сэкономить его время и сократить финансовые затраты.

IT-подразделения также постоянно сталкиваются с угрозами безопасности и различными проблемами, связанными с обслуживанием ПК, такими как инвентаризация компонентов. Корпорация Intel разработала технологию vPro, создав инструменты, которые помогают удалённо обслуживать множество компьютеров.

Технология vPro – термин, используемый корпорацией Intel для широкого ряда технологий и аппаратных функций компьютеров: Hyper Threading, Turbo Boost, VT-x, VT-d, Trusted Execution Technology (TXT), Management Engine (ME), Active Management Technology (AMT), Anti-Theft (AT). Компьютеры, поддерживающие vPro, должны иметь процессор, чипсет и BIOS (Base Input/output System, базовая система ввода/вывода) с поддержкой vPro. Общий подход к удалённому управлению компьютерами с использованием технологии vPro представлен на рис. 1.

1. Intel Management Engine.

Технология Intel ME позволяет обращаться к аппаратному обеспечению напрямую, минуя надстройку в виде операционной системы (ОС). Эта функция не зависит от состояния ОС и обеспечивает управление удалённым компьютером по независимому вспомогательному каналу TCP/IP, даже если компьютер выключен (удалённое включение/выключение компьютера).

Взаимодействие с удалённым компьютером выполняется на уровне аппаратной части, поэтому администратор получает ряд возможностей, которые раньше требовали его физического присутствия рядом с этим компьютером.

Изначально настройки Intel ME включаются после её активации в BIOS, после чего появляется доступ к ряду дополнительных функций BIOS.

Иными словами, нужно включить режим "ON in S0, ME Wake in S3, S4-5" (аналогичные по назначению параметры BIOS различных производителей: Wake Up On Lan, Wake on LAN from S5, MAC Resume From S3/S4, Power Up By Onboard LAN, Resume By WOL). Это позволяет использовать функции удалённого доступа в любой момент, если компьютер подключён к питанию. Если хост находится в режиме S3-S5 и система подключена к сети переменного тока,

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

система удалённого доступа "засыпает" спустя определённое время, но включается вновь при получении сетевого сообщения.

Интегрированный сетевой адаптер компьютера, находящегося в дежурном режиме, выполняет мониторинг всех приходящих по сети данных. Получив сформированный специальным образом «магический» пакет (Magic Packet), сетевой адаптер дает команду на включение компьютера. Используя эту возможность, IT-отдел может позволить удалённым компьютерам переходить в режим сна, но включаться, например, когда сотрудники уходят и появляется возможность установки системных обновлений.

Intel позволяет сохранять сертификаты для предоставления удалённого доступа и компьютер может проходить аутентификацию до получения доступа к сетевым ресурсам.

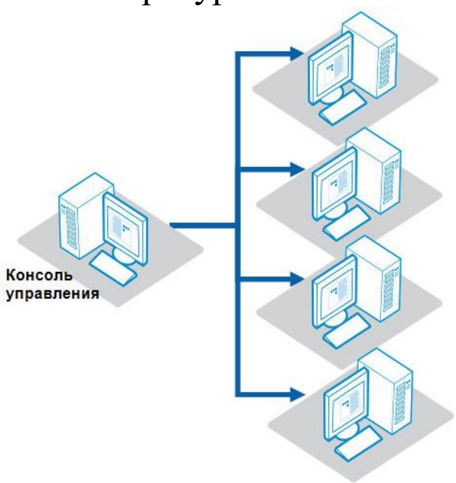



Рисунок 1 – Удалённое управление компьютерами с использованием технологии vPro

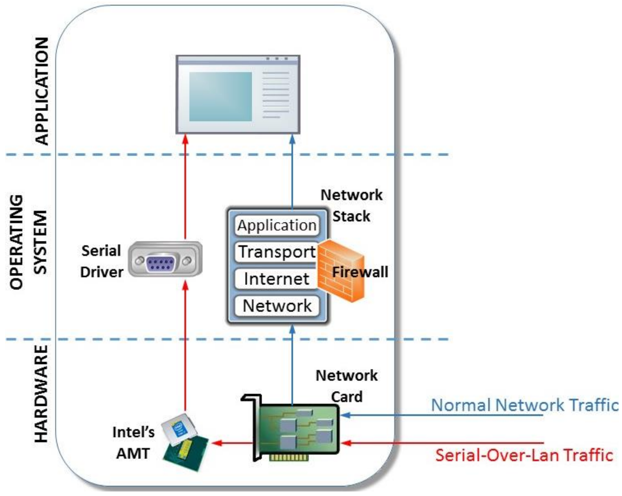



Рисунок 2 – Имитация использования последовательного порта при передаче данных по сети

2. Intel Active Management Technology.

В начальных версиях vPro AMT взаимодействовала с интегрированным в материнскую плату процессором, завися от его состояния. После переноса функций удалённого управления на материнскую плату/сетевой контроллер многие возможности стали доступны даже в том случае, если компьютер выключен или до загрузки ОС. Ключевые функции АТМ:

удалённое включение, выключение или отдельный цикл включения/выключения;

монтирование образа системы для загрузки ОС на удалённом компьютере;

удалённый доступ к информации об аппаратных ресурсах компьютера;

удалённое перенаправление консоли средствами Serial over LAN (SoL) (рис. 2);

вывод Out-of-Band (OoB) сообщений для администратора;

обеспечение безопасного канала TLS между администратором и клиентской системой, управляемой с помощью vPro.

Перечисленные функции созданы, чтобы дать системным администраторам уровень управления, который находится ниже и функционирует независимо от ОС (хотя Intel предлагает программную надстройку, позволяющую интегрировать возможности АМТ в ОС).

Для обеспечения полного доступа администратора к клавиатуре, видеокарте и мыши на клиентском компьютере, начиная со стандарта AMT 6.0 добавлен KVM Remote Control. Можно перехватить управление правильно сконфигурированной системой и производить её диагностику, даже если на ней не установлена ОС. В дальнейшем появилась поддержка расширенного выбора разрешений в режиме KVM, что позволяет работать в более комфортных условиях.

Многие решения KVM-over-IP, реализованные на базе IPMI 2.0 в некоторых серверных материнских платах, обычно предполагают работу на разрешении 800 × 600. Это не создаёт проблем при работе с удалёнными серверами (многие из которых всё равно управляются при помощи командной строки), а вот обслуживать клиентские машины на таком разрешении совсем не комфортно. Начиная с версии AMT 7 можно работать на разрешении до 1920×1200.

IPMI (Intelligent Platform Management Interface, интеллектуальный интерфейс управления платформой), – интерфейс для удаленного мониторинга и управления физическим состоянием сервера. IPMI является аналогом IP-KVM, iLo, iDRAC, IMM. IPMI позволяет выполнить:

удаленное включение, выключение и перезагрузку сервера;

мониторинг температуры, напряжения и системы охлаждения;

удаленное подключение к серверу носителя информации (например, для установки ОС и программного обеспечения (ПО));

управление учетными записями и правами пользователей с поддержкой LDAP и Active Directory;

управление портами доступа и защиту доступа SSL-сертификатом;

настройку уведомлений о работе сервера.

С версии AMT 7 обеспечена возможность использовать сигнал сотовых сетей 3G для отправки удалённой команды kill, что значительно повышает шансы сохранить конфиденциальность данных на компьютере при его краже. Восстановить его работоспособность можно аналогичным образом.

После входа по IP в веб-интерфейс производится процедура аутентификации, затем открывается окно System Status (рис. 3).

Одна из самых полезных функций vPro – удалённая перезагрузка клиентской машины. Интерфейс обеспечивает доступ к нескольким вариантам перезагрузки. Данная функция исключительно полезна, если ОС не загружается с локального жёсткого диска и необходима загрузка с другого носителя либо восстановление/откат системы с образа. Настройки управления питанием также присутствуют в веб-интерфейсе и в BIOS доступны функции удалённого управления, на которых мы останавливались ранее.

Можно использовать статические IP-адреса, либо они могут назначаться автоматически DHCP-сервером (рис. 4). Использование адресов IPv4 постепенно сокращается в пользу IPv6 (рис. 5).

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Веб-интерфейс даёт возможность задавать сетевые имена пользовательским компьютерам, добавлять, изменять или удалять учетные записи пользователей, присваивая каждой группе разные права.

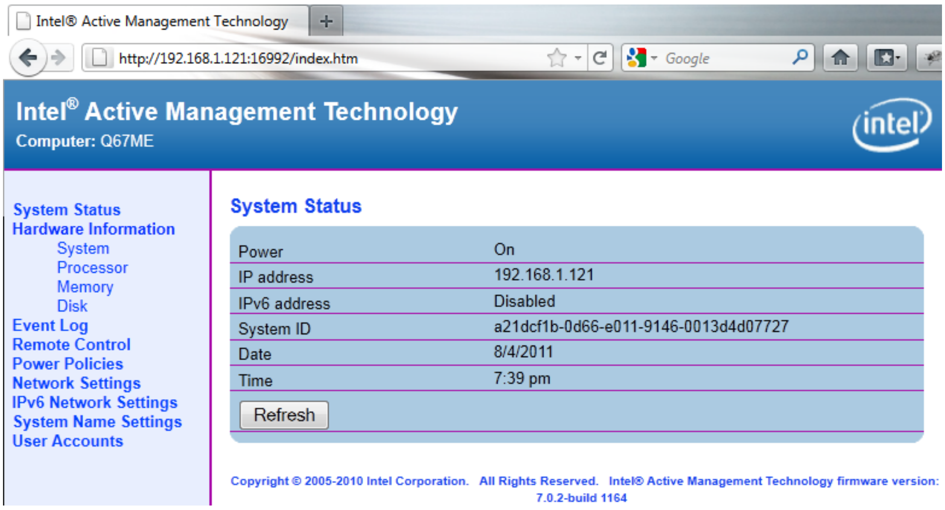



Рисунок 3 – Главное окно Веб-интерфейса Intel AMT

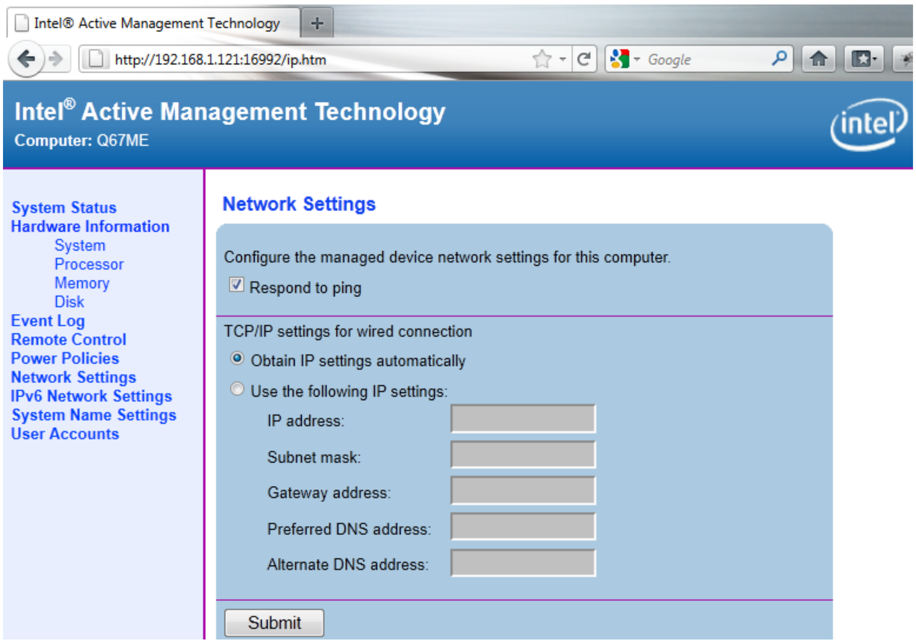



Рисунок 4 – Настройка сетевых характеристик на базе протокола IPv4

KVM Remote Control позволяет использовать ПО RealVNC Viewer Plus совместно с платформой vPro для получения полного контроля над удалённым компьютером даже до того, как он загрузит ОС. RealVNC Viewer Plus получает доступ к нескольким функциям, которые имеют много общего с серверной платформой IPMI 2.0, а в некоторых случаях даже превосходит её по функциональности.

Через отдельный канал с TLS-шифрованием администраторы могут использовать RealVNC Viewer Plus для подключения к системе управления OoB.

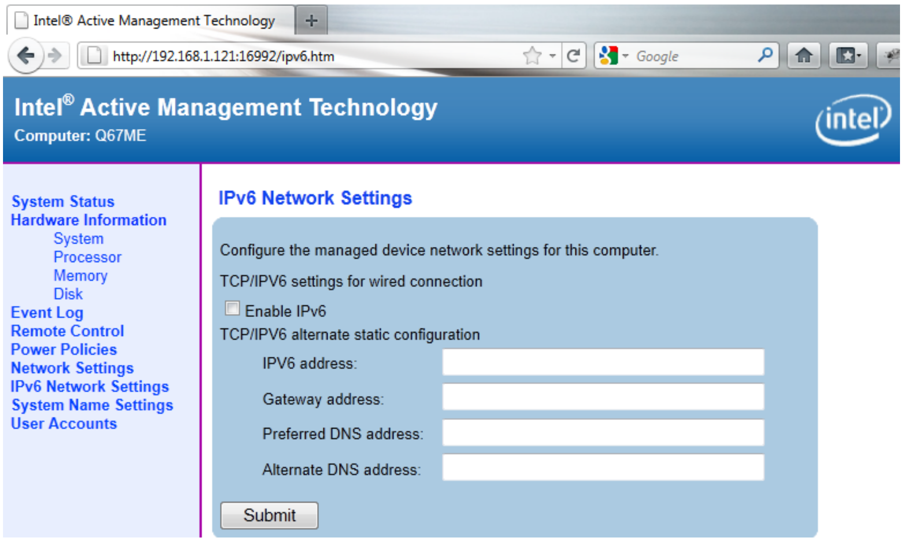



Рисунок 5 – Настройка сетевых характеристик на базе протокола IPv6

Иными словами, создаётся служба удалённого доступа к рабочему столу компьютера VNC (Virtual Network Computing), дающая доступ к аппаратным устройствам удалённого компьютера и реализованная на более низком уровне, чем ОС. Запускать VNC-сервер на хост-компьютере при этом не нужно. Отчасти подобные задачи могут быть решены с помощью ПО NetMeeting, VNC и Remote Desktop Connection. Авторизация в RealVNC Viewer Plus может выполняться с использованием шифрования TLS (Transport Layer Security), дополняющего специальный тип соединения Intel AMT KVM.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Корпорация Intel [Электронный ресурс]: https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/vpro/vpro-platform-general.html (дата обращения: 27.11.2020).

УДК 62-5.007.681.5

## ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ ВИВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ПАЛУБНИМ КРАНОМ

**А. І. Шестака,** старший викладач
Національний університет "Одеська Морська Академія"
**Л. В. Мельнікова,** к.т.н., доцент
Одеський національний політехнічний університет

***Анотація:*** *В статті представлено розробка можливих алгоритмів роботи палубного крана з поворотним спредером в напівавтоматичному режимі з метою оптимізації завантажувально-розвантажувальних операцій. На підставі розрахунків позицій стріли і спредера був обґрунтований, розроблений і запропонований алгоритм приведення координат контейнерів до завдань приводів повороту і виліту стріли палубного крана. Це забезпечує: усунення людського фактора, зниження часу технологічного процесу, підвищення продуктивності операцій і скорочення часу стоянки судна в порту.*

***Ключові слова****: палубний кран, спредер, контейнер, алгоритм позиціювання.*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# SUGGESTIONS FOR AUTOMATION OF CONTAINERS UNLOADING OPERATIONS BY THE DECK CRANE

**A. Shestaka,** senior Lecturer
Odessa National Polytechnic University
**L. Melnikova,** PhD, ass. Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** *The article presents the algorithms development for the operation of a deck crane with a rotary spreader in a semi-automatic mode in order to optimize loading and unloading operations. On the basis of boom and spreader position calculations the transformation algorithm containers coordinates to references of deck crane boom luffing and slewing drives was proved, developed and offered. This provides: the elimination of the human factor, reducing the time of the technological process, increasing the operations efficiency and decreasing the time vessel handling in the port.*
***Key words****: deck crane, spreader, container, algorithm, positioning*

Постійний і динамічний зріст близько 5% щороку [2] демонструється в галузі морських та річкових контейнерних перевозок невеликими (до 4000 TEU) контейнеровозами (фідерами) на невеликі відстані від основного порту розвантаження океанського контейнеровоза до місцевих портів призначення вантажу. Такі судна-фідери проводять операцію самовивантаження контейнерів за допомогою власних [3] палубних кранів, які мають бути [4] оснащені спеціальними вантажозахватними пристроями (спредерами). Оптимальним для використання в таких операціях є спредер з ротатором [5], який дозволяє здійснювати поворот вантажозахватної рами (і порожньої, і разом з контейнером) в горизонтальній площинні для точної посадки на контейнер. Сучасні ротатори [5] дозволяють здійснювати поворот контейнера в межах від -185°до +95°. Спредери взагалі і спредери з ротатором оснащені керуючими системами [6], які містять в собі зокрема програмований логічний контролер (PLC), панель оператора (Human Machine Interface, HMI) та комунікативний інтерфейс на основі протоколу CAN Open в стандартній комплектації [7] . Для спредерів одного з провідних виробників Bromma така система (Spreader Control System SCS$^4$©) оперує з даними про поточний стан всіх сенсорів і механізмів спредера, дозволяє сканувати та розпізнавати номер контейнера, передає дані в систему керування краном, а також збирає статистичну інформацію з подальшою передачею її через Інтернет [7]. Система керування палубним краном аналогічним чином оперує в реальному часі з повним масивом даних від сенсорів і механізмів крана. За ієрархією вона, зрозуміло, знаходиться вище системи керування спредером.

Аналіз режимів роботи палубного крана при обробці контейнерів, показав, що суттєве скорочення часу робочих операцій є можливим при усуненні операції позиціювання спредера над центром наступного контейнера, що буде вивантажуватись з палуби. Ця операція досить часто потребує участі допоміжного персоналу, який корегує точну посадку спредера на контейнер, особливо у випадках, коли обробляється контейнер нижнього яруса в останньому від колони крана ряду, який до того ж може бути закритим для візуального контролю з боку оператора контейнерами вищих ярусів ближніх рядів. Такі дії, що вимушено мають повторюватися майже для кожного контейнера, по суті є нетехнологічними і займають досить великий час, який можна порівняти з часом вантажно-розвантажувальних операцій в цілому.

Розглянемо пропозиції щодо автоматизації технологічних операцій вивантаження контейнерів з палуби у вигляді алгоритму роботи палубного крана з розрахунком координат контейнерів і приведення цих координат до завдань приводів повороту і виліту стріли. Суттєвим моментом у вирішенні цих підзадач є те, що положення контейнерів задається в декартовій системі координат, прив'язаній до площини палуби із збігом однієї зі своїх осей з поздовжньою віссю судна, а кран оперує полярною системою координат "виліт і кут повороту стріли". Тому для вирішення завдання позиціювання спредера над контейнером, що вивантажується, потрібно забезпечити прямий та зворотній переходи від декартових до кутових координат. Для виконання цієї операції потрібна попередня "прив'язка" двох систем координат, яка була виконана у роботі [1]. Стріла повинна бути розташована над середнім контейнером першого ряду таким чином, щоб центр спредера збігався з центром контейнера. Дані про початковий виліт стріли $L_0$ і про початковий кут повороту $\alpha_0$ записуються в пам'ять PLC. Маючи ці початкові координати визначаються координати центрів всіх контейнерів і в першому, і в наступних рядах. Виліт стріли (тобто, довжину проекції стріли на горизонтальну площину) $L_i$ і кут повороту $\alpha_i$ для $i$-го контейнера в ряду визначено в роботі [1]. Вирази (1) і (2) визначають просторові кутові координати $\alpha_{ni}$ і $\beta_{ni}$ кінця стріли (центру спредера), проекція якого співпадає з центром $n_i$-го контейнера, через $L_j$, $\Delta l$, $\Delta L$, $L_0$ та номер $(n_i)$. Схема розташування контейнерів до відповідних розрахунків $\alpha_{ni}$ і $\beta_{ni}$ зображені на рис.1.

$$\alpha_{ni} = arctg\frac{x_{ni}}{L_0 + y_{ni}} = arctg\frac{(i-3)\cdot\Delta l}{L_0 + (n-1)\cdot\Delta L} \qquad (1)$$

$$\beta_{ni} = ar\cos\frac{\sqrt{[(i-3)\cdot\Delta l]^2 + [L_0 + (n-1)\cdot\Delta L]}}{L_j} \qquad (2)$$

де $L_j$ - довжина стріли для позиції $n_i$-го контейнера,

$\Delta l$ - довжина проміжку між центрами контейнерів по ширині,

$\Delta L$ - відстань між центрами контейнерів по глибині,

$L_0$ - початковий виліт стріли.

Значення $\alpha_{ni}$, $\beta_{ni}$ використовуються в якості завдання для приводів повороту та виліту стріли відповідно і в автоматичному режимі може обчислюватися бортовим PLC крана та має вводитися в власну систему керування згідно до номеру $(n_i)$ контейнера, що буде вивантажуватись.

Видача сигналів $\alpha_{ni}$ і $\beta_{ni}$, після відповідної ув'язки рівнів (масштабування) має проводитися через блок цифро-аналогового перетворювача з дублюванням сигналів від джойстиків повороту і виліту стріли, а також від пульта керування поворотом спредера.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

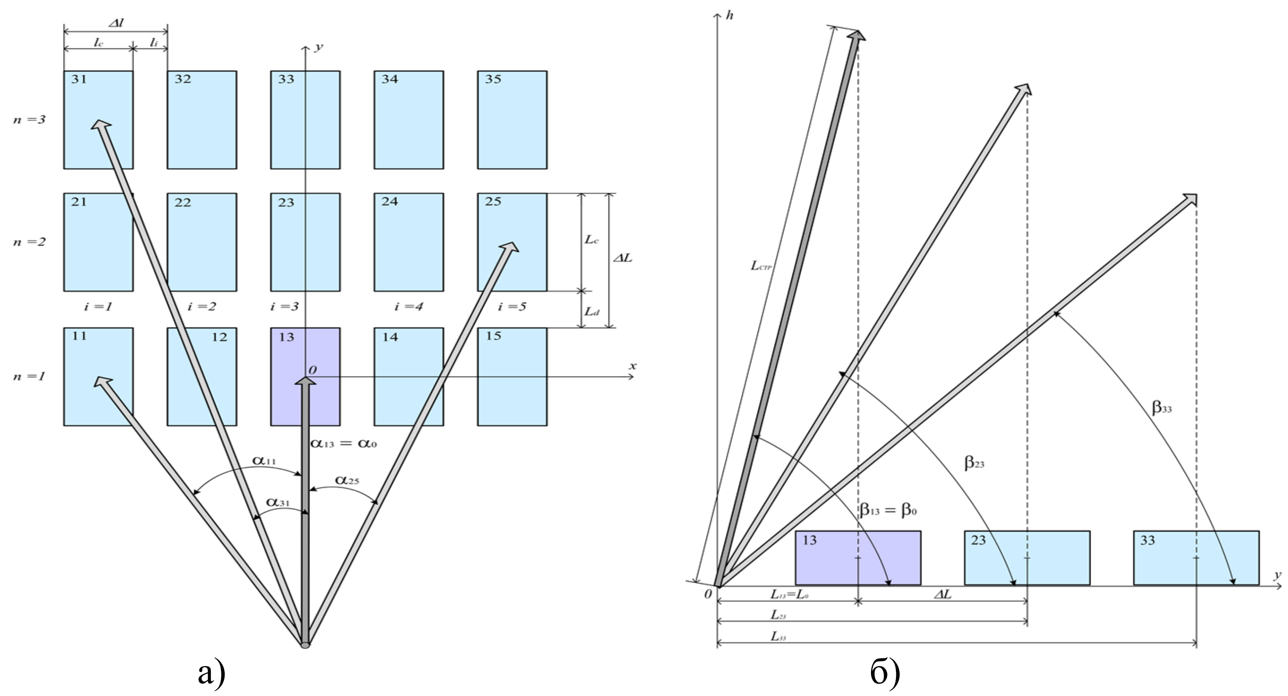


Рисунок 1 – Визначення: а) кута повороту $\alpha_{ni}$ через позицію $n_i$-го контейнера, б) початкового кута виліту стріли $\beta_{n3}$ через позицію $n_3$-го контейнера

Алгоритм автоматизації палубного крану описується наступним чином:

1) введення даних про початкові значення $L_0$, $\alpha_0$ від відповідних енкодерів вильоту стріли і кута повороту. Ця операція виконується по команді "Ввести початкові значення", яку подає оператор.;

2) введення оператором номера середнього (рахуючись зліва направо) контейнера $N_0$, по якому виконується прив'язка координат;

3) переведення оператором систем керування поворотом спредера та механізмами повороту і вильоту стріли крана в режим AUTO Positioning. Після цього включаються дублюючі канали подачі сигналів $\alpha_{Sn}$ і $L_n$, $\alpha_n$ паралельно відповідним лініям з виходів керуючих джойстиків спредера, повороту та вильоту стріли;

4) введення оператором номера $n$ контейнера, який обробляється;

5) автоматичне виконання операцій позиціювання центра спредера над геометричним центром $n$-го контейнера механізмами вильоту стріли та повороту крана і автоматичне коригування спредера на потрібний кут механізмом повороту спредера;

6) ручна посадка спредера оператором на контейнер;

7) фіксація наявності сигналу про закриття твістлоків спредера, який інтерпретується програмою в якості першого сигналу подальшої операції вивантаження контейнера;

8) ручне вивантаження контейнера оператором і посадка контейнера на берег (платформу, інший борт);

9) фіксація наявності сигналу про розкриття твістлоків, який інтерпретується програмою в якості другого, кінцевого сигналу операції вивантаження контейнера;

10) перехід до точки вводу номера наступного контейнера, тобто, до початку наступного автоматичного циклу позиціювання;

11) за необхідності можлива ручна корекція положень кінця стріли і кута спредера по запиту оператора шляхом подачі сигналу "Manual Correction", наявність якого ініціює перехід до підпрограми ручного управління механізмами всередині автоматичного циклу. Кінцеві скориговані значення координат $L_n$, $\alpha_n$ і $\alpha_{Sn}$ надалі використовуються алгоритмом з метою компенсації накопленої похибки відповідних координат;

12) переведення оператором систем керування поворотом спредера та механізмами повороту і вильоту стріли крана з режиму AUTO Positioning в режим MANUAL ініціює перехід програми в вихідний стан з нульовими значеннями всіх координат.

**Висновки**. Використання алгоритму значно полегшує роботу оператора, якій лише вводить в систему номер наступного контейнера, що підлягає обробці, та здійснює візуальний контроль за коректністю послідовності технологічних операцій. Процес позиціювання спредера над контейнером не потребує участі допоміжного персоналу. Таким чином забезпечуються: усунення людського фактора, зменшення тривалості процесу самовивантаження, підвищення продуктивності операцій, і – загалом – скорочення часу стоянки судна в порту.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Шестака, А.І. Алгоритм позиціюванні стріли і спредера для палубних кранів [Текст] / А.І. Шестака, Л.В. Мельнікова // Науково-виробничий журнал "Електромеханічні і енергозберігаючі системи." Випуск 1/2020 (49) – Кременчук: КНУ, 2020. – с.20-29. DOI: 10.30929/2072-2052.2020.1.49.20-28.

2. MPC Container Ships ASA. Annual Report 2019 – March 23, 2020, 77p. URL: https://www.mpc-container.com/files/mfn/Public/17513/3066717/930ed5e2907ca631.pdf.

3. MacGregor. Container Ships. URL: https://www.macgregor.com/Products/merchant-cargo-and-passengers/container-ships/

4. Container ship cargo cranes operation and maintenance procedures . URL: http://shipsbusiness.com/deck-cranes-for-containership.html

5. Bromma. SRG – Rotator for Yard and STS cranes. URL: https://bromma.com/products/srg/.

6. Bromma. Introduction to SCS2 – Bromma Services – March 2, 2015. URL: https://prezi.com/c6szfgphfi-g/introduction-to-scs2/7. CAN Newsletter: Hardware, Software, Tools, Engineering – 2, June 2018, 42p. URL: https://can-newsletter.org/magazine.

7. CAN Newsletter: Hardware, Software, Tools, Engineering – 2, June 2018, 42p. URL: https://can-newsletter.org/magazine.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# Секція 2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

УДК 629.56.064.5+620.9+629.5

## DESIGN OF POWER PLANTS, PROPULSION COMPLEXES AND CONTROL SYSTEMS FOR SHIPS OF THE FUTURE

**V. Budashko**, Dr. of Technical Sciences, Associate professor
**V. Vlasov**, Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»
**Kosmas Zdrozis**, PhD
Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki
**Basil Shafiq**, Ph.D., Professor
Al-Baath University, Homs, Syria.

***Abstract.*** *The integrated use of ships of the future (SoF) - unmanned vehicles, allows us to solve many practically significant and important problems inherent in the current economic and military-political situation of World. There is an important task that is part of the "Military doctrine of Ukraine" and "Concept of development of the security and defense sector of Ukraine", namely the production in the Ukraine of modern small-sized SOFs, which are designed to perform specific tasks when in military and civilian use. It is believed that this task is solved either by the purchase of imported SOFs (for civilian use only), or only if there is sufficient funding for certain areas of research and the creation of military SOFs which will require significant resources. A conceptual solution is proposed, which significantly reduces the resources needed to create a dual-purpose (for civil and military use) SOF. This will use a mixture of hardware, including parts of the power plant, propulsion system, energy management system, dynamic positioning system from commercial vehicles and will be modular in its construction. The basis for the construction of individual modules is a comprehensive automation of all functions, computerization, implementation of group technology, providing high flexibility. Functional-technological structure of the automated module consists of two components: functional structure (nomenclature of assembled parts, their properties, complex operations, organization of processes, level of re-installation, etc.) and technological structure (control technology, technological features, hierarchy of components, etc.). Central in modular technological processes is re-installation, which is the basis of their efficiency.*

***Keywords:*** *ships of the future, control algorithms, power plant, propulsion induction electric motor, frequency converter, formalization of the physical model, computational fluid dynamics*

## ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ПРОПУЛЬСНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СУДЕН МАЙБУТНЬОГО

**В. В. Будашко,** д.т.н., доцент
**В. Б. Власов,** старший викладач
Національний університет «Одеська морська академія»
**Космас Здрозис**, к.т.н.
Олександр Технологічний освітній інститут в Салоніках
**Базіль Шафік**, к.т.н., професор
АЛЬ-Баас університет, Хомс, Сирія

***Абстракт.*** *Комплексне використання суден майбутнього – безпілотних машин, дозволяє нам вирішити багато практично значущих і важливих проблем, властивих сучасному економічному та військово-політичному становищу в світі. Є важливе завдання, яке є частиною "Військової доктрини України" та "Концепції розвитку сектору безпеки та оборони України", а саме виробництво в Україні сучасних малогабаритних суден майбутнього, які призначені для виконання конкретних завдання у військових та цивільних цілях. Вважається, що це завдання вирішується або закупівлею ім-*

*портованих суден майбутнього (лише для цивільного використання), або лише за умови достатнього фінансування певних напрямків досліджень та створення військових суден майбутнього, що потребуватиме значних ресурсів. Запропоновано концептуальне рішення, яке суттєво зменшує ресурси, необхідні для створення суден майбутнього подвійного призначення (для цивільного та військового використання). Для цього буде використано суміш апаратних засобів, включаючи частини електростанції, рушійну систему, систему енергоменеджменту, систему динамічного позиціонування і буде модульною в її конструкції. Основою побудови окремих модулів є комплексна автоматизація всіх функцій, комп'ютеризація, впровадження групової технології, що забезпечує високу гнучкість. Функціонально-технологічна структура автоматизованого модуля складається з двох компонентів: функціональної структури (номенклатура зібраних деталей, їх властивості, складні операції, організація процесів, рівень перевстановлення тощо) та технологічна структура (технологія управління, технологічні особливості, ієрархія компонентів тощо). Центральне місце в модульних технологічних процесах займає перевстановлення, що є основою їх ефективності.*

***Ключові слова:*** *судна майбутнього, алгоритми управління, електростанція, рушійний асинхронний електродвигун, перетворювач частоти, формалізація фізичної моделі, обчислювальна динаміка рідини*

## 1. Introduction

Research marine and industrial technologies and innovations provides an opportunity to identify the most significant features of such vessels, adopting best-in-class solutions that will significantly improve economic results, reliability, operational safety and environmental protection.

The complex use of diesels with electronic injection, brushless generators, electric propulsion systems theoretically allow the creation of ships of the future with high-precision dynamic stabilization at any geographical position in severe hydrometeorological conditions. This is a prerequisite for SOF systems and is in fact no different to the requirements for weapons. The processes of energy efficient energy transfer in the power plants of SOF with combined propulsion complexes (CPC) are not usually studied [31]. The power plant for ships of the future (PPSoF), created for specific types of vehicles with Dynamic Positioning (DP) systems, have special requirements for energy consumption and energy efficiency. The multifunctional capabilities of DP vessels can be used only to a limited extent, because their efficient operation requires power that significantly exceeds that of modern PPSOFs with no DP systems. The conceptual development of the PPSOF of such vessels with DP is important in the creation of specialized CPCs, the use of special types of electric drives, the use of specialized energy sources and controls.

On the other hand, such a vessel should be part of a single integral decision support system. It should be created on the basis of combining all onboard devices and systems into a single integral system.

The rationale for the expediency of this approach to the design of ships of the future is the complex, multi-level nature of technological processes and objects that are in constant development. These processes and objects require a systematic scientific approach based on the theory of control and forecasting of nonlinear, multi-level processes.

Remote diagnostics will become an essential feature of the ships of the future. This will increase vessel safety and reduce costs by simplifying remote maintenance of all devices connected to fully integrated navigation, energy management and

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

safety systems. On-line, with early access, it is easy to make small changes that will help prevent major problems in the future. A necessary condition for the successful operation of the projects under consideration is the fault tolerance of automation systems.

More information means a better transition to a higher level of control and more efficient service planning, which reduces the need for the presence of service engineers on the ship or reduces the call time, if any [33, 34].

Achieving a balance between high precision dynamic positioning by the vessel whilst maintaining energy efficiency and stability of the PPSOF CPC can be problematic. However, there is a contradiction and demand of practice – to achieve maximum energy efficiency while maintaining the objectives of safety, ecology and, most importantly – the implementation of the main technological task of a SOF. Even the preliminary analysis [4, 6, 14, 16, 18] shows that the use of special controls and modified CPCs will lead to at least a 30% increase in the efficiency of power conversion from energy sources to propellers. But this problem is not solved by methods of almost uncontrolled counteraction of the force of the propeller thrust due to the coordinated counterbalance to external perturbation.

The authors analyzed the recommendations for assessing the characteristics of the CPC PPSOF: calculating the power of the engines and determining their type, completing the propulsion complexes of various types. These data were obtained on the basis of empirical experience in design and operation, as well as statistical processing of information about ships of the future (private joint-stock company "Chernomorsudnoproekt", Ukraine) [19].

Analysis of the current state of research, approaches and methodology [23, 26, 27, 30], solving problems of improving the efficiency of vessels with DP, PPSOF CPC for various purposes (international concerns Wartsila, Danfoss) do not allow us to confidently declare a solution to the problem of reducing efficiency and increasing failures during normal operation of vessels and in the modes of the DP. The generalization of the results of studies of the performance characteristics of ships of the future with CPC and DP system, performed by different authors [4, 23, 26, 27, 31], and their methods do not allow us, with sufficient accuracy sufficient accuracy to perform calculations of running and dynamic qualities of ships of the future for different purposes. Model and field tests of propellers, empirical methods for determining the resistance, as well as the calculation and design of engines of various types, cause complex, unresolved issues of interaction of propellers with the hull [14, 16, 23].

An SOF is a free is a free-floating object with six degrees of freedom - three linear movements and three rotations about the spatial axes coordinate systems. All spatial evolutions of SOF in the aquatic environment can be reduced to two main modes of movement – global movement from the initial position to the object and local maneuvering over the object. If in in the first mode, translational and relatively rectilinear movements prevail, in the second there are no preferred movements. In all six coordinates, the SOF moves equally and there is no advantage of any coordinate. The SOF as a free-floating body perceives numerous power disturbances from the environment and operating equipment. Since the vector disturbances are difficult to predict, it is almost impossible to hold position of the SOF with one propeller, even with a perfect DP system. What is needed is a dynamic positioning system that works in synergy with a multi-propellers CPC, without which SOFs become observation cameras with extremely limited mission capabilities.

Hydrometeorological factors and uncertainties related to the area of navigation, season, fuel prices, oil, crew consistency, etc. have the significant impact on the efficiency of DP systems, their PPSOF and CPC. Thus [4, 18, 23, 30, 31]:

– the issues of substantiation of the type, determination of the optimal (rational) architecture and main characteristics of the CPC in the implementation of PPSOF projects are not given enough attention, and most existing methods of assessing the effectiveness of PPSOF are used outside the systematic approach to design and consequently do not always meet modern requirements [4, 18, 31];

– the promising direction in the implementation of work related to improving the efficiency of DP, PPSOF and CPC systems is the use of modern simulation environments and CAD/CAM/CAE-systems, which allows us to analyse random factors and dynamics of the environment for the operation of DP systems [18, 19, 26];

– relevant for SOF and dual-use are the issues of increasing the reliability and efficiency of the CPC PPSOF with guaranteed performance of technological tasks by the vessel [26, 27, 30];

– insufficiently covered issues related to the automation of work on the design and technological preparation of production in projects to improve the efficiency of the CPC PPSOF SOF.

## 2. Purpose of work

Research has been carried out on the processes of energy processes of energy-saving dynamic positioning, control, conversion and energy transfer in PPSOF CPC of SOF vessels with improvement of systems, hardware and software, development of methods of guaranteed performance of special and basic technological tasks of SOF under the condition of high energy efficiency of functioning of their PPSOF of the CPC working in various difficult operational modes.

## 3. Contents and results of the research

The authors proposed improved methods and algorithms for monitoring and control of the moment of the CPC PPSOF (for example, patents of Ukraine №100819 from 10.08.2015, №107006 from 03.06.2016, №108074 from 26.06.2016) and construction the synergistic structure of the control system [7, 8-13, 15, 20, 25], theoretically allow us to solve the problem of optimizing the process of controllability of the DP system while increasing the efficiency of power transmission to the propellers, increasing reliability and expanding functionality, in particular – dual purpose vessels (civilian and military). Advanced control algorithms [7, 8, 10, 12, 15, 25] allow this to be achieved, based on the application of independent input load characteristics, to generate propeller torques, implement the necessary control signals taking the location of active thrusts relative to the hull, quickly reconfigure environmentally de-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

pendent parameters. Using the results of similar of similar research [29], dependences of crossing of typical situations operational parameters were obtained for PPSOF CPC [9]:

$$\begin{aligned}
&d_i=0;\ a_{ij}=0;\ j=0;\ j=1,2,...,L;\\
&\exists k=1,2,...,L;\ p_{is}\in P_{ik},\ s=1,2,...,S\Rightarrow\\
&\Rightarrow d_i=1;\ b_{ks}=1;\ a_{ik}=1;\\
&\bar{C}_{ik}\cup\bar{C}_{ij},\ j=1,2,...,L;
\end{aligned} \tag{1}$$

where: $d_i$, $b_s$ and $a_j$ – auxiliary indicator variables of the iterative process;

$p_{is}$ – s-th sign of the situational factor;

$P_{ik}$ – the set of characteristic features of the k-th typical situation factor for the i-th operating mode identifier;

$\bar{C}_{ik}$ – set of variables taken into account in the modified task;

$\bar{C}_{ij}$ – an average set of typical situational factors for which $a_{ij}\neq 0$.

Based on the obtained dependences [9, 20], the authors are developing the reduced (1:50) physical model of the multifunctional propulsion configuration with a DP system (Fig. 1), which will help prove the effectiveness of the proposed solutions. At the level of technical implementation, in the links of orientation, stabilization, navigation and control, the authors introduce such elements as solid-wave gyroscopes and piezoelectric transducers, which, in contrast to traditionally used devices in DP systems, can independently measure angles and speed [9-11, 13, 20].

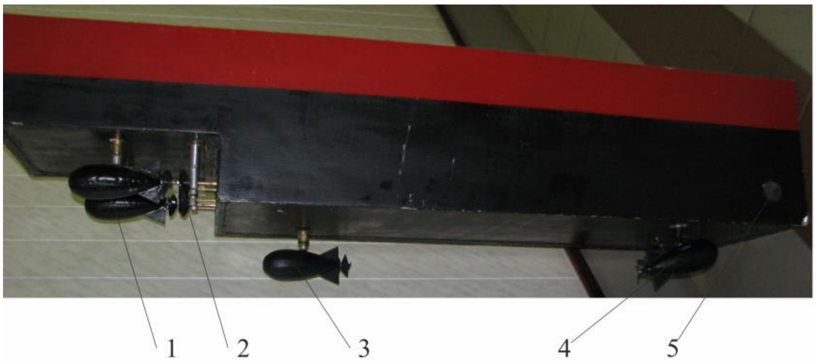



Figure 1 – Physical modeling of a multifunctional propulsion complexes; 1 – steering device of the CRP system; 2 – the main electric motor of the CRP system; 3 – aft steering device; 4 – steering device with two degrees of freedom; 5 – tunnel steering device.

The study of the principles of synthesis and operation of DP systems equipped with CPCs reveals the widespread use of typical PID-controllers in different circuits of the control system, despite the significant shortcomings – the complexity of parameterization, noise sensitivity, unreasonable energy consumption and others [1, 3, 5, 17].

There is no open access analysis of SOF. It is known [4, 30] that in some DPS1 systems (according to the classification of the American Bureau of Shipping, ABS) it is possible to "shut down" the main and auxiliary engines, thrusters, and the vessel will keep a position even in difficult weather conditions. Sometimes [14] the operation of ships of the future with DP systems (DPS2), where there is a global satellite navigation system (GNSS) with a FanBeam device and a working autopilot, is reduced to the operation of the algorithm DPS1. On state-of-the-art beta versions of K-POS systems (Kongsberg proprietary system) [6, 23, 27], the ships of the future will be very difficult to steer in some situations. Increasing the speed of the DP system gives significant technological advantages, but the energy efficiency of such DP systems is very questionable [4, 14, 18].

Assuming that the service requests of the system's DP sensors have a Poisson nature of the flow of requests and the laws of service, then the flow of events in the DP system must have three properties: normal, no effect and stationary, and obey the law of Poisson's propagation [9, 20]:

$$P_n(\tau) = (\lambda\tau)^n \cdot e^{-\lambda\tau} / n!, \tag{2}$$

where: $P_n(\tau)$ – the probability of occurrence of n homogeneous events in the time interval $\tau$;

$\lambda$ – the constant positive number that defines the average number of events per unit of time.

Thus, the solution of the problem of improving the energy efficiency of SOF with DP: a) providing the necessary, technologically determined, positioning accuracy (for example, to ensure the operation of guidance systems); b) taking into account the action of external disturbances in the open sea, is relevant, has practical significance and is not conceptually resolved.

Improving the accuracy of dynamic positioning systems of special ships of the future allows us to use them for SOFs, which can be done through the simultaneous use of energy efficient management methods by: a) construction the special structure of PPSOF and CPC, b) using a real-time model in the control loop, c) appropriate corrective actions by means of the forecast analysis of mutual influence of operational parameters of separate elements of PPSOF and CPC.

For example, for these DP systems according to formulas (1) and (2), many typical situational factors will have intersections, which affects the adjustment of the corresponding coefficients of PID-regulators, ie [22, 24]:

$$\begin{gathered} \bar{C}_{ik} \cap \bar{C}_{ij} = \not\in, \ k = 1, 2, \ldots, L; \\ j=1,2,\ldots,L; \ k \neq j. \end{gathered} \tag{3}$$

where: $\bar{C_i}$ – the set of situational factors of the operating mode; L – the subset $\bar{C_i}$, k = 1, 2, ..., L, relevant to typical situational factors. All current situations are evaluated for belonging to a particular set $\bar{C_{kj}}$, k = 1, 2, ..., L, and the task is replaced by the task equivalent to the typical situation $\bar{C_{kj}}$.

According to the results of research, the following are determined: a) criteria for assessing the quality of power transmission from energy sources to propulsion systems in the CPC PPSOF in different operating conditions; b) methods for forecasting excess power consumption during changes in the operational regime of dual-use vessels; c) criteria for assessing the derivation efficiency of CPC engines in order to improve the energy performance of PPSOF and to develop a methodology for match-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

ing the characteristics of motors of CPC for the projected analysis of power conversion processes in PPSOF.

In particular, taking to formulas (1) and (3), for the set of situational factors $\bar{C}_{kj}$ of the operating mode, we define the corresponding intersections for k = 1, 2, ..., L, s = 1, 2, ..., S. Indicator variables of the iterative processes $d_i$, $b_s$, and $a_j$ change arbitrarily within the set of characteristic features of the k – the typical situational factor for the i-th identifier of the operational mode $P_{ik}$ (Fig. 2). The set of variables of the modified problem is an intersecting set of typical situational factors for which $a_{ij} \neq 0$.

From the fig. 2, we can conclude that the determination of the values of the probabilistic coefficients of the disturbing factors applied to dynamic positioning systems and the formation of the configuration matrix of the compensating forces with the determination of the place of application is possible based on the corresponding identification factors. Obtaining correction factors affecting the components of forces and moments proportional to the size of the model and the real object tied to the original geometry is possible by formalizing physical models with the means of identifying disturbing factors on the line of the compensating element.

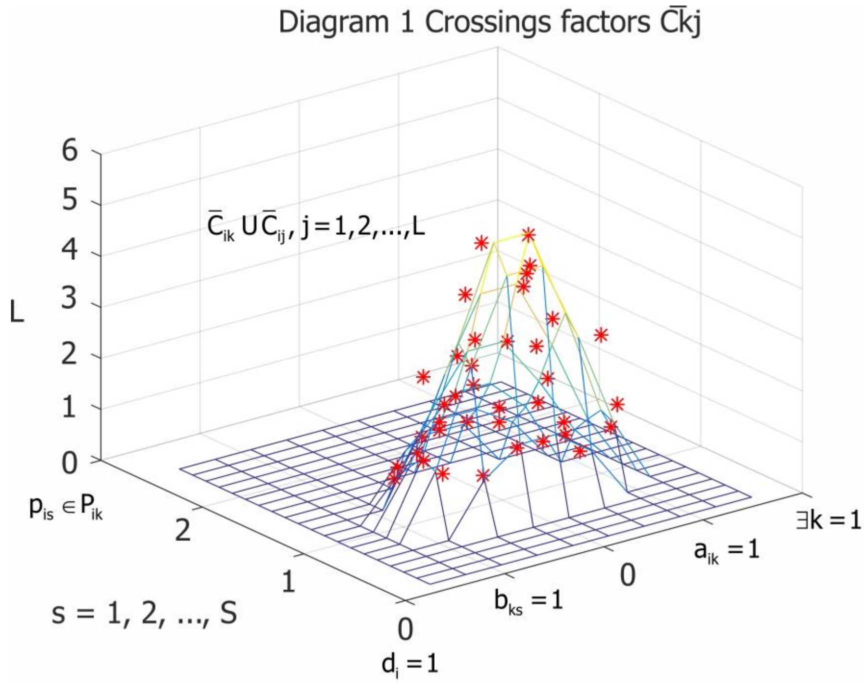



Figure 2 – The intersections of the set of situational factors $\bar{C}kj$ of the operational mode for k = 1, 2, ..., L, s = 1, 2, ..., S

Mathematical models have been developed: a) power transfer in the CPC PPSOF of different types, which will allow us to assess the energy efficiency and quality of processes in the DP of ships of the future equipped with different types of electric motors and propulsion and choose the most efficient solution; b) PPSOF of the CPC, taking random factors, which are caused, firstly, by changes in the operating modes of PPSOF and which directly affect the CPC, and secondly, by changes in the environment that affects the CPC, and indirectly the PPSOF. This allows you to justify the type and main characteristics of the PPSOF.

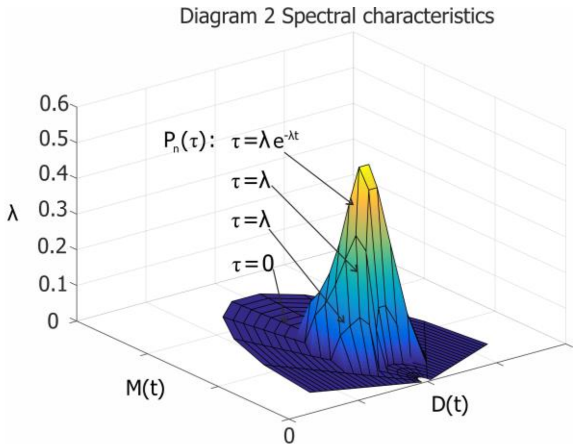



Figure 3 – Mathematical expectation of the situational factor that will cause the system to exit from the stable state.

The developed methods are: a) prediction of possible operational reduction of efficiency of functioning of motors of PPSOF and motors of CPC of the DP system with allowing for more perfect positioning; b) structural and parametric identification of PPSOF and CPC based on the results of operational observations using DMI (Data Mining Index)-models in order to achieve maximum energy efficiency of controls; c) automated design of CPC PPSOF, based on the use of modern CAD/CAM/CAE-systems. According to (2) for the DP of the CPC control system, which is under the influence of nondeterministic loads, the distribution of the intensity of applications for perturbations following one another with an interval less than the average value of $1/\lambda$ is shown in Fig. 3 [9, 20]. The increase in the statistics of the frequency of significant identification factors of process characteristics in CPC and PPSOF during iterative procedures is proportional to the sample size and does not lead to an increase in variables and coefficients of regression models. Random values of variable perturbing effects are not correlated, which is evidence of the premise of applying the principles of composition of regression models according to the results of experimental studies.

The following are products and systems that combine to create integrated, customized solutions to build the ships of tomorrow [35, 36]:

– full integrated automation based on the TIA portal (Totally Integrated Automation Portal), an effective and proven engineering environment that allows you to optimally design all automation processes for construction, operation, ship maintenance and innovation;

– complete set of propulsion systems that optimize the operation of the vessel throughout its full service life. The systems include, in particular, all elements from generators to propulsion motors from less than 100 kW to 100 MW;

– smart and reliable sensors for measuring pressure, temperature, flow, level, humidity, leakage set the standard for accuracy and reliability electric propulsion systems Blue Drive Plus, an innovative holistic solution presented by SIEMENS;

– for power plants of diesel-electric ships, increasing safety, reducing operating costs, improving life cycle economics, eliminating environmental problems.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

- power plants with azimuth settings that optimize design flexibility, maneuverability and ease of maintenance;

– equipping ships with modern stations for receiving coastal electricity while staying in ports;

– optimizing energy management solutions can improve the energy efficiency and productivity of ships with savings of up to 40%. The technology creates seamless connections between all systems, including auxiliary systems such as heating, cooling, lighting and shutter control, and low voltage distribution.

**4. Conclusions and recommendations**

1. Using a modified direct torque controller such as Direct Torque Control or a vector speed controllers [24] (for example, Vector Oriental Control) and the like, the models of which are presented in [23, 26, 27, 30], do not allow us to correlate the coordinates of the electric drives of the CPC in accordance with the operating mode. Due to the lack of appropriate elements in the structure of these systems, smooth switching of positioning modes is possible. Therefore we can conclude that the results obtained by these authors during their modelling is very unique.

2. Further research is planned to compensate for the reduction and change in direction of thrust of the propellers due to the interaction of the flow from the rudders with the hull, the impact of the propulsion flow from one engine on the neighbouring one, the Coanda effect, for which the authors are developing the physical model of CPC with microcontroller control system [28].

3. The expected results are consistent with the requirements of the International Maritime Classification Organizations to the CPC PPSOF of vessels operating for DP modes. The results of the work can be used in the design and construction of main and auxiliary PPSOF and control systems of modern autonomous ships of the future. The use of the results of the study aims to fully create opportunities for solving problems to achieve improvements in reliability, efficiency, security of the CPC PPSOF, and the implementation of special tasks for the world fleet [2, 18].

4. The social and economic effect of the implementation of the survey results will exceed the costs, as the expected results are aimed at solving the main problems of Ukraine – providing the state with energy resources and improving its defense capabilities.

Thus, as a result of the optimization of the components of energy flows, it will be possible to obtain significant advantages and real benefits throughout the entire life of the vessel, namely [32]:

1) increase adaptability to future technologies;
2) optimize environmental compatibility;
3) increase the efficiency of all onboard technological processes;
4) reduce the number of installed elements and minimize the use of control equipment;
5) make more informed operational decisions;
6) reduce fuel consumption;
7) improve reliability and safety;

8) reduce overall engineering costs;

9) simplify maintenance.

Well-tuned software, planning and system integration allow the modern vessel to function as a whole to successfully navigate the vessel from concept to handover and finally to the end of successful operation.

**Acknowledgements**

The author thanks the reviewers of the report for the number of their useful comments made during the review process, as well as the engineers of the Automation and Electrical Engineering Faculty for the opportunity to conduct tests of physical models.

**REFERENCES**

1. Abdallah, I. Event driven Hybrid Bond Graph for Hybrid Renewable Energy Systems part I: Modelling and operating mode management [Text] / I. Abdallah, A.-L. Gehin, B. O. Bouamama // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V. 43, I. 49. – P. 22088-22107. ISSN 0360-3199. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.10.144.

2. Alfheim, H. L. Development of a Dynamic Positioning System for the ReVolt Model Ship [Text] / H. L. Alfheim, K. Muggerud, M. Breivik, E. F. Brekke, E. Eide, Ø. Engelhardtsen // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – V. 51, I. 29. – P. 116-121, ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.479.

3. Alice, R. Quantitative assessment of service delivery process: application of hybrid simulation modelling [Text] / R. Alice, P. Giuditta, S. Cavalieri // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – V. 51, I. 11. – P. 1113-1118. ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.454.

4. Arditti, F. Dynamic Positioning simulations of a Thrust Allocation Algorithm considering Hydrodynamic Interactions [Text] / F. Arditti, H. Cozijn, Ed F.G. Van Daalen, E. A. Tannuri // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – V. 51, I. 29. – P. 122-127, ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.480.

5. Athavale, J. Chapter Three – Thermal Modeling of Data Centers for Control and Energy Usage Optimization [Text] / J. Athavale, M. Yoda, Y. Joshi. Editor(s): Ephraim M. Sparrow, John P. Abraham, John M. Gorman // Advances in Heat Transfer, Elsevier. – 2018. – V. 50. – P. 123-186, ISSN 0065-2717, ISBN 9780128151853. Doi: 10.1016/bs.aiht.2018.07.001.

6. Bassam, A. M. Wilson Experimental testing and simulations of an autonomous, self-propulsion and self-measuring tanker ship model [Text] / A. M. Bassam, A. B. Phillips, S. R. Turnock, P. A. Wilson // Ocean Engineering. – 2019. – V. 186. – Art. 106065. ISSN 0029-8018. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.05.047.

7. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.

8. Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40–49. Doi:10.15587/1729-4061.2017.101298.

9. Budashko, V. Improvement of the operation for electromechanical system under non-permanent loading [Text] / V. Budashko, I. Hvozdeva, O. Onishchenko, V. Shevchenko, R. Kudelkin // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 35-39. Doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235588.

10. Budashko, V. Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, 16-18 Oct. 2018, Ukraine: IEEE. P. 106-108. Doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576266. Режим доступу: \WWW/ URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8576266. – 5.1.2019 р. – Загол. з екрану.

11. Budashko, V.V. Implementation approaches during simulation of energy processes for a dynamically positioned ship [Text] / V.V. Budashko // Electrical Engineering & Electromechanics. – 2015. – V. 6. – P. 14-19. Doi: 10.20998/2074-272X.2015.6.02. (Rus).

12. Budashko, V.V. Improving management system combined thruster propulsion systems [Text] / V.V. Budashko, O.A. Onishchenko // Bulletin of NTU «KhPI». – 2014. – V. 38 (1081). – P. 45-51. (Ukr).

13. Budashko, V.V. Mathematic modeling of allrange controllers speed of thrusters for ship power plants in combined propulsion complexes [Text] / V.V. Budashko, E.A. Yushkov // Electronic Modeling. – 2015. – V. 37, I. 2. – P. 101-114. (Rus).

14. Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko / Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P.

62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.

15. Budashko, V. V. Physical model of degradation effect by interaction azimuthal flow with hull of ship [Text] / V. V. Budashko, V. V. Nikolskyi, O. A. Onishchenko, S. N. Khniunin // Proceeding Book of International conference on engine room simulators (ICERS12). – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. – P. 49–53. ISBN: 978–605–01–0782–1. Aviable at: \www/ URL: http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm.

16. Fan, H. Dynamic analysis of a hang-off drilling riser considering internal solitary wave and vessel motion [Text] / H. Fan, C. Li, Z. Wang, L. Xu, Y. Wang, X. Feng // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2017. – V. 37. – P. 512-522, ISSN 1875-5100. Doi: 10.1016/j.jngse.2016.12.003.

17. Fang, M.-C. Application of neuro-fuzzy algorithm to portable dynamic positioning control system for ships / M.-C. Fang, Z.-Y. Lee // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2016. – V. 8, I. 1. – P. 38-52, ISSN 2092-6782. Doi: 10.1016/j.ijnaoe.2015.09.003.

18. Fu, J. Modelling and simulation of flight control electromechanical actuators with special focus on model architecting, multidisciplinary effects and power flows / J. Fu, J.-C. Maré, Y. Fu // Chinese Journal of Aeronautics. – 2017. – V. 30, I. 1. – P. 47-65. ISSN 1000-9361. Doi:10.1016/j.cja.2016.07.006.

19. http://chsp.mksat.net/en/

20. Hvozdeva, I. Problems of Improving the Diagnostic Systems of Marine Diesel Generator Sets [Text] / I. Hvozdeva, V. Myrhorod, V. Budashko, V. Shevchenko // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Slavske, 25-29 Feb. 2020, Ukraine: IEEE. – P. 350-354. Doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235453.

21. Ianagui, A. S. S. High Order Sliding Mode Control and Observation for DP Systems [Text] / André S.S. Ianagui, E. A. Tannuri // IFAC-PapersOnLine. -2018. – V. 51, I. 29. – P. 110-115, ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2018.09.478.

22. Jayasiri, A. Wavelet-based Controller Design for Dynamic Positioning of Vessels [Text] / A. Jayasiri, S. Ahmed, S. Imtiaz // IFAC-PapersOnLine. – 2017. – V. 50, I. 1. – P. 1133-1138, ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.396.

23. Jianyun, Z. Bi-objective optimal design of plug-in hybrid electric propulsion system for ships [Text] / Z. Jianyun, C. Li, X. Lijuan, W. Bin // Energy. – 2019. – V. 177. – P. 247-261, ISSN 0360-5442. Doi: 10.1016/j.energy.2019.04.079.

24. Kommula, B. N. Direct instantaneous torque control of Brushless DC motor using firefly Algorithm based fractional order PID controller [Text] / B. N. Kommula, V. R. Kota // Journal of King Saud University - Engineering Sciences. – 2020. – V. 32, I. 2. – P. 133-140, ISSN 1018-3639. Doi: 10.1016/j.jksues.2018.04.007.

25. Mazur, O. M. Terminology used for a multipurpose vessels of the auxiliary fleet [Text] / O. M. Mazur, T. S. Obnyavko, O. A. Onishchenko // Proceeding Book of X International scientific and technical conference "SHIPS' ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONICS AND AUTOMATION" (SEEEA-2019) – Odessa, National University "Odessa Maritime Academy": NU "OMA", Odessa, Ukraine. – 2019. – P. 95-101. ISSN 2706-7874 (print). Aviable at: \www/ URL: http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/Материалы%20конф_2019.pdf.

26. Mihăiţă, A. S. Multi-objective traffic signal optimization using 3D mesoscopic simulation and evolutionary algorithms [Text] / A. S. Mihăiţă, L. Dupont, M. Camargo // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2018. – V. 86. – P. 120-138. ISSN 1569-190X. Doi: 10.1016/j.simpat.2018.05.005.

27. Rindaroey, M. Fuel Optimal Thrust Allocation in Dynamic Positioning [Text] / M. Rindaroey, T. A. Johansen // IFAC Proceedings Volumes. – 2013. – V. 46, I. 33. – P. 43-48, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902823526. Doi: 10.3182/20130918-4-JP-3022.00032.

28. Seo, D.-W. Performance analysis of a horn-type rudder implementing the Coanda effect [Text] / D.-W. Seo, J. Oh, J. Jang // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2017. – V. 9, I. 2. – P. 177-184, ISSN 2092-6782. Doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.09.003.

29. Ueno, M. Estimation of full-scale propeller torque and thrust using free-running model ship in waves [Text] / M. Ueno, Y. Tsukada // Ocean Engineering. – 2016. – V. 120. – P. 30-39, ISSN 0029-8018. Doi:10.1016/j.oceaneng.2016.05.005.

30. Veksler, A. Transient power control in dynamic positioning - governor feedforward and dynamic thrust allocation / A. Veksler, T. A. Johansen, R. Skjetne [Text] // IFAC Proceedings Volumes. – 2012. – V. 45, I. 27. – P. 158-163, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902823632. Doi: 10.3182/20120919-3-IT-2046.00027.

31. Y.-S. Sun, X.-R. Ran, Y.-M. Li, G.-C. Zhang, Y.-H. Zhang Thruster fault diagnosis method based on Gaussian particle filter for autonomous underwater vehicles / Y.-S. Sun, X.-R. Ran, Y.-M. Li, G.-C. Zhang, Y.-H. Zhang // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2016. – V. 8, I. 3. – P. 243-251, ISSN 2092-6782. Doi: 10.1016/j.ijnaoe.2016.03.003.

32. Рак О. М., Глазєва О.В., Дудко С.А. Визначення генеруючих потужностей в термоефективній системі суднової електростанції та її техніко-економічних показників. *Електротехнічні та комп'ютерні системи.* Вип. 28(104). Київ. 2018. С. 147–153. ISSN 2221-3805 URL: http://dx.doi.org/ 10.15276/eltecs.28.104.2018.17

33. С. Ф. Самонов, О.В. Глазева, В.А. Дубовик, В.Б. Власов Повышение эффективности электрогенерирующих систем транспортных судов / Матеріали науково-методичної конференції «Актуальні питання суднової електротехніки і радіотехніки» 29.11. 2016 – 30.11. 2016 – Одеса: НУ «ОМА». – 2016. – С. 34 – 37

34. С.Ф. Самонов, О.В. Глазєва, В.Б. Власов Повышение энергоэффективности судов с электрическими пропульсивными установками. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019) [Збірка матеріалів [XI Міжнародної науково-практичної конференції (28-30 травня 2019 року, м. Херсон, Україна)]. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2019. – С.406-410
35. https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/industry-software/automation-software/tia-portal/programmnoe-obespechenie.html
36. https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/industrial-applications/marine.html

УДК 629.5.064.5

## СИСТЕМА БЕРЕГОВОГО ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СУДЕН

**В.А. Шевченко**, к.т.н., доцент
**С.Ф. Самонов**, к.т.н., доцент
**В.О. Дубовик**, ст. викладач
**А.А. Кульбацький**, ст. викладач
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *У роботі розглянута концепція застосування системи берегового високовольтного електропостачання з метою забезпечення суднових споживачів електроенергією. Вона дозволяє відключити дизель-генератори на період стоянки в порту та вантажно-розвантажувальних робіт. Використання пересувних контейнерів, обладнаних необхідним устаткуванням, дозволяє під'єднання берегової електромережі, за допомогою сполучної арматури, до судна. Це дає можливість економії палива та зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.*

***Ключові слова:*** *дизель-генератор, «берег-судно», навколишнє середовище, система високовольтного електропостачання, електромережа.*

## SHIP COASTAL VOLTAGE POWER SUPPLY SYSTEM

**V. Shevchenko**, Associate Professor, PhD
**S. Samonov**, Associate Professor, PhD
**V. Dubovyk**, Senior Lecturer
**A. Kulbatsky**, Senior Lecturer
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *In paper is considered high voltage shore electrical power supply concept with the purpose of providing ships' consumers with electrical supply. This concept allows to switch off ship's diesel-generators for the period of port berthing or during cargo operations. The use of portable containers equipped with necessary equipment allows connection of ship's electrical power plant to the shore electrical network. Such approach application allows to reduce harmful emissions to the atmosphere and save the fuel.*

***Keywords:*** *diesel-generator, "shore-ship", environment, high voltage electrical supply system, electrical network.*

Залежно від типу і призначення судна термін його стоянки в порту становить 10% - 60% ходового часу. Зазвичай, в період стоянки судно використовує дизель-генератори для забезпечення споживачів електроенергією.

Концепція забезпечення судна електроенергію з берегових систем електропостачання обумовлює економічну ефективність за рахунок економії дизельного палива суднових допоміжних дизель-генераторів на період стоянки в порту та вантажно-розвантажувальних робіт, а також зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище. За даними адміністрації порту

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Роттердама, щорічний обсяг викидів з морських суден становить 600000 тонн вуглекислого газу і 8000 тонн азоту. Порт в 2019 році збільшив вантажообіг в порівнянні з 2018 роком на 0,1% - до 469,402 млн тонн, контейнерооборот - на 2,1%, до 14 810 804 TEU [1].

Дослідження, які були проведені фахівцями французького машинобудівного конгломерату Schneider Electric показують, що судновласники пасажирських суден можуть заощадити близько 500 тисяч доларів США на рік за допомогою сполучної арматури для прийому електроенергії з берега, відмовившись при цьому від використання суднових дизель-генераторів в період стоянки в порту [2] .

Згідно з текстом нових законів, реалізація сполучної арматури для прийому електроенергії з берега в 2025 році стане обов'язковою для всіх розташованих на території ЄС портів, які обслуговують комерційні судна. У деяких портах в США, в Канаді, на Алясці наявність енергопостачання з берега вже є обов'язковою.

Висновки незалежних аналітиків показують, що більшість сучасних портів поки що не обладнані сполучною арматурою для забезпечення електроенергією «берег-судно», а також більшість суден не мають відповідних інтерфейсних з'єднань. Ще не повністю вирішені питання в напрямку спрощення, впровадження і використання технології підключення судна до берегових інженерних мереж, згідно діючих та розробляючих сьогодні міжнародних стандартів. Ці документи були створені і активно доопрацьовуються фахівцями Міжнародної організації зі стандартизації (International Organization for Standardization; ISO), Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission; IEC) та Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE). Список стандартів виглядає наступним чином:
1) ISO / IEC / IEEE 80005-1: 2012 "Підключення суден до берегових інженерних мереж в порту - Частина 1: Системи високовольтного берегового під'єднання - Загальні вимоги"; 2) IEC/IEEE CD 80005-2 "Подача електроенергії на судна з берега в порту - Частина 2: Системи високовольтного берегового під'єднання - Опис комунікаційного інтерфейсу"; 3) IEC / PAS 80005-3: 2014 "Підключення суден до берегових інженерних мереж в порту - Частина 3: Система низьковольтного берегового під'єднання - Загальні вимоги" [2].

Розробка та впровадження цих міжнародних стандартів мають важливе значення, так як вони встановлюють вимоги до високовольтної та низьковольтної сполучної арматури для прийому електроенергії «берег-судно» в портах [3, 4] (якість електроенергії, електромагнітна сумісність, кабелі, розетки і т.і.) і в перспективі дозволять електроенергетичним службам підключати судно до систем електропостачання будь-якого порту.

Розвинена система електропостачання суден з берега, дозволить також проводити встановлення пересувного обладнання, можливі найрізноманітніші варіанти [5, 6], такі як наприклад, застосування контейнерів з необхідним устаткуванням.

На сьогодні в де-яких портах застосовується живлення суден напругою 6,6кВ і 11кВ. Сучасні контейнеровози мають високовольтні секції на головному розподільному щиті і можуть бути під'єднані до берегових станцій електропостачання. А судна, які не мають даного устаткування, можуть застосовувати пересувні контейнери, що встановлюються на причалі  або на палубі судна. Як показано на рисунку 1, такий пересувний контейнер забезпечує електроенергією суднові споживачі.

Даний контейнер обладнаний наступним устаткуванням (рис.1) :

- Transferable load 3500 kVA max (1) - передане навантаження;
- Existing or new panel (2) - існуюча або нова панель;
- AMP – alternative marine power (3) - альтернативне живлення судна;
- Main switchboard (4) - Головний розподільчий щит;
- Cable brackets (5) - кабельні кронштейни;
- 450V, 60Hz power supply from vessel (6) - подача живлення від суднової мережі;
- $36^0$C cooling water supply from vessel (7) - подача охолоджувальної води від судна;
- Air/watercooler for transformer (8) - повітряний / водяний холодильник для трансформатора;
- Cable roller guide (9) - напрямна ролика кабелю;
- Cable reel control (10) - управління кабельним барабаном.

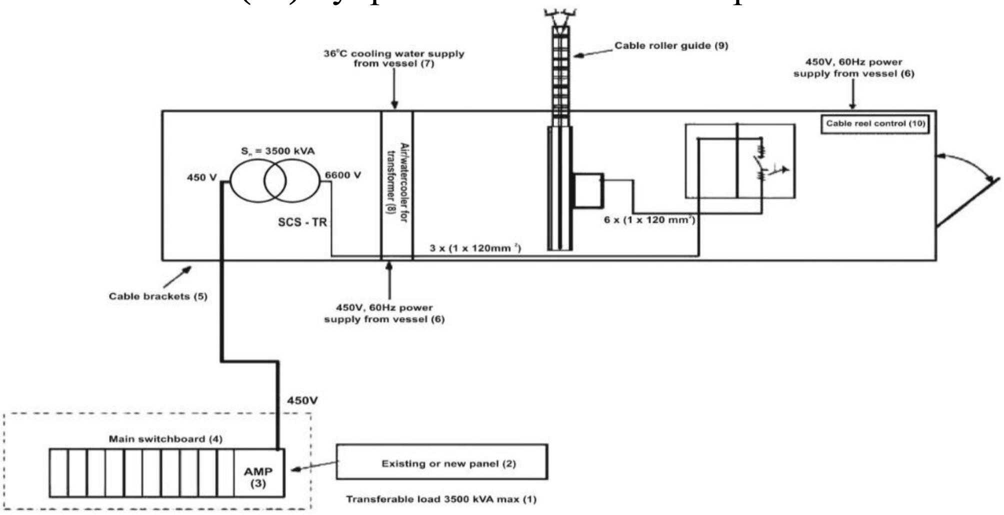



Рисунок 1 – Схема контейнера електропостачання судна з берега

Таким чином, безперебійне електропостачання суден електроенергією з берега на сьогодні актуально. Крім того, згідно вимог IMO, при проектуванні та модернізації суден, необхідно підвищувати енергоефективність суднових енергетичних установок з метою зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище.

**Висновки:**

1) використання електроенергії системи «берег-судно» замість суднових ДГ в період стоянки екологічніше для навколишнього середовища, а також сприяє зниженню шуму та вібрації в акваторії порту;

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

2) сучасні проектовані судна або модернізовані потрібно забезпечити устаткуванням, що дозволяє здійснювати з'єднання з береговою високовольтною електромережею, що синхронізує передачу енергії з берега на судно і підключення до суднових споживачів електроенергії;

3) необхідне проведення навчання та інструктажів електротехнічного персоналу [7], працюючого з кабелями і системами високовольтного розподільного пристрою, який пов'язаний з береговими точками під'єднання до електромережі «берег-судно».

**ЛІТЕРАТУРА**

1.https://ports.ua/port-rotterdam-predstavil-strategiyu-razvitiya-sistemy-beregovogo-elektrosnab-zheniya-sudov/.

2.https://www.novotest.ru/news/world/mezhdunarodnye-standarty-na-elektrosnabzhenie-sudov-s-berega-delayut-ikh-ekologichnee/.

3.Судовые автоматизированные тепло- и электроэнергетические установки. Учебное пособие. / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Савельев А.Е., Шевченко В.А; Ин-т последипломного образования «Одесск. мор. тренажерн. центр» - Одесса: ТЭС, 2011 – 394 с.

4.Будашко В.В. Високовольтні технології в морській електроінженерії: монографія / В. В. Будашко, О. М. Піпченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 398 с.

5.Пономаренко В. В. Судовое высоковольтное оборудование / В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко: под ред. А. Н. Пипченко. – Одесса: ТЭС, 2017. – 300 с. ISBN 978-617-7337-55-2.

6.Пипченко А. Н. Безопасная эксплуатация судового высоковольтного электрооборудования: учебное пособие / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, А. Е. Савельев, В. А. Шевченко. – Одесса: ТЭС, 2008. – 260 с.

7.Шевченко, В.А. Підготовка фахівців з експлуатації високовольтного обладнання з використанням розподільчого пристрою NXAIR фірми Siemens [Текст] /В.А. Шевченко, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.22-24

УДК 621.313.333.2

## РОЗРОБКА ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗМІННОГО СТРУМУ З ЦИКЛОКОНВЕРТОРОМ СУДНА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**В.С. Петрушин**, д.т.н., професор
**М. В. Пасєчка**, магістрант
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Розглядається використання у судні спеціального призначення гребної електричної установки змінного струму з циклоконвертором. Аналізуються декілька варіантів редукторних та без редукторна установки. Обрано варіант, який має кращі техніко-економічні показники.*

***Ключові слова****: єдина електроенергетична система, гребна електрична установка, циклоконвертор, асинхронний двигун, ККД, втрати електроенергії*

## DEVELOPMENT OF AC PROPULSION ELECTRICAL SYSTEM WITH CYCLOCONVERTER OF SPECIAL PURPOSE VESSEL

**V. Petrushin**, Dr. of Science, Professor
**M. Pasiechka**, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:****The usage of an AC propulsion electric unit with a cycloconverter in a special purpose vessel is considered. Several variants of reduction gear and without reduction gear installation are analyzed. The option that has the best technical and economic indicators is chosen.*

**Keywords:** United electric power system, propulsion electrical system, cycloconverter, asynchronous motor, efficiency, losses of electricity

Гребні електричні установки (ГЕУ) використовуються у судах спецпризначення. В них потужність від головних двигунів передається до гребного гвинта за допомогою електропередачі. Електрична передача дозволяє забезпечити виконання однієї з основних вимог, що пред'являються до енергетичної установки – збереження сталості потужності головного двигуна при змінах моменту на гребному гвинті.

На відміну від існуючої схеми з трьох обмотковим трансформатором та двоблочним випрямлячем у перетворювачі  частоти з автономним інвертором напруги одним з раціональних рішень для судна спецпризначення є використання ГЕУ з циклоконвертором, тобто безпосереднім перетворювачем частоти (БПЧ), що працює на асинхронні двигуни (АД) (рис.1).

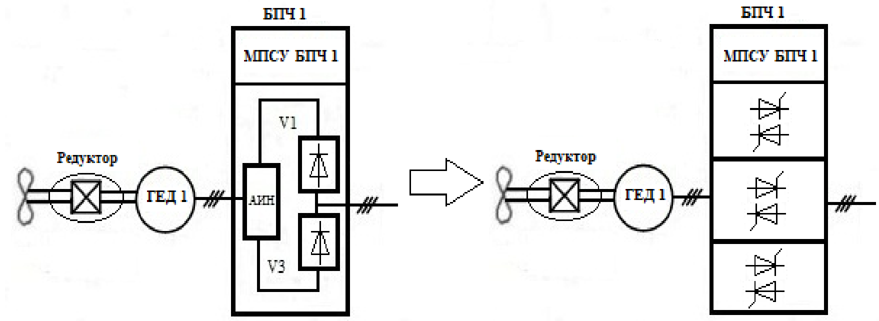



Рисунок 1 – Існуюча та запропонована схеми ГЕУ

Розрахунок необхідної потужності дозволяє вибрати схеми, відповідно навантаження на валу. Згідно технічного завдання оберти гребного вала змінюються в діапазоні від 0 – 200 об/хв., що здійснюється за допомогою БПЧ  (f змінюється від 0 до 30 Гц). Розглянуті три варіанта схем ГЕУ:

1) без редукторна з трифазним АД 4А355М12;
2) редукторна з трифазним АД 4А315М8;
3) редукторна з трифазним АД 4А250М4.

В першому варіанті виконано пошук потрібного проекту при зміні конструктивних параметрів двигуна та налаштувань циклоконвертора (використовується закон частотного керування другого рівня). В третьому варіанті розглядається також збільшення довжини активної частини двигуна.

Усі варіанти відповідають допустимих значень температур (рис.2).

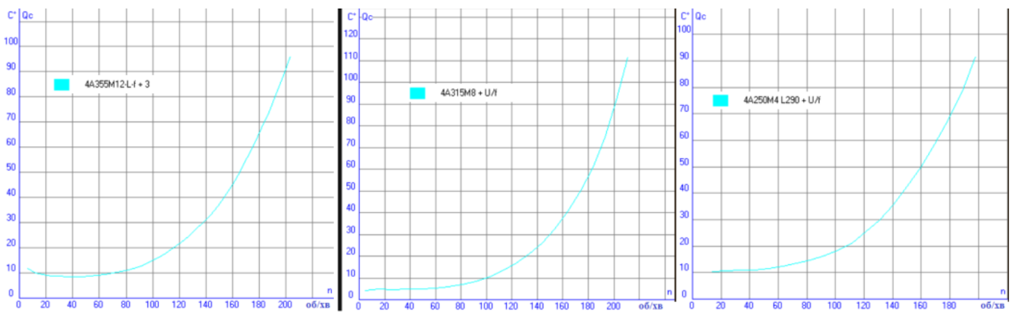



Рисунок 2 – Температурні характеристики експериментальних АЕД

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Після аналізу усіх варіантів обрано найкращий з редуктором та АД 4А250М4. Його значущі параметри наступні: маса – 754 кг, вартість – 53509 у.о., об'єм – 0.1394 дм.куб., ККД приводу – 0,586.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Васин И.М. Диссертация «Создание перспективных электротехнических и энерготехнических комплексов судовых единых электроэнергетических систем». Санкт – Петербург 2011. – 445 с.

2. Петрушин В.С. Учебное пособие «Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе» / Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.

3. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт «DIMASDrive». Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА №4065). Киев: Министерство образование и науки Украины, Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2011.

# Секція 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.314.26

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СУДЕН ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СУДНОВИХ ЕЕС

**С.О. Рожков,** д.т.н., професор
Херсонська державна морська академія
**О.К. Жук,** к.т.н., доцент
**Д.О. Жук** к.т.н., доцент
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

***Анотація:*** *Розглянуто основні напрями забезпечення енергоефективності та якості електроенергії в суднових енергоустановках з потужними напівпровідниковими перетворювачами, запропоновані методи і засоби їх реалізації.*
***Ключові слова****: енергоефективність,напівпровідникові перетворювачі, якість електроенергії.*

## ENERGY EFFICIENCY OF VESSELS AND QUALITY OF ELECTRICITY IN SHIP ELECTRIC POWER SYSTEM

**S.Rozhkov,** Dr. of Science, Professor
Kherson State Maritime Academy
**O.Zhuk,** Ph.D., Associate Professor
**D.Zhuk,** Ph.D., Associate Professor
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

***Abstract:*** *The main directions of ensuring energy efficiency and quality of electricity in ship power plants with powerful semiconductor converters are considered, methods and means of their realization are offered.*
***Keywords:*** *energy efficiency, semiconductor converters, power quality.*

**Вступ.** Генеральним напрямком удосконалення автономних енергетичних систем морських суден та плавспоруд є підвищення їх енергоефективності, оскільки коефіцієнт використання палива судновими первинними джерелами механічної енергії – дизельними двигунами складає всього 40%, а решта розсіюється через теплові втрати та вихлопи. Суднові енергетичні установки є також джерелами викидів парникових газів ($CO_2$, $NO_X$, $CH_4$ і т.п.). Один тільки сектор судноплавства споживає біля 300 мільйонів метричних тон палива на рік [1] і створює 15% глобальних викидів оксиду азоту NOX при прогнозованому збільшенню цих показників у майбутньому. Тому Міжнародна морська організація (IMO) встановила обмеження на викиди, які регулюються Міжнародною конвенцією по запобіганню забрудненню з суден (MARPOL) [2].

Підвищення енергоефективності одночасно сприяє як скороченню споживання палива, так і зменшенню понаднормових викидів. Зазначена мета досягається шляхом широкого застосування в архітектурі автономних електроенергетичних систем (ЕЕС) засобів силової електроніки – потужних напівпровіднико-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

вих перетворювачів (НП), які використовуються, насамперед, у гребних електроустановках (ГЕУ). Головною перевагою ГЕУ є можливість оптимізувати завантаження головних теплових двигунів для отримання максимального ККД та зменшення витрат палива з одночасним досягненням більшої маневреності [3].

Однак, функціонування напівпровідникових перетворювачів викликає зниження якості електроенергії та породжує проблему електромагнітної сумісності в автономній мережі. Зареєстровано ряд серйозних аварій, що сталися через неприпустимий рівень вищих гармонік напруг і струмів в ЕЕС, зумовлених НП, наприклад катастрофічний вибух конденсатора на борту RMS «Queen Mary» [4]. Для запобігання подібних аварій, забезпечення надійного функціонування суден та безпеки екіпажів морські регулюючі органи, разом з IEC, IEEE, ABC та ін., розробляють стандарти якості електроенергії з підвищеними вимогами до її показників [5].

Енергоефективність та якість електроенергії мають глибокий внутрішній зв’язок та взаємний вплив.

**Метою даної роботи** є аналіз основних напрямів забезпечення енергоефективності та якості електроенергії в суднових енергоустановках з потужними НП шляхом врахування структурних та режимних факторів впливу на відповідні поняття та показників, що їх визначають.

**Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:**

- аналіз архітектури ЕЕС з НП сучасних морських об’єктів;
- аналіз топології НП та комплексів на їх основі;
- визначення показників енергоефективності та способів їх підвищення;
- удосконалення стандартів якості електроенергії в суднових ЕЕС з НП та засобів забезпечення їх вимог.

**Архітектура ЕЕС та НП.** Незважаючи на різнотипність суден, конфігурації ЕЕС з ГЕУ та характеристики їхніх елементів мають спільні риси:

1 Топологія інтегрованої ЕЕС зі спільними шинами змінного струму головного розподільчого щита (ГРЩ).

2. Велика номінальна потужність ЕЕС. Потужність кожної секції може досягати 20 МВт, а загальна встановлена потужність генераторів – 80 МВт і більше. Наприклад, у найбільшого на сьогодні круїзного лайнера «Allure of the Seas» потужності ЕЕС та ГЕУ становлять відповідно 97 МВт і 60 МВт.

3. Використання на шинах ГРЩ високої напруги ( від 690 В до 11 кВ).

4. Переважне застосування в сучасних гребних та підрулюючих установках перетворювачів частоти (ПЧ) з ланкою постійного струму за схемою «випрямляч (В) – автономний інвертор (АІ)». Найчастіше використовуються автономні інвертори струму (АІС) на однооопераційних SCR тиристорах (в установках найбільшої потужності з синхронними двигунами) та автономні інвертори напруги (АІН) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на GTO або IGBT модулях (в установках з асинхронними двигунами) [6, 7].

5. Поліпшення якості електроенергії в судновій мережі та зменшення спотворень струму, який споживається ПЧ, стандартним способом – підвищенням пульсності вхідного випрямляча (з 6 до 12 або 24) шляхом використання сило-

вого трансформатора з декількома фазоповоротними вторинними обмотками та багатомостових випрямних схем [6]. Забезпечення практично синусоїдальної форми струму асинхронних двигунів досягається без застосування додаткових вихідних фільтрів ПЧ за рахунок використання багаторівневих АІН з ШІМ.

**Показники енергоефективності та способи їх покращення.**

ІМО у 2011 р. ініціював проектування енергоефективності, згідно з чим було запропоновано теоретичний показник енергоефективності – індекс EEDI (EEDI – The Energy Efficiency Design Index), якому повинні відповідати всі судна, побудовані після 2013 р [2]. EEDI поєднує в оцінці енергоефективності обсяги викидів $CO_2$, відповідні обсягам корисних перевезень на милю у вигляді їх відношення і має розмірність (г $CO_2$ / т · миля). Використання EEDI при визначенні енергоефективності ґрунтується на його корельованості з іншим спорідненим показником – індексом EEOI , який визначається фактичними витратами палива на одиницю транспортної роботи .

Повна формула розрахунку EEDI може бути зведена до вигляду [8]:

$$EEDI = (A + B + C - D)/E\ ,$$

де *A, B, C* – викиди $CO_2$ відповідно головних двигунів, допоміжних двигунів, двигунів генераторних установок, *D* – скорочення викидів завдяки інноваційним технологіям, *E* – обсяги корисних перевезень (транспортна робота). Таким чином, судно, енергоефективність якого відповідає вимогам ІМО, повинно мати значення EEDI, яке не перевищує відповідний норматив.

До способів підвищення енергоефективності відносяться:

- удосконалення конструкції: чим менший EEDI, тим більш енергоефективною є конструкція судна;
- заміна важкого морського дизельного палива СПГ;
- зменшення питомої витрати палива і збільшення ККД в умовах неповного (нижче 50%) завантаження дизельного двигуна шляхом збільшення частоти його обертання відповідно до залежностей [9], наведених на рисунку 1;
- перехід до нової архітектури єдиної ЕЕС з шинами постійного струму (рисунок 2), оскільки підвищення ефективності дизельного двигуна у дизель-генераторній установці шляхом регулювання швидкості обертання у відповідності до профілю навантаження у звичайній єдиній ЕЕС з шинами змінного струму практично неможливо.

У системі, показаній на рисунку 2, швидкість обертання дизелів і, відповідно, частота напруги дизель-генераторів можуть вільно змінюватись за необхідністю. Стабілізація частоти і напруги живлення загальносуднових навантажень забезпечується за рахунок додаткових DC/AC перетворювачів порівняно невеликої потужності.

**Основні показники якості електроенергії в суднових ЕЕС та їх забезпечення.**

У суднових ЕЕС використовуються джерела електроенергії – синхронні генератори у морському виконанні, які мають відносно високий опір короткого замикання (15-20%), що викликає надмірні рівні гармонічних спотворень напруги внаслідок споживання НП несинусоїдальних струмів.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

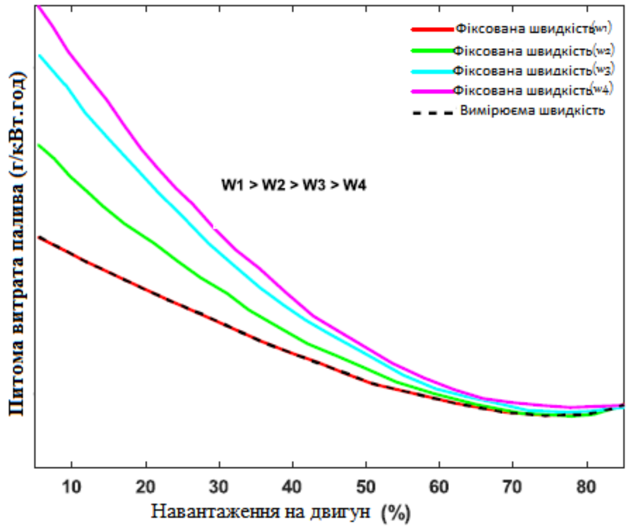



Рисунок 1 – Питомі витрати палива при зміні навантаження і швидкості обертання дизельного двигуна

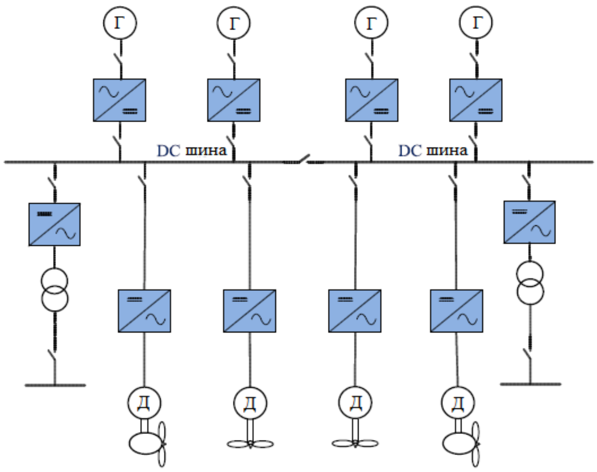



Рисунок 2 – Схема єдиної суднової ЕЕС з шинами постійного струму

Міжнародні стандарти IEC / ISO / IEEE, якими керується IMO, визначають норми на наступні головні показники якості електроенергії [5]:

- коефіцієнти несинусоїдальності напруги по окремих гармоніках та інтегральний (THD – Total Harmonic Distortion) – відповідно, $K_{U(\nu)} = U_{(\nu)}/U_{(1)}$ та $K_U = \left( \sum_{\nu=2}^{N} U_{(\nu)}^2 \right)^{0,5} / U_{(1)}$;
- відповідні коефіцієнти $K_{I(\nu)}$ та $K_I$, що визначають несинусоїдальність струму.

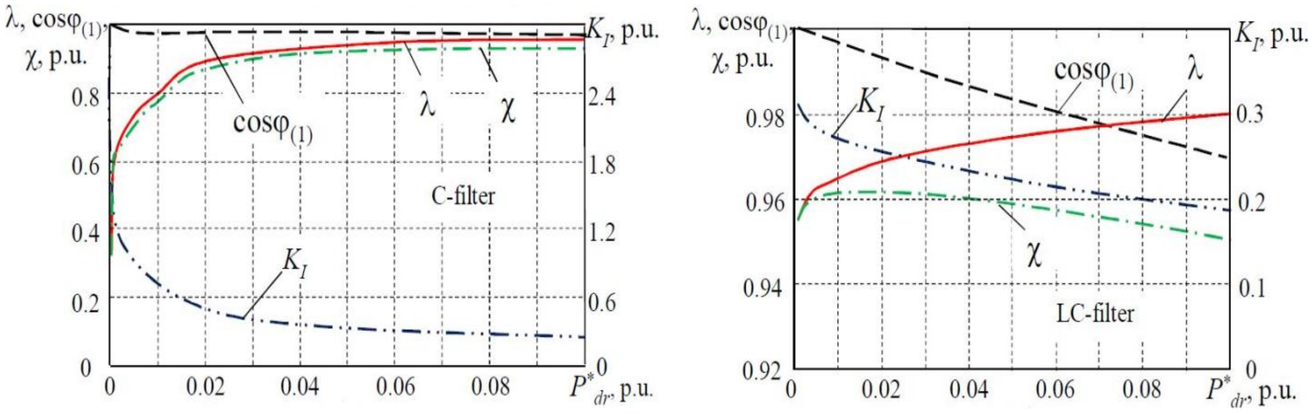
Основним показником енергоефективності ПЧ, що одночасно впливає і на якість електроенергії, є коефіцієнт потужності – відношення активної потужності перетворювача до його повної потужності [5]:

$$\chi = P_{\text{п}}/S_{\text{п}} = \lambda \cdot \cos\varphi_{(1)},$$

де $\lambda = \left[ \left(1 + K_U{}^2\right)\left(1 + K_I{}^2\right) \right]^{-0,5}$ – коефіцієнт спотворення, $\cos\varphi_{(1)}$ – коефіцієнт зсуву основних гармонік напруги і струму, споживаного НП.

На рисунку 3, а, б наведено одержані в [10] узагальнені залежності $\chi$ та його складових від відносної потужності ПЧ $P_{\text{п}}^* = P_{\text{п}}/S_{\text{п}}$ ($S_{\text{п}}$ – повна потужність КЗ у точці підключення $P$ у складі ПЧ). Сімейства залежностей побудовані для ПЧ за схемою В-АІН з ШІМ відповідно з ємнісним (рисунок 3, а) та індуктивно-ємнісним (рисунок 3, б) згладжувальним фільтром.

З рисунку 3, а витікає, що підвищення коефіцієнта потужності ( $\chi \geq 0{,}9$ ) при одночасному зменшенні спотворення споживаного струму ( $K_I \leq 0{,}35$ ) можливо і для схеми ПЧ з порівняно дешевим ємнісним фільтром, якщо забезпечено режим при $P^* \geq 0{,}03$. Для досягнення цієї мети завжди можна використати підключення ПЧ через трансформатор або додатковий лінійний реактор.




а) б)

Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта потужності ПЧ та його складових у схемах:
а) – з ємнісним згладжувальним фільтром;
б) – з індуктивно-ємнісним згладжувальним фільтром

**Висновки:** виконано дослідження основних напрямів забезпечення енергоефективності та якості електроенергії в суднових енергоустановках з потужними НП, запропоновані методи і засоби їх реалізації.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. ABB. ABB: Energy Efficiency in Marine Vessels. Accessed: Jun. 7, 2017. [Online]. Available:https://library.e.abb.com/public/9c632630a46c06dac1257a8a003ac7dc/ABB%20Generations_16%20Energy%20efficiency%20in%20marine%20vessels.pd

2. MARPOL Annex VI Chapter 4: Energy Efficiency Regulations for Ships,Int. Mar. Org., London, U.K., 2011.

3. J. F. Hansen, F. Wendt, "History and state of the art in commercial electric ship propulsion, integrated power systems, and future trends", Proc. IEEE, vol. 103, no. 12, pp. 2229-2242, Dec. 2015.

4. Catastrophic failure of a capacitor and explosion in an 11kV harmonic filter on board the passenger cruise vessel RMS Queen Mary 2 : MAIB SAFETY BULLETIN 4/2010.

5. IEEE Standard for Power Electronics Open System Interfaces in Zonal Electrical Distribution Systems Rated Above 100 kW, IEEE Standard 1826-2012, 2012.

6. A. K. Ådnanes, A. J. Sørensen, and T. Hackman, "Essential characteristics of electrical propulsion and thruster drives in DP vessels", in *Proc. Dyn. Positioning Conf.*, 1997, pp. 1-20.

7. A.K. Ådnanes , " Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion ", ABB AS Marine Oslo, April 2003.

8. MAN Diesel & Turbo. EEDI_Energy Efficieny Design Index.Accessed: Jun. 7, 2018. [Online] Available:https://marine.mandieselturbo.

9. Z. Jin, M. Savaghebi, J. C. Vasquez, L. Meng, and J. M. Guerrero, "Maritime DC microgrids-a combination of microgrid technologies and maritime onboard power system for future ships ", in Proc. IEEE 8th Int. Power Electron. Motion Control Conf. (IPEMC-ECCE Asia), May 2016, pp. 179-184.

10. O. Zhuk, D. Zhuk, O. D'yakonov, "Input Voltages and Currents Distortion and Power Factor of Frequency Converters" // 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO).Conf. Proc., 2020, Kyiv, Ukraine. IEEE Catalog Number: CFP2005U-ART ISBN: 978-1-7281-9713-5, pp. 791 – 796.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 621.362.2

# ВПЛИВ РЕЖИМУ РОБОТИ СИЛОВИХ КАНАЛІВ ЗНИЖУЮЧОГО ТИПУ НА ВИХІДНІ ПУЛЬСАЦІЇ БАГАТОФАЗНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**І.П. Малявін**, к.т.н, доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Розглядаються отримані результати автоматизованого дослідження багатофазних імпульсних перетворювачів (БІП) з силовими каналами знижуючого типу при граничному режимі функціонування.*
***Ключові слова:*** *силові канали знижуючого типу, багатофазні імпульсні перетворювачі.*

# THE INFLUENCE OF THE OPERATING MODE OF THE POWER CHANNELS DECREASING TYPE FOR OUTPUT PULSATION MULTI-PHASE PULSE CONVERTERS

**I. P. Maliavin,** PhD, Assistant professor
*National University «Odessa Maritime Academy»*

***Abstract.*** *The obtained results of an automated study of multiphase pulse converters (MPC) with decreasing-type power channels in the boundary mode of operation are considered.*
***Key words:*** *decreasing-type power channels, multiphase pulse converters*

Підвищення надійності і поліпшення якості роботи будь-якої радіотехнічної системи в значній мірі залежать від правильного вибору і побудови засобів електроживлення, ключовою ланкою яких є імпульсні перетворювачі постійної напруги (ППН) модульної структури, що складаються з *N* силових каналів (СК) [1]. Використання багатофазного принципу перетворення і регулювання електричної енергії – в багатофазних імпульсних перетворювачах (БІП) – сприяє підвищенню ККД, питомої потужності та надійності; зниження вартості і масогабаритних показників; поліпшенню якості вихідних параметрів і електромагнітної сумісності ППН.

Найбільш вивчені БІП з широтно-імпульсним (ШІМ) регулюванням, СК яких працюють в розривному або безрозривному режимах. Граничний режим дозволяє зменшити втрати при перемиканні силових комутуючих елементів, підвищити ККД, поліпшити динамічні характеристики [2]. Але відсутність результатів дослідження електричних процесів БІП, СК яких працюють в граничному режимі, стримує широке використання таких перетворювачів.

Робота присвячена дослідженню ППН модульної структури з СК знижуючого типу, що працюють в граничному режимі. Дослідження ППН базуються на використанні математичної моделі [2], яка описує електричні процеси і енергетичні параметри ППН.

У граничному режимі (рис. 1), миттєвий струм дроселя $i_L(t)$ на кожному періоді перетворення спадає до нуля з подальшим зростанням і при цьому носить безрозривний характер, що дозволяє істотно підвищити ККД за рахунок перемикання силових комутуючих елементів в моменти відсутності струму в дроселі (зменшення динамічних втрат) [2].

На рис. 1: $T$ – період перетворення; $t_н$ – час накопичення енергії в дроселі; $t_в$ – час повернення енергії в навантаження; $I_{m1}$ – струм первинної напівобмотки дроселя; $I_{m2}$ – струм вторинної напівобмотки дроселя [2].

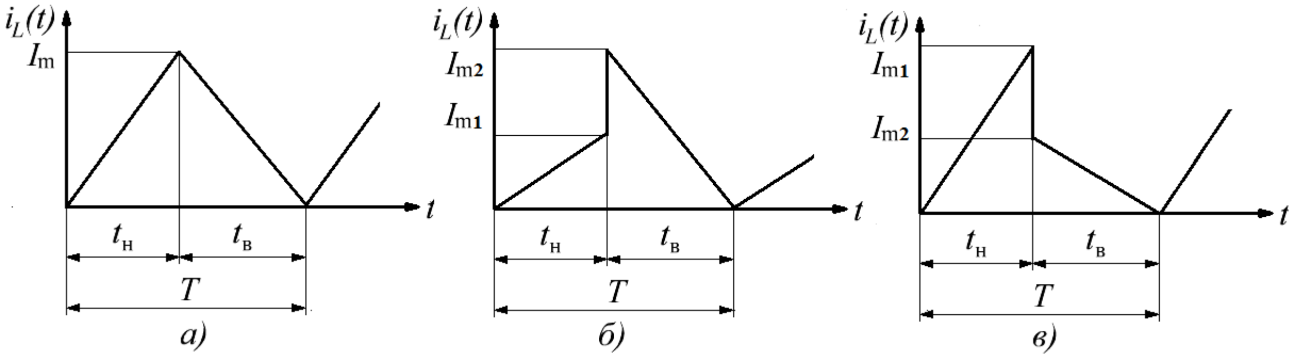



Рисунок 1 – Діаграми струму дроселя СК $i_L(t)$ при граничному режимі роботи ППН з різними коефіцієнтами трансформації а) $n_{21} = 1$, б) $n_{21} > 1$, в) $n_{21} < 1$

У граничному режимі завжди: $T = t_Н + t_В$, $к_Н = t_Н / T$, $к_В = t_В / T$, $к_Н + к_В = 1$, де $к_н$ – коефіцієнт накопичення, $к_в$ – коефіцієнт повернення електричної енергії.

Одним з основних показників якості електричної енергії на вході і виході ППН є величина пульсацій змінних складових струму, яку прийнято розглядати як в абсолютному $\Delta I$ так і у відносному вигляді $K_{П1}$ (коефіцієнт пульсації першої гармоніки) [2].

Визначення величини абсолютних $\Delta I$ і відносних $K_{П1}$ пульсацій струму у вхідних і вихідних колах ППН дозволяє оптимально вибирати параметри згладжуючих фільтрів для забезпечення необхідних пульсацій напруги ($\Delta U$, $K_{П1U}$ ) у вхідних і вихідних колах ППН [1].

У режимі стабілізації вихідної напруги $U_н$, коефіцієнт накопичення $к_н$ є функцією вхідної напруги $U_п$. При зміні $U_п$ – в результаті впливу дестабілізуючих факторів – змінюється і $к_н$, що значно впливає на величину пульсації струму навантаження $\Delta I_н$.

Виходячи зі сказаного, інтерес представляє вивчення впливу режиму роботи силових каналів – зміна коефіцієнта накопичення $к_н$ – на показники якості ППН, величину пульсації струму навантаження $\Delta I_н$.

Знаючи діапазон зміни $U_п$ або $к_н$, можна оцінити величину пульсацій змінних складових струму навантаження, і вибирати відповідні параметри згладжуючих фільтрів.

Нижче, на рис. 2 – 4, наведені результати дослідження ППН знижуючого типу, на яких прийняті наступні позначення: $N$ – кількість силових каналів; $n_{21}$ – коефіцієнт трансформації дроселя; $T_{отн} = t/T$ – відносний час; $\Delta I_н$ – абсолютні пульсації струму навантаження.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

На рис. 2 наведені залежності амплітуди пульсацій струму навантаження $\Delta I_н$ одного СК ($N$ = 1) від коефіцієнта трансформації $n_{21}$ при різних коефіцієнтах накопичення $к_н$. Цифрами позначені аналізовані точки при $n_{21}$=0,5, $n_{21}$=1, $n_{21}$=2.

Дослідження ППН (рис. 2) проводилися при наступних вихідних даних: середнє значення струму навантаження $I_н$ = 1А; індуктивність первинної напівобмотки дроселя – $L_1$ = 1,25 мкГн, ППН працює в режимі стабілізації при граничному струмі дроселя, всі його елементи ідеальні.

Із залежності (рис.2) видно, що при різних коефіцієнтах накопичення і трансформації, пульсації струму навантаження мають однаковий рівень в точках 1 і 5; 2 і 6; 3 і 7 а також при коефіцієнті трансформації $n_{21}$=1 в точці 4. При цьому характер зміни величини абсолютних пульсацій в розглянутому діапазоні коефіцієнта трансформації нерівномірний і має велику більшу (швидкість зміни рівня пульсації $\Delta I_н$), і відповідно – більший рівень $\Delta I_н$ при $0 \le n_{21} \le 1$ при одному і тому ж коефіцієнті накопичення $к_н$, який прагне до одиниці ($к_н \to 1$).

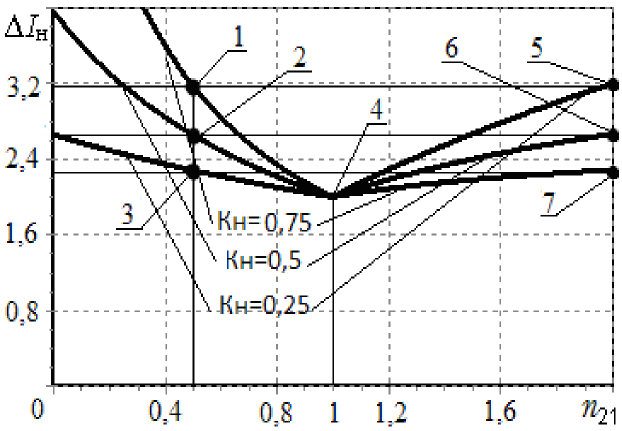


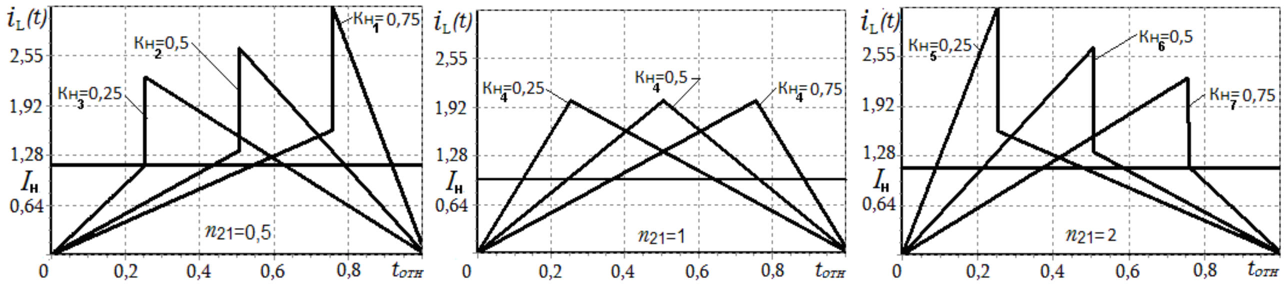

Рисунок 2 – Залежності амплітуди пульсацій струму навантаження $\Delta I_н$ від $n_{21}$ при різних $к_н$

Видно (рис. 2), що при пропорційній зміні коефіцієнта трансформації $n_{21}$ щодо $n_{21}$=1 (наприклад, в 2 рази – значення відповідно $n_{21}$=0,5 і $n_{21}$=2) рівень пульсації $\Delta I_н$ в точці 1 більше, ніж рівень пульсації $\Delta I_н$ в точці 7 при $к_н$= 0,75.

І, навпаки, при коефіцієнті накопичення $к_н$, який прагне до нуля ($к_н \to 0$), швидкість зміни рівня пульсації (крутизна) в діапазоні зміни $0 \le n_{21} \le 1$ менше, в порівнянні з діапазоном зміни $1 \le n_{21} \le 2$. Видно (рис. 2), що рівень пульсації $\Delta I_н$ в точці 3 менше, ніж рівень пульсації $\Delta I_н$ в точці 5 при $к_н$ = 0,25.

При значенні $n_{21}$ = 1 видно (рис. 2), що амплітуда пульсації струму навантаження однакова при будь-якому коефіцієнті накопичення і становить подвоєне значення середнього струму навантаження – точка 4.

Характер зміни пульсацій струму навантаження простежується і на часових діаграмах (рис. 3). Наприклад, при $n_{21}$=0,5 амплітуда пульсації зростає зі збільшенням коефіцієнта накопичення при одному і тому ж середньому значенні струму навантаження $I_н$ (рис. 3,а). Видно, що рівень пульсації $\Delta I_н$ в точці 1 (при $к_{н1}$ = 0,75) більше, ніж в точці 3 (при $к_{н3}$ = 0,25). Індексом при $к_н$ позначена відповідна точка.



а) б) в)

Рисунок 3 – Часові діаграми струму дроселя при різних кн з коефіцієнтом трансформації: $n_{21}$ = 0,5 (а), $n_{21}$ = 1 (б) і $n_{21}$ = 2 (в).

І, навпаки, при коефіцієнті трансформації $n_{21}$ = 2 (рис. 3,в) величина пульсацій зростає зі зменшенням коефіцієнта накопичення при одному і тому ж середньому значенні струму навантаження $I_н$.

Проаналізувавши часові діаграми, (рис. 3) можна зробити висновок, що при коефіцієнті трансформації $n_{21}$ = 1, пульсації струму дроселя для різних коефіцієнтів накопичення кн однакові – точка 4 на рис. 2 і рис. 3,б. Видно, що при $n_{21}$ = 1 (рис. 3,б), площа трикутника (огинаючої миттєвого струму) зберігається при будь-яких коефіцієнтах накопичення, тому і величина пульсації матиме постійне значення.

З наведених залежностей (рис. 2, 3) можна зробити висновок, що в знижуючому СК ППН при будь-якому коефіцієнті накопичення пульсації струму навантаження будуть мінімальними при коефіцієнті трансформації $n_{21}$=1.

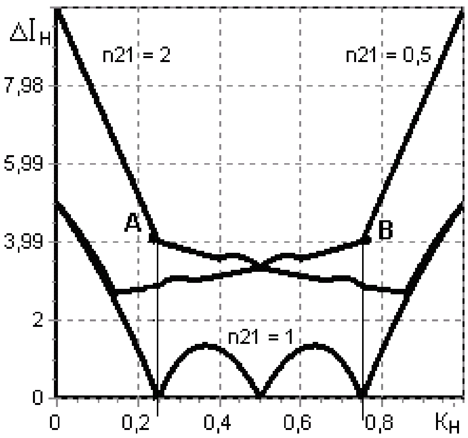


Рисунок 4 – Пульсацій $\Delta I_н$ для БІП

Використовуючи розглянуту залежність – для одного СК ($N$ = 1) – можна оцінювати пульсації струму навантаження в заданому діапазоні зміни вхідної напруги $U_п$ (кн) для багатофазного режиму ППН ($N$ > 1).

Наприклад, можна очікувати, що для коефіцієнта трансформації $n_{21}$> 1 рівень пульсації буде більшим при коефіцієнтах накопичення кн, що прагнуть до нуля (кн → 0), в порівнянні з випадком при $n_{21}$> 1, але при коефіцієнтах накопичення кн, що прагнуть до одиниці (кн → 1).

Сказане ілюструється рис. 4, на якому представлені залежності $\Delta I_н$ від кн при різних $n_{21}$ для БІП при $N$ = 4. Видно, що також, як і для одного СК ($N$ = 1 – рис. 2), спостерігається симетрія значень амплітуд пульсацій струмів навантаження $\Delta I_н$ для різних значень коефіцієнтів трансформації $n_{21}$ і накопичення кн. Наприклад, для кн = 0,25 при $n_{21}$ = 2 значення амплітуди пульсацій $\Delta I_н$ = 4 (точка А) – таке ж, як і для кн = 0,75 при $n^{21}$ = 0,5 (точка В).

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

**Висновки.** Таким чином, отримані результати – для одного $N = 1$ СК – можна використовувати для прогнозування результатів для багатофазного режиму роботи ППН, при $N > 1$. Це дозволяє підвищити ефективність автоматизованого дослідження БІП за допомогою ЕОМ [3].

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кадацкий А.Ф. Действующие значения токов элементов силовых каналов импульсных преобразователей постоянного напряжения с широтно-импульсным методом регулирования [Текст] / А.Ф. Кадацкий, А.П. Русу // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – № 1. – С. 11 – 17.

2. Кадацкий А.Ф. Анализ электрических процессов в МИП постоянного напряжения при граничных токах дросселей [Текст] / А.Ф.Кадацкий, И.П. Малявин, А.В. Кочетков, О.В. Швец // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 20 – 30.

3. Малявін І.П. Методика автоматизованого проектування багатофазних імпульсних перетворювачів постійної напруги [Текст] / І.П. Малявін // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 2. – С. 84 – 88.

УДК 629.5. – 64.5:621.314.5

## ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ З НЕЛІНІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ

**А.О. Дранкова**, к.т.н., доцент
**І.І. Красовський**, аспірант
**А.О. Семенюк**, магістр
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *У статті на підставі наявності вищих гармонік напруги та струму в електромережі розглянуті способи підвищення показників якості суднової електромережі з нелінійним навантаженням. Аналіз показників якості електромережі проведено з використанням комп'ютерних моделей «Суднова електромережа – Нелінійне навантаження» та «Суднова електромережа – Активний фільтр гармонік – Нелінійне навантаження» створених у середовищі MATLAB. Показало, що модель з використанням активного фільтру гармонік (АФГ) дозволила зменшити сумарні коефіцієнти гармонік THD напруги та струму до норм, які визначені морськими стандартами.*

***Ключові слова****: показники якості електроенергії, суднова електромережа, нелінійне навантаження, гармонійне спотворення, пасивний фільтр гармонік, активний фільтр гармонік, сумарний коефіцієнт гармонік (THD).*

## IMPROVING THE QUALITY PARAMETERS OF SHIP'S POWER NETWORK WITH NONLINEAR LOAD BY USING AN ACTIVE HARMONIC FILTER

**Alla Drankova**, PhD, ass. Professor
**Igor Krasovskyi**, PhD student
**Andrii Semeniuk,** master
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *Based on the presence of higher harmonics of voltage and current in the power grid, the article discusses ways to improve the quality indicators of a ship power grid with a nonlinear load. The analysis of the power quality indicators of the power grid was carried out using the computer models "Ship's power grid - Nonlinear load" and "Ship's power grid - Active harmonic filter - Nonlinear load" created in* *the MATLAB environment. Showed that the model using an active harmonic filter (AFG) allowed to reduce the total harmonic distortion THD of voltage and current to the norms that are determined by marine standards.*

***Keywords:*** *power quality indicators, ship's power grid, non-linear load, harmonic distortion, passive harmonic filter, active harmonic filter, total harmonic distortion (THD).*

Проектування як суднових, так і берегових електромеханічних систем не може враховуватися сучасним та повноцінним без реалізації в таких системах функцій енергоефективності та енергозбереження. Більшість електромеханічних систем працюють зі змінним нелінійним навантаженням, яке має нелінійну вольт-амперну характеристику. Змінне нелінійне навантаження негативно впливає на показники якості електроенергії та призводить до виникнення значних гармонійних спотворень у електромережі. Врахування того факту, що суднова електромережа є автономною електромережею з кінцевою потужністю, підтримання значень показників якості електромережі на рівні, який встановлено морськими класифікаційними співтовариствами [1,2], робить представлене дослідження актуальним.

Традиційним способом підвищення показників якості електромережі є використання фільтрів гармонік, а саме пасивних фільтрів гармонік (ПФГ) та активних фільтрів гармонік (АФГ) [3,4].

ПФГ є статичними пристроями, які використовують явище резонансу напруги або резонансу струмів, що забезпечує ослаблення високочастотної гармоніки на яку налаштовано резонансне коло [4]. Ефективність ПФГ зменшується за рахунок зміни гармонійного складу струму та напруги в електромережі, а також при – зміні імпедансу електромережі. Це є основним недоліком застосування ПФГ у судновій електромережі з нелінійним навантаженням.

В роботі пропонується використання АФГ, які спроможні виконувати відразу дві функції: перша - усунення вищих гармонік струму і напруги, друга - компенсація реактивної потужності [3,5,6]. Сама ця властивість АФГ робить їх перспективними для використання у суднових електромережах.

За для проведення експериментального дослідження були створені наступні комп'ютерні моделі у середовищі MATLAB в пакеті Simulink: «Суднова електромережа – Нелінійне навантаження», а також «Суднова електромережа – АФГ – Нелінійне навантаження». Моделі налаштовані на напругу електромережі U=440В з робочою частотою f=60Гц. Навантаження електромережі реалізовано частотно-регульованим електроприводом потужністю P=150 кВт.

Модель без використання фільтрів показала наявність у судновій електромережі значних коефіцієнтів гармонійних спотворень. Сумарні коефіцієнти гармонік THD напруги та струму, складають 8,38% та 38,63% відповідно, що перевищує норми встановлені морськими стандартами до якості електроенергії на судах [2]. Осцилограми напруги та струму наведені на рис. 1.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

а) – осцилограма напруги

б) – осцилограма струму

Рисунок 1 – Осцилограми напруги та струму без використання фільтрів

На рис. 2 зображена модель «Суднова електромережа – АФГ – Нелінійне навантаження», а на рис. 3 – відповідні осцилограми напруги та струму при використанні АФГ.

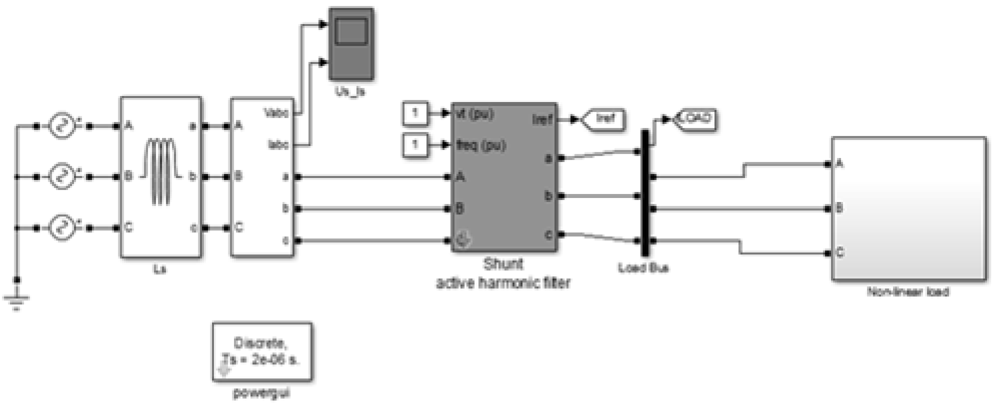
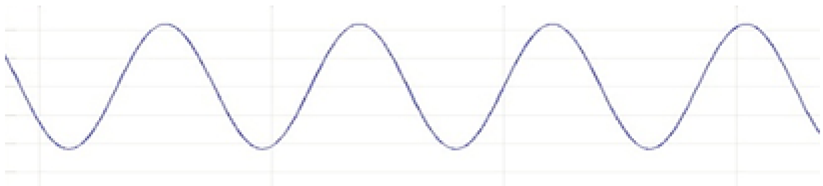
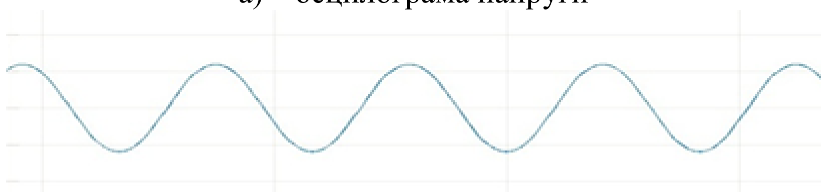



Рисунок 2 – Комп’ютерна модель «Суднова електромережа – АФГ – Нелінійне навантаження»



а) – осцилограма напруги



б) – осцилограма струму

Рисунок 3 – Осцилограми напруги та струму при використанням АФГ

Комп'ютерне моделювання показало, що модель з АФГ дозволила зменшити сумарні коефіцієнти гармонік THD напруги до значення 0,02% та THD струму до значення 1,29%. Візуальний аналіз осцилограм демонструє майже синусоїдальний характер напруги та струму електромережі.

**Висновки.** Проведене комп'ютерне моделювання та аналіз отриманих результатів підтверджує загальні теоретичні положення стосовно наявності вищих гармонік напруги та струму в судновій електромережі з нелінійним навантаженням, а також демонструє ефективність використання АФГ для їх пригнічення. Комп'ютерна модель з АФГ дозволяє знизити THD напруги та струму до значень нижче норм встановлених морськими стандартами.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Lloyds Register of Shipping, Rules and regulations for the classification of naval ships - electrical engineering, LRS, Vol. 2, part 10, charter 1,2001.
2. IEEE 1159:1995 IEEE "Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality".
3. Дранкова, А.О. Методи підвищення якості електроенергії суднової системи електро-живлення із нелінійним навантаженням [Текст] / Дранкова А.О., Міхайков С.С., Красовський І.І. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: Астропрінт, 2017. – №25 (101). – С. 53-61.
4. Міхайков, С.С. Підвищення якості електроенергії в експлуатаційних режимах суднової системи охолодження [Текст] / Міхайков С.С., Муха М.Й., Дранкова А.О. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – №16 (1341). – С. 85-89.
5. Akagi, H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.
6. H. Zhang, A.M. Massoud, S.J. Finney, B.W. Williams and J.E. Fletcher, "Operation of an active power filter with line voltage SVM under non-ideal conditions", Proc. 2007 Compatibility in Power Electronics, pp. 1-7.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# Секція 4. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, КОМПОНЕНТИ ТА ДІАГНОСТИКА

УДК 621.3. 681.518.5

## АЛГОРИТМИ ПОШУКУ І УСУНЕННЯ “ЕЛЕКТРИЧНОГО ШУМУ” В ЕЛЕКТРОННІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ГОЛОВНИМ ДВИГУНОМ

**С.А. Дудко**, старший викладач
**В.О. Дубовик**, старший викладач
Національний Університет "ОМА"
**О.М. Рак,** к.т.н., доцент
Донецький національний технічний університет

***Анотація.*** *Представлена стаття буде корисною для суднових електромеханіків і старших механіків, які працюють на суднах, у яких в якості енергетичної установки використовуються двигуни з електронним управлінням виробництва фірми MAN B&W. В процесі експлуатації двигунів, в їх системах управління періодично виникають аварійні сигнали, пов'язані з наявністю "електричного шуму", що призводить до некоректної роботи як самої системи управління, так і енергетичної установки в цілому. Методики, розглянуті в статті, допомагають полегшити пошук, локалізацію та усунення несправності.*
***Ключові слова.*** *Двигуни з електронною системою управління. Електричний шум. Лічильник імпульсів шуму. Ізометр.*

## SEARCHING AND TROUBLESHOOTING ALGORITHMS OF "ELECTRICAL NOISE" IN MAIN ENGINE's ELECTRONICAL CONTROL SYSTEM

**S. Dudko**, Senior lecturer
**V. Dubovik**, Senior lecturer
National University "Odesa Maritime Academy"
**O. Rak**, Ph.D., Associate Professor
Donetsk National Technical University

***Abstract.*** *This article is interesting for ship ETOs and Chief Engineers who work on ships that use electronically controlled engines manufactured by MAN B&W. During the operation of engines, their control systems periodically generate alarms associated with the presence of "electrical noise", which leads to incorrect operation of both the control system itself and the power plant as a whole. The techniques discussed in this article are help to facilitate the search, localization and troubleshooting.*
***Keywords.*** *Engines with electronic control system. Electrical noise. Counter of impulses of noise. Isometer.*

**Вступ.** До поняття "електричний шум" ("Electrical Noise") відноситься зміни напруги або струму, які часто є випадковими, зазвичай відносно низькою амплітуди, і завжди небажані. У двигунах внутрішнього згоряння з електронною системою управління цей термін в деякій мірі може бути пов'язаний з періодично низькою ізоляцією, яка може виникати в системі 24 В постійного струму, де, наприклад, пошкоджені датчики або проводка, яка створює контакт з корпусом судна. Слід зазначити, що низькою ізоляцією вважається ізоляція нижче 70 кОм [3]. Непередбачуваність виникнення сигналу грає ключову роль, тому що при постійно низькій ізоляції, штатний прилад вимірювання опору ізоляції (ізометр Bender) виявить несправність в системі і активує аварійний сигнал [1- 2].

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз можливих причин виникнення несправності "електричний шум" в системах з електронним управлінням головного двигуна виробництва фірми MAN B&W, а також синтез алгоритмів пошуку та усунення виниклої несправності.

**Діагностика несправностей.** Функція "Виявлення електричного шуму" в системі електронного управління двигунами фірми MAN B&W реалізована та впроваджена для відстеження короткочасного переривчастого низького рівня ізоляції. який не може бути виявлений стандартним ізометром Bender. Якщо ж в системі діагностується постійний низький опір ізоляції, то цю несправність слід усунути перед пошуком електричних перешкод. Ця функція інтегрована до спеціальної частини програмного забезпечення системи управління циліндром CCU (Cylinder Control Unit), яка називається “пакетна”, котра виробляє вибірку з частотою 2 кГц. Вона реалізована тільки в блоках CCU. На додаток до програмної реалізації існує також обладнання, яке встановлюється на роз'ємі J35 центрального блоку управління, як показано на рисунку 1 [4].

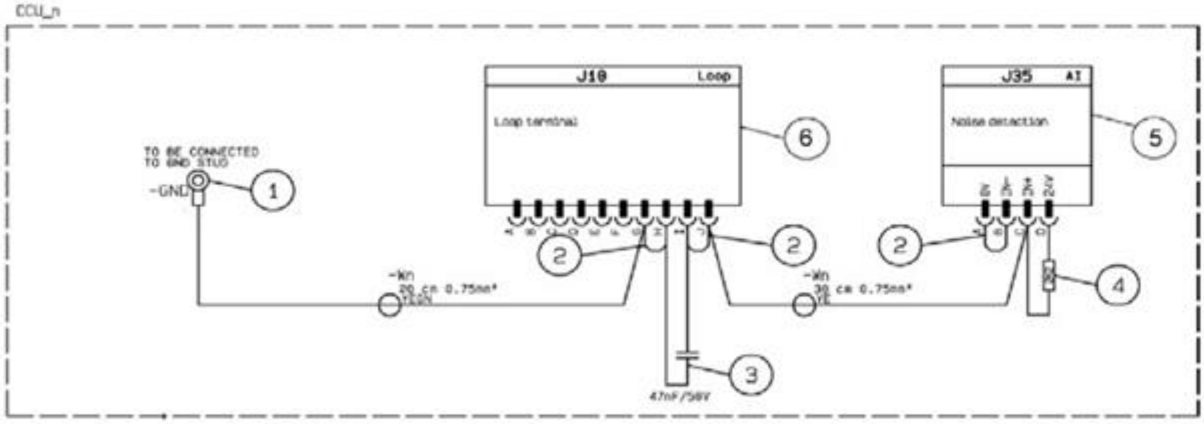



Рисунок 1 – Ілюстрація частини установки з реалізацією функції
“Виявлення шуму”

На рисунку 1 відповідними цифрами позначені: 1 – кабельний наконечник, підключений до заземлення; 2 – перемичка; 3 – конденсатор з параметрами 50 В, 47 нФ; 4 – резистор з опором 2 кОм; 5 і 6 – роз'єми підключення на карті CCU.

Установка являє собою невелику струмову петлю в роз'ємі J35, підключену до заземлення через конденсатор. Конденсатор в електричному колі забезпечує додаткове посилення сигналів для виявлення навіть дуже малих імпульсів електричного шуму, щоб забезпечити раннє попередження несправності, переважно до того, як електричні перешкоди вплинуть на інші частини системи управління двигуном.

Кожен блок CCU має вбудований лічильник, який підраховує частоту виникаючих імпульсів електричного шуму. Лічильники можуть використовувати-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

ся як для відображення рівня електричного шуму, так і для вказівки того, де може бути виявлена несправність.

Імпульси електричного шуму, якщо такі є, реєструються блоками CCU і, якщо їх кількість перевищує порогове значення, спрацьовує аварійний сигнал. Також CCU контролює кількість надісланих сигналів і збільшує лічильник імпульсів електричного шуму.

Оскільки всі датчики і виконавчі механізми, а також електронні карти (MPC) підключені до однієї і тієї ж електромережі 24В постійного струму, то в разі періодичного зниження ізоляції, буде надаватися відчутний вплив на всі вузли, оскільки воно буде впливати на роботу всієї мережі.

Якщо всі лічильники шумових імпульсів CCU мають однакову кількість або близьку до неї частоту, то помилка, швидше за все, викликана ззовні, а не локально на конкретному CCU. Якщо ж кількість сигналів у одного лічильник шумових імпульсів блоку CCU набагато більша, ніж у інших CCU, тоді помилка, швидше за все локальна на даному блоці CCU.

Значення лічильників шумових імпульсів можна подивитися на головній панелі (MOP) канал 71 (CH71) на кожному CCU, а також можна побачити на комп'ютері системи діагностики (CoCoS), рисунок 2 [3]. На рисунку 2 наведено приклад низької ізоляції на блоці CCU-5. Причиною несправності виявилася, пошкоджена ізоляція проводу всередині розподільної коробки.

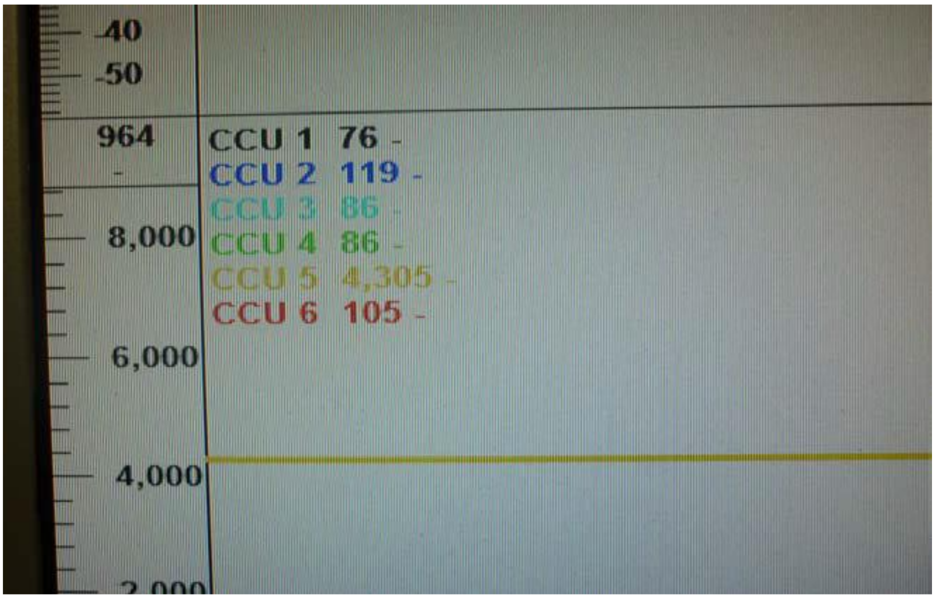



Рисунок 2 – Індикація переривчастої низької ізоляції на блоці CCU-5

У більшості випадків аварійний сигнал "електричний шум" спрацьовує під час роботи двигуна через те, що вібрації двигуна впливають на датчики і проводку.

**Алгоритми пошуку та усунення несправностей.** При усуненні несправностей слід мати на увазі, що потрібно починати пошук датчиків, кабелів і проводів, які розміщені безпосередньо на двигуні, оскільки вони, з великою ймовірністю, є найбільш схильними до ризику пошкодження.

При виході аварійного сигналу "електричний шум", перш за все необхідно визначити чи є цей сигнал колективним, тобто на декількох CCU або ж на одному певному CCU, як показано на рисунку 2. Якщо аварійний сигнал присутній на одному CCU, то випадок вважається простим і зводиться до пошуку несправності на конкретному циліндрі. Для цього необхідно обстежити і перевірити:

1. Розподільні коробки, з'єднувальні проводи і роз'єми клапана FIVA, а саме: а) підключення електронної карти приводу; б) датчик зворотнього зв'язку положення плунжера FIVA.

2. Розподільні коробки, з'єднувальні проводи і роз'єми системи змащення циліндрів α-лубрикатора, а саме: а) датчика протоки масла; б) соленоїдний клапан активації уприскування масла в точки змащення циліндра; в) датчик зворотнього зв'язку по упорскуванню масла в точки змащення циліндра;

3. Плунжер паливного насоса високого тиску – датчик зворотнього зв'язку по положенню плунжера.

4. Випускний клапан відпрацьованих газів – датчик зворотнього зв'язку положення штока клапана.

Якщо в результаті пошуку, несправності були не виявлені, то слід продовжити перевірку підключень і цілісності проводів для електронної карти MPC у відповідному блоці CCU.

Якщо сигнал "електричний шум" присутній на декількох блоках CCU, то область пошуку несправності розширюється, а сам пошук ускладнюється. Проте, дії з пошуку доцільно систематизувати і проводити в розробленому порядку, представленому нижче:

1. Починати пошук несправності необхідно з з'єднувальних коробок TSA-A і TSA-B, до яких підключені енкодери A і B положення колінчастого вала двигуна, а також датчик маркера BMT для 1-го циліндра. Сигнали від даних з'єднувальних коробок надходять на різні MPC, тому несправності в них можуть викликати аварійний сигнал відразу в декількох блоках CCU.

2. Слід перевірити з'єднувальні коробки розподілу живлення електронних карт, датчиків і виконавчих механізмів на наявність несправності в них.

3. Оглянути на наявність несправностей в підключеннях електронних підсилювальних модулів управління системи гідравліки високого тиску HPS.

4. Перевірити якість з'єднання в панелі місцевого управління двигуном LOP.

5. Перевірити інші кабінети (щити), які містять електронні карти управління MPC, але не є блоками CCU. Як було сказано вище, тільки в блоках CCU є лічильники електричного шуму. Тому, інші MPC можуть впливати на загальну систему, але при цьому не ідентифікуватися системою.

6. Якщо в попередніх випадках усунути несправність не вдалося, то варто провести перевірку з'єднань і підключень для електронних карт MPC у всіх блоках CCU, в яких присутній аварійний сигнал.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Як правило, наведених вище дій у багатьох випадках достатньо для усунення періодично виникаючих несправностей з низьким рівнем ізоляції, які викликають аварійний сигнал "електричний шум".

У деяких випадках пошук несправності корисно доповнити вимірами омметра.

**Висновки.** На підставі викладеного матеріалу сформулюємо наступне:

1. Виникнення аварійного сигналу "електричний шум" може привести до некоректної роботи дизеля або до його зупинки.

2. Основною причиною появи сигналу "електричний шум" є короткочасне переривчасте падіння рівня ізоляції в системі управління.

3. Несправність, яка пов'язана з електричним шумом та носить періодичний характер не може бути виявлена стандартним ізометром Bender.

4. Існуючі діагностичні системи і методи здатні локалізувати наявність несправності до рівня конкретного циліндра лише в обмежених випадках.

5. При виявленні кількісних шумових імпульсів лічильника одного CCU набагато більше, ніж у інших CCU, говорить про наявність несправності на локальному розглянутому CCU.

6. При визначенні однакової кількості частоти, або близькою до однакової, всіх лічильників шумових імпульсів CCU, вказує на наявність зовнішньої несправності.

7. Розроблений алгоритм дозволяє істотно скоротити час пошуку несправності та підвищити точність її локалізації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Терензино Ф. В скором будущем интерфейс «человек-машина» станет привычным. Ф. Терензино // Control engineering, 2013. – № 6 (48). Авикпккр
2. Фадул К., Скотт С., «Базовые элементы современного HMI» / К. Фадул, С. Скотт, В. Рентюк // Control engineering, 2018. – № 1(73).
3. https://primeserv.man-es.com/marine-engines-and-systems/service-letter-marine/page/6
4. http://maytau.ut.edu.vn/userfiles/files/ 50-108ME/ME-C - Vol. II MAINTENANCE.pdf

# Секція 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ЯВИЩ В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 656.61.052

## МЕТОДИ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГІДРОДИНАМІЧНИХ СИЛ НА КОРПУСІ СУДНА

**О. Ф. Кривий**, доктор фіз.-мат. наук, професор
National University «Odesa Maritime Academy»

***Анотація:*** *Для побудови математичних моделей гідродинамічних сил на корпусі судна запропоновано використовувати багатофакторний регресійний аналіз. В якості факторів (регресорів) використовуються безрозмірні співвідношення геометричних параметрів судна, як то довжина, ширина, осадка та коефіцієнт загальної повноти. При виборі регресійних моделей оцінювались значення нормалізованого R-квадрату і значення стандартних похибок. Значущість моделей і значущість всіх регресорів, що входять в модель, оцінювались за допомогою критерія Фішера і Стьюдента.*
***Ключові слова***: *гидродинамические силы, гидродинамические производные, множественный регрессионный анализ.*

## METHODS FOR CONSTRUCTING MATHEMATICAL MODELS OF HYDRODYNAMIC FORCES ON THE SHIP'S HULL

**O. Kryvyi,** Dr. of Science, Professor
National University «Odesa Maritime Academy»

***Abstract:*** *To build mathematical models of hydrodynamic forces on the hull, it is proposed to use multifactor regression analysis. As factors (regressors), various dimensionless ratios of the geometric parameters of the vessel, such as length, width, draft, and block coefficient are taken. When choosing these regression models, the values of the normalized R-squared and the value of standard errors were estimated. The significance of the models and the significance of all factors (regressors) included in the model were assessed using Fisher's and Student's tests.*
***Key-words:*** *planar motion of a ship, hydrodynamic forces, hydrodynamic characteristics, hydrodynamic constants*

Зазвичай проекції гідродинамічних сил $X_h, Y_h$ на осі координат, пов'язаних з судном і момент $M_h$ навколо осі $Z$, подається так

$$X_h = v^2 C_h^x(\beta,\omega),\ Y_h = v^2 C_h^y(\beta,\omega), M_h = v^2 C_h^m(\beta,\omega). \tag{1}$$

Тут $v, \beta, \omega -$ відповідно величина результуючої швидкості, кут дрейфу і кутова швидкість судна. Величини $C_h^x(\beta,\omega)$, $C_h^y(\beta,\omega)$, $C_h^m(\beta,\omega)$ називають гідродинамічними характеристики корпусу судна. Розв'язність відповідних систем диференціальних рівнянь руху судна [3-5], обумовлює достатньо гладкість правих частин і дає підстави допустити існування рядів Маклорена для гідродинамічних характеристик судна:

$$C_h^x(\beta,\omega) = \sum_{j+k=0}^{\infty} C_{jk}^p \beta^j \omega^k, \{p\} = \{x, y, m\},\ C_{jk}^p = \frac{1}{(j+k)!} \left. \frac{\partial^{k+j} C_h^x(\beta,\omega)}{\partial \beta^j \partial \omega^k} \right|_{\beta=0,\omega=0}. \tag{2}$$

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

В розвиненні (2) $C_{jk}^{p}$ називають гідродинамічними сталими (або гидродинамічними похідними) сил і моменту на корпусі судна. Подання (2) дозволяє при малих кутах дрейфу і кутової швидкості апроксимувати гідродинамічні характеристики судна поліномами. Якщо, зокрема, обмежитись членами порядку не вище четвертого і врахувати властивості гідродинамічних сил [1-7], то отримаємо наступні подання

$$C_h^x(\beta,\omega)=C_{00}^x+C_{20}^x\beta^2+C_{11}^x\beta\omega+C_{02}^x\omega^2+C_{40}^x\beta^4,$$

$$C_h^y(\beta,\omega)=C_{10}^y\beta+C_{01}^y\omega+C_{30}^y\beta^3+C_{21}^y\beta^2\omega+C_{12}^y\beta\omega^2+C_{03}^y\omega^3, \qquad (3)$$

$$C_h^m(\beta,\omega)=C_{10}^m\beta+C_{01}^m\omega+C_{30}^m\beta^3+C_{21}^m\beta^2\omega+C_{12}^m\beta\omega^2+C_{03}^m\omega^3.$$

Гідродинамічні сталі в розвиненнях (3) подають через геометричні характеристики судна шляхом обробки результатів експериментів. В даній роботі для побудови математичних моделей гідродинамічних сталих застосовано багатофакторний регресійний аналіз. Використана поліноміальна квазілінійна модель відносно базових регресорів (основних факторів)

$$\eta_1=C_b,\eta_2={B}/{L},\eta_3={T}/{L},\eta_4={T}/{B}, \qquad (4)$$

де $L-$ довжина судна по діючу ватерлінію, $B-$ ширина судна по діючу ватерлінію, $T-$ осадка судна на міделі, $C_b-$ коефіцієнт загальної повноти. В якості визначаючих регресорів моделей використані базові регресори (4) або їх мультиплікатори, тобто гідродинамічні сталі розшукуємо так

$$C_{jk}^p=\sum_{j=0}^{\kappa}\lambda_j\xi_j,\ \ \xi_j=\prod_{i=1}^{\kappa_i}\eta_i^{\varsigma_i},\quad \{p\}=\{x,y,z\},(j,k=0,\ldots,4). \qquad (5)$$

Показник $\kappa$, коефіцієнти регресивної моделі $\lambda_j$ і показники $\kappa_j$, $\varsigma_j$ регресорів визначаються для кожної гідродинамічної сталої $C_{jk}^p$.

При побудові моделей (5) оцінюється рівень значимості моделей в цілому і кожного регресора окремо. Модель будемо вважати *адекватною*, якщо виконуються наступні критерії

1) Досягається максимально можливе значення множинного коефіцієнту кореляції $R$:

$$R>\alpha_0, \qquad (6)$$

де параметр $\alpha_0, (0\le\alpha_0\le1)$ визначає рівень зв'язку (кореляції) гідродинамічних похідних $C_{jk}^p$ з регресорами, що входять в подання (5). При цьому, якщо $\alpha_0<0.5$, зв'язок вважається не прийнятним, якщо $0.5\le\alpha_0\le0.7$, зв'язок вважається задовільним, якщо $0.7<\alpha_0\le0.8$ зв'язок вважається доброю, якщо $0.8<\alpha_0<1$ зв'язок вважається ввідним.

2) Статистичну значимість в цілому кожної моделі (5) визначаємо за критерієм Фішера

$$F_c > F_{nk}(1-\alpha_F, m-1, n-m), \tag{7}$$

де $F_c = \dfrac{R^2}{1-R^2}\dfrac{n-m}{m-1}$ – статистика спостереження, яка має розподіл Фішера-Снедекора (*F*-розподіл); *m*- кількість не нульових коефіцієнтів моделей (5); *n*- об'єм вибірки; $F_{nk}(1-\alpha_F, m-1, n-m)$ – критичне значення *F*-розподілу для рівня значимості $\alpha_F$. Чим менше значення $\alpha_F$, при якому виконується нерівність (7), тим вище в цілому статистична значимість моделі. Відмінним вважається рівень: $\alpha_F \le 0.05$.

3) Рівень значимості статистики $F_c$ визначаємо за допомогою ймовірності $\gamma_F = P(F_c > F_{nk}(1-\alpha_F, m-1, n-m))$. Чим менше $\gamma_F$, тим рівень значимості статистики $F_c$, буде вище. Рівень значимості вважаємо прийнятним, якщо виконується умова

$$\gamma_F < \alpha_F. \tag{8}$$

4) Стандартна похибка $\sigma_j$ регресора $\xi_j$ повинна задовольняти умові

$$\sigma_j < |\lambda_j|. \tag{9}$$

5) Статистичну значимість кожного коефіцієнта регресії визначаємо на основі *t*- критерія Стьюдента

$$|t_j| > |t_{kr}|, \tag{10}$$

де $t_j = \lambda_j / \sigma_j$, $t_{kr} = t(1-\alpha_s, n-m)$ – критичне значення розподілу Стьюдента для рівня значимості $\alpha_s$. Чим менше значення $\alpha_s$, при якому виконується нерівність (10), тим вище в цілому статистична значимість коефіцієнтів моделі. Відмінним вважається рівень: $\alpha_s \le 0.05$.

6) Рівень значимості регресорів моделі визначається з допомогою ймовірності $\gamma_j = P(t_j > t_{kr}(1-\alpha_s, n-m))$ Чим менше $\gamma_j$, тим рівень значимості відповідного регресора вищий. Рівень значимості вважається прийнятним, якщо виконується умова

$$\gamma_j < \alpha_s. \tag{11}$$

7) При виборі регресорів важливо уникнути мультиколлінеарності, тобто відсутність регресорів із великою парною кореляцією:

$$|R_{\xi_j,\xi_i}| < \alpha_{mk},\ j \ne i, \tag{12}$$

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

де $R_{\xi_j,\xi_i}$ – коефіцієнт парної кореляції регресорів, $\alpha_{mk}$ – показник рівня кореляції регресорів.

При побудові математичних моделей гідродинамічних похідних ключовою є умова (6). Але отримані залежності повинні бути статистично значимим з високим рівнем значущості, тобто повинні виконуватись умови (7) і (8) при достатньо малому значенні $\alpha_F$. Умова (9) дозволяє відкинути не значимі регресори. Умови (10) і (11), при достатньо малому значенні $\alpha_s$, дозволяють оцінити відповідно значимість і рівень значимості. Умова (12) дозволяє виключити регресори, які призводять до мультиколлінеарності моделей.

При побудові математичних моделей похідних гідродинамічних сил застосована процедура приєднання регресорів. Для цього спочатку визначались найбільш значимі регресори моделі, тобто регресори, які мають найбільше значення коефіцієнтів парної кореляції з відповідною гідродинамічною сталою. Далі, починаючи з деякої мінімальної кореляційної моделі з найбільш значимими регресорами, приєднуємо нові регресори, поки не буде досягнуто виконання критеріїв 1) - 6). При цьому на кожному кроці перевіряється виконання умови (12). Зауважимо, що таким чином може бути отримано декілька адекватних моделей. В цьому випадку вибираємо ті моделі, для яких значення $\alpha_F$, $\alpha_s$ і $\kappa$ будуть мінімальними, а значення множинного коефіцієнту кореляції $R$ максимальним.

**Висновки.** Запропонований підхід дозволив проаналізувати існуючі математичні моделі гідродинамічних сил [6], виявити їх недоліки і отримати нові з високим рівнем кореляції [1,2]. Ця методика може бути використана для побудови математичних моделей інших неінерційних сил суднового пропульсивного комплексу.

**ЛІТЕРАТУРА**

1.Kryvyi O.F., Miyusov M.V. Mathematical Model of Hydrodynamic Characteristics on the Ship's Hull for Any Drift Angles/ Advances in Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Taylor & Francis Group, London, UK. 2019, pp 111-117

2. Kryvyi O.F., Miyusov M.V. The Creation of Polynomial Models of Hydrodynamic Forces on the Hull of the Ship with the help of Multi-factor Regression Analysis/ 8 International Maritime Science Conference. IMSC 2019. Budva, Montenegro, pp.545-555 http://www.imsc2019. ucg.ac.me/IMSC2019_BofP.pdf

3.Кривой А.Ф., Миюсов М.В. Математические модели гидродинамических характеристик пропульсивного комплекса судна для произвольных углов дрейфа / Судовождение, 2018, 28.- С.88-102

4.Кривой А.Ф., Миюсов М.В. Математическая модель плоского движения судна при наличии ветродвижителей./ Судовождение: Сб. научных трудов ОНМА. 2016.Вып.24(4),-С. 109119

5. Кривий О.Ф. Методи математичного моделювання в задачах судноводіння: навчальний посібник – Одеса: ОНМА. 2015 – 86 с.

6. Furukawa Y, Ibaragi H, Nakiri Y and Kijima K. Shallow water effects on longitudinal components of hydrodynamic derivatives/ 4th MASHCON, Hamburg - Uliczka et al. (eds)- Bundesanstalt für Wasserbau. 2016. DOI: 10.18451/978-3-939230-38-0_33

УДК 004.942: 629.4.001.4

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**И.М. Гвоздева**, доктор технических наук, профессор
**В.Ф. Миргород**, доктор технических наук, доцент
**А.А. Демиров**, магістрант
Национальный университет «Одесская морская академия»

***Аннотация:*** *Предлагается и обосновывается подход к построению математической модели температурного режима судовых дизель-генераторных установок. Собраны и систематизированы статистические данные, характеризующие техническое состояние судовых дизель-генераторных установок в реальных условиях эксплуатации. Разработана регрессионная модель температурного режима судовой дизель-генераторной установки и осуществлена ее компьютерная реализация. Полученные результаты позволяют уменьшить уровень остаточных ошибок и, тем самым, повысить достоверность диагностических выводов автоматизированных систем контроля и диагностики*

***Ключевые слова:*** *диагностический параметр, дизель-генераторная установка, статистические данные, регрессионная модель.*

# MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE MODE OF MARINE DIESEL GENERATOR PLANTS BASED ON RADIAL-BASIC NEURAL NETWORK

**I. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor
**V. Myrhorod**, Dr. of Science, Associate Professor
**A. Demirov,** Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *An approach to the construction of a mathematical model of the temperature mode of marine diesel generator sets is proposed and substantiated. Statistical data characterizing the technical condition of ship diesel generator sets in real operating conditions were collected and systematized. A regression model of the temperature mode of a marine diesel generator set has been developed and its computer implementation has been carried out. The obtained results make it possible to reduce the level of residual errors and, thereby, to increase the reliability of the diagnostic conclusions of automated monitoring and diagnostic systems.*

***Key words****: diagnostic parameter, diesel generator set, statistical data, regression model*

Технико-экономические и эксплуатационные характеристики судовых энергетических установок (СЭУ) во многом определяются характеристиками дизель-генераторных установок (ДГУ). Стратегия обслуживания указанных объектов по техническому состоянию позволяет повысить надежность и эффективность эксплуатации ДГУ и продлить межремонтный период работы оборудования, входящего в их состав. Важным вопросом реализации указанной стратегии является создание интегрированных систем автоматизированного контроля и диагностики (АСКД) ДГУ.

Проблемным вопросом усовершенствования судовых АСКД является повышение надежности статистических выводов АСКД о техническом состоянии судовых ДГУ в реальных условиях эксплуатации. Техническое состояние судовых дизель-генераторных установок определяется по данным дискретных изме-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

рений термогазодинамических и электрических параметров: температур, давлений, оборотов турбин, вибропараметров, токов нагрузки и т.д.

Применение в АСКД современных подходов для оценки технического состояния ДГУ, учитывающих информативность параметров контроля их технического состояния и их взаимосвязь, позволит повысить достоверность диагностических выводов.

Работы [1–4] посвящены проблемам технического диагностирования судовых ДГУ. Проблемы оценки их технического состояния рассмотрены в [5,6]. В [1,7,8] предложено расширение признакового пространства принятия решений и повышение достоверности диагностических выводов АСКД на основе использования многомерного анализа временных рядов. В [7] обоснован выбор информационных параметров для судовых АСКД, на основе которых проводится оценка технического состояния ДГУ.

В [1, 9] проанализированы структурные схемы АСКД, применяемых на современных судах, и используемые в них алгоритмы контроля параметров. В [10–13] рассмотрены методы и средства технической диагностики, принципы выбора параметров и алгоритмов поиска неисправностей в сложных технических системах. Возможности использования в АСКД алгоритмов нечеткой логики раскрыты в работах [3, 10]. Анализ последних исследований и публикаций [8] позволяет сделать вывод о существующем противоречии между возможностями новых алгоритмов работы судовых АСКД с использованием современных программных средств и информационных технологий и их фактической программно-алгоритмической реализацией.

Целью настоящего исследования является обоснование подхода к усовершенствованию судовых систем автоматизированного контроля и диагностики путем использования передовых информационных технологий искусственного интеллекта в виде нейронных сетей для построения адекватных моделей взаимозависимости параметров ДГУ в процессе длительной эксплуатации.

Исследуемая СЭУ  состоит из трех ДГУ, в составе которых использованы дизельные двигатели модели 6EY18L производителя YANMAR и генераторы производителя HYUNDAI [14]. Параметры ДГУ контролировались двумя системами мониторинга: EPM (Enamor Power Monitor) и Kongsberg K-Chief 600 Система EPM контролирует и анализирует электроэнергетические параметры, вырабатываемые синхронными генераторами (напряжение, силу тока, частоту, мощность, коэффициент мощности и т.д.). Передача полученных данных осуществляется по стандарту RS 485 в формате NMEA («National Marine Electronics Association») другим судовым системам мониторинга, в том числе основной системе мониторинга Kongsberg K-Chief 600. Эта система контролирует диагностические параметры, по которым определяется техническое состояние судовых ДГУ. К таким параметрам относятся: температура выходящих газов цилиндров, температура газов на входе в турбонагнетатель, температура контура охлаждения пресной водой на входе и выходе и другие.

Для фиксации значений диагностических параметров судовых ДГУ использовалась специальная электронная таблица, в которую каждые 24 часа заносились текущие значения. Данные были получены М.А. Якименко [14]. Систематизация полученных данных позволила сформировать общий массив, состоящий из 30 векторов параметров, каждый длиной по 162 значения. На основе статистического анализа полученных данных выделена взаимосвязанная совокупность диагностических параметров, наиболее информативных для оценки технического состояния судовых ДГУ. К таким параметрам относятся температуры выходящих газов каждого цилиндра исследуемых дизелей и ток нагрузки (мощность при постоянном напряжении).

На основе корреляционного анализа [14] полученных данных в качестве основного параметра, характеризующего техническое состояние ДГУ в зависимости от нагрузки, выбрана температура выходящих газов цилиндров дизельного двигателя (рис. 1).

На рисунке 1 представлены временные ряды температур выходящих газов каждого цилиндра ДГУ №1, на основе анализа которых можно оценить распределение нагрузки по цилиндрам. Для определения равномерности распределения нагрузки по цилиндрам ДГУ № 1 анализировалось изменение силы тока в разных режимах работы судовой электростанции (рис. 2).

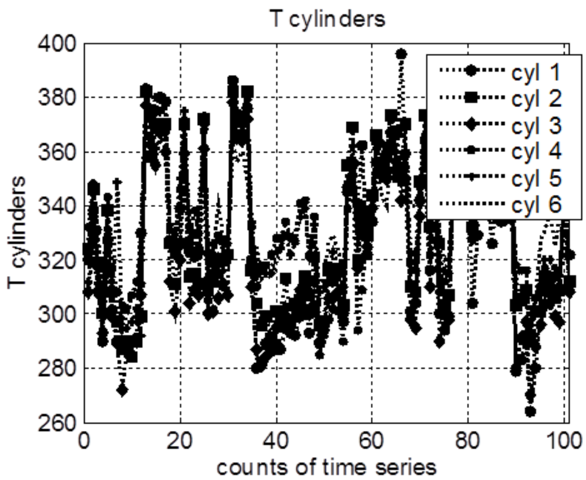



Рисунок 1 – Временные ряды температур выходящих газов каждого цилиндра ДГУ

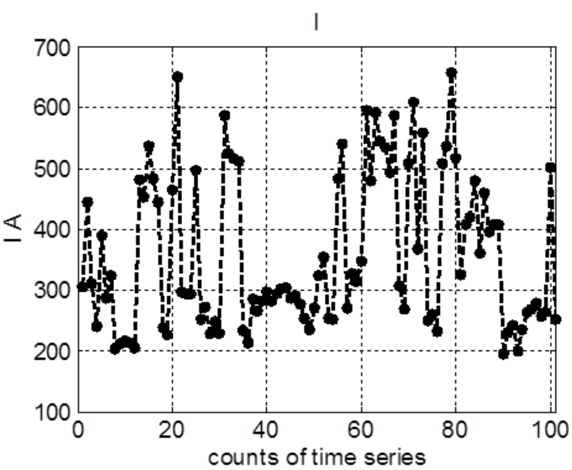



Рисунок 2 – Временные ряды тока нагрузки ДГУ

Рисунок 3 иллюстрирует зависимость температуры выходящих газов цилиндров ДГУ от тока нагрузки и различные формы аппроксимации этой зависимости.

Качество и адекватность предлагаемых моделей изменения температурного режима ДГУ характеризует распределение среднеквадратической ошибки остаточных отклонений, которое представлено на рисунке 4.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

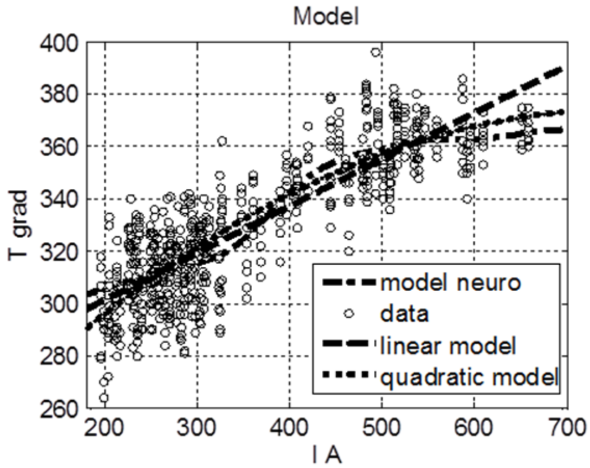


Рисунок 3 – Зависимость температуры выходящих газов цилиндров ДГУ от тока нагрузки

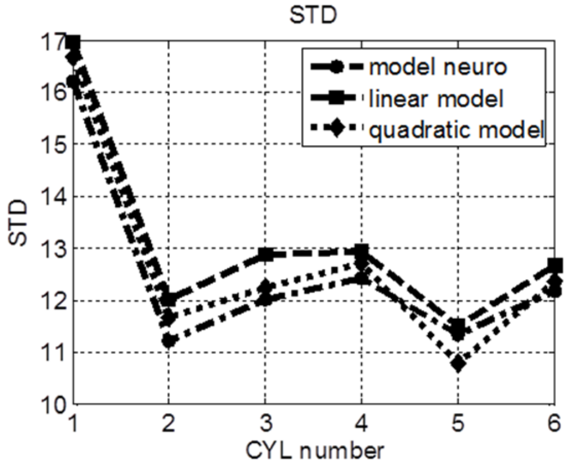


Рисунок 4 – Распределение среднеквадратической ошибки остаточных отклонений по цилиндрам ДГУ

Следовательно, применение более совершенных методов построения математических моделей взаимосвязи диагностических параметров ДГУ, а именно: температуры выходящих газов и тока нагрузки, в виде радиально-базисной нейронной сети, позволяет существенно повысить адекватность таких моделей, что иллюстрирует снижение СКО остаточных отклонений. Важным фактором является также робастность предлагаемой математической модели. Известным фактом свойств полиномиальной аппроксимации зависимостей является высокая чувствительность к так называемым «выбросам» - существенным отклонениям, вызванным ошибками регистрации. Деформация полиномиальных аппроксимаций при этом является столь значительной, что существенно ограничивает их применение. Напротив, предлагаемая нейросетевая модель лишена указанных ограничений. Тем не менее, следует иметь в виду, что предлагаемая математическая модель индивидуализирована применительно к конкретному экземпляру ДГУ, что предполагает ведение истории его жизненного цикла в рамках стратегии эксплуатации по техническому состоянию.

**Выводы.** Предложен и обоснован на основе экспериментальных данных подход к построению математической модели температурного режима судовых дизель-генераторных установок. Собраны и систематизированы статистические данные, характеризующие техническое состояние судовых дизель-генераторных установок в реальных условиях эксплуатации. Разработана регрессионная модель температурного режима судовой дизель-генераторной установки и осуществлена ее компьютерная реализация. Полученные результаты позволяют уменьшить уровень остаточных ошибок и, тем самым, повысить достоверность диагностических выводов автоматизированных систем контроля и диагностики. Перспективы дальнейших исследований состоят в построении многопараметрической математической модели технического состояния ДГУ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гвоздева И. М., Демиров В. В. Трендовый контроль в современных системах диагностики судовых энергетических установок. Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон, 2016. № 3. С. 191–194.

2. Головко С. В. Диагностика технического состояния судового электрооборудования на основе интеллектуального анализа данных. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия управление, вычислительная техника и информатика. Астрахань, 2009. № 2. С 90–95.

3. Надеев А. И., Буй Х. Н., Васильевич С. Ф. Диагностика технического состояния судовых дизелей на основе интеллектуального анализа данных. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. Астрахань, 2011. № 2.

4. Миська А. Р. Трендовый контроль режимных параметров дизель-генераторных установок. Авиационно-космическая техника и технология. Харьков, 2010. № 7. С. 154–157.

5. Кононова Е. А., Нечаус А. А., Серпутько А. П. Выбор обобщенного диагностического параметра для оценки технического состояния дизель-генератора. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків, 2010. № 3(25). С. 156–163.

6. Грицай Л. Л., Горбунов В. Ф., Калугин В. Н. Информационная ценность диагностических параметров судовых малооборотных дизелей. Судостроитель, 1973. № 8. С. 35–37.

7. Борисенко А. Н., Кубрик Б. И., Лавриненко О. В. и др. Обоснование и выбор информационных сигналов для систем управления и технической диагностики дизель генераторов. Вестник Национального технического университета "ХПИ". Автоматика и приборостроение. Харьков, 2011. № 57. С. 3–8.

8. Hvozdeva I., Myrhorod V., Derenh Y. The Metod of Trend Analysis of Parameters Time Series Gas-turbine Engine State : 9th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences State. AIP Conference Proceedings. Melville, New York, 2017, № 1895. P. 030002-1-030002-9

9. AutoChief C20: Instruction Manual Sulzer RT-Flex Engines Fixed Propeller installation, 2016. 127 p.

10. Говорущенко Н. Я. Диагностика технического состояния автомобилей : учебник. Москва : Транспорт, 1970. 256 с.

11. Надев А. И., Буй Х. Н., Свирепов Ф. В. Моделирование судового дизеля как объекта управления на базе нечеткой логики. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. Астрахань, 2012. №1.

12. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей : уч. пособие. / С. В. Епифанов и др. Киев : Техника, 1998. 312 с.

13. Миргород В. Ф., Ранченко Г. С. Особенности применения трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2005. № 4. С. 25–27.

14. Гвоздева І.М. Оцінка елементів простору діагностичних ознак технічного стану суднових дизель-генераторних агрегатів / І.М. Гвоздева, М.А. Якименко, В.В. Деміров, В.Ф. Миргород, Є. В. Деренг // Вісник Херсонського національного технічного університету . – Херсон. – 2019.– Вип. 2(69).– Частина 2. – С. 39-46.

УДК 621.33, 621.316.71

# ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ПРИ КОМПЕНСАЦІЇ АВАРІЙ В ВИСКОКОВОЛЬТНИХ КАСКАДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ

**А.О. Карпеленя**, магістрант,
**В.В. Бушер,** д.т.н., професор,
**В.М. Захарченко**, д.т.н., професор,
**О.В. Глазєва**, к.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Застосування високовольтних перетворювачів частоти є одними з найперспективніших напрямків в сучасних потужних електроприводах. Серед таких перетворювачів через підвищену надійність, збереження працездатності при пошкодженні одного або декількох силових модулів, можливість швидкого ремонту завдяки модульній конструкції найбільш поширеними стають багаторівневі каскадні інвертори з Н-мостами. В роботі проаналізовано метод балансування лінійт-*

ISSN 2706-7874 (print)

DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*них напруг і знайдено умови для найбільш ефективного використання просторово-векторної модуляції, яка забезпечує підвищення напруги першої гармоніки при обмеженій напрузі джерела живлення.*

***Ключові слова:*** *MATLAB Simulink SimPowerSystems, симуляція аварії, високовольтний перетворювач частоти, оптимальний коефіцієнт використання потужності.*

## OPTIMIZATION OF SPACE-VECTOR MODULATION METHOD AND COMPENSATION OF ACCIDENT IN A HIGH VOLTAGE CASCADE FREQUENCY CONVERTERS

**A. Karpelenia**, Master Student
**V. Busher**, Dr. of Science, Professor
**V. Zakharchenko,** Dr. of Science, Professor
**O. Glazeva,** PhD, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.*** *The use of high-voltage frequency converters is one of the most promising areas in modern high-power electric drives. Among such converters due to the increased reliability, preservation of working capacity at damage of one or several power modules, a possibility of fast repair thanks to a modular design the multilevel cascade inverters with H-bridges become the most widespread. The paper analyzes the method of balancing linear voltages and finds the conditions for the most efficient use of spatial-vector modulation, which provides an increase in the voltage of the first harmonic at a limited voltage of the power supply.*

***Key-words:*** *MATLAB Simulink SimPowerSystems, accident simulation, high voltage frequency converter, third harmonic, optimal coefficient.*

Високовольтні перетворювачі частоти стають все більш поширеними в різних областях техніки, де необхідні потужні електроприводи. Поряд з загальними позитивними якостями – плавне і економічне регулювання швидкості електричних машин змінного струму – їх впровадження забезпечує багаторазове зниження витрати електротехнічних матеріалів, перш за все міді, зменшення маси електроприводу і кабелів, що у сукупності забезпечує незаперечні переваги при проектуванні сучасних електромеханічних систем, до яких відносяться і транспортні системи, у тому числі високошвидкісні поїзда та судна. Саме тому одним з найважливіших завдань при проектуванні сучасного судна є забезпечення високої якості електроенергії на борту. Одним із засобів подачі на електропривод максимально наближеної до синусоїдальної напруги є застосування багаторівневих перетворювачів частоти.

Мета роботи полягає у розробці універсального методу корекції лінійних напруг при пошкодженні секції високовольтної багаторівневої каскадної системи з перетворювачем частоти для мінімізації ударних навантажень під час переходу від штатного до аварійного режиму роботи, а також покращення електромагнітної сумісності суднової високовольтної мережі з потужним асинхронним двигуном.

Для вирішення зазначеної мети в роботі пропонується метод корекції, який засновано на зміщенні нульової точки та повороту фазних напруг перетворювача частоти так, щоб забезпечити симетрію амплітуд та зберегти просторове положення лінійних напруг при пошкоджені секції в фазі. На цій підставі створено математичну модель системи «Перетворювач частоти – асинхронний двигун з вентиляторним навантаженням» в пакеті програм MATLAB

Simulink SimPowerSystems (рис. 1), а також проведено дослідження алгоритмів формування ШІМ на виході каскадного АІН. Для реалізації зазначеної мети виконана модель п’яти каскадного перетворювача з АД в аварійному режимі при відмові фазних секцій перетворювача.

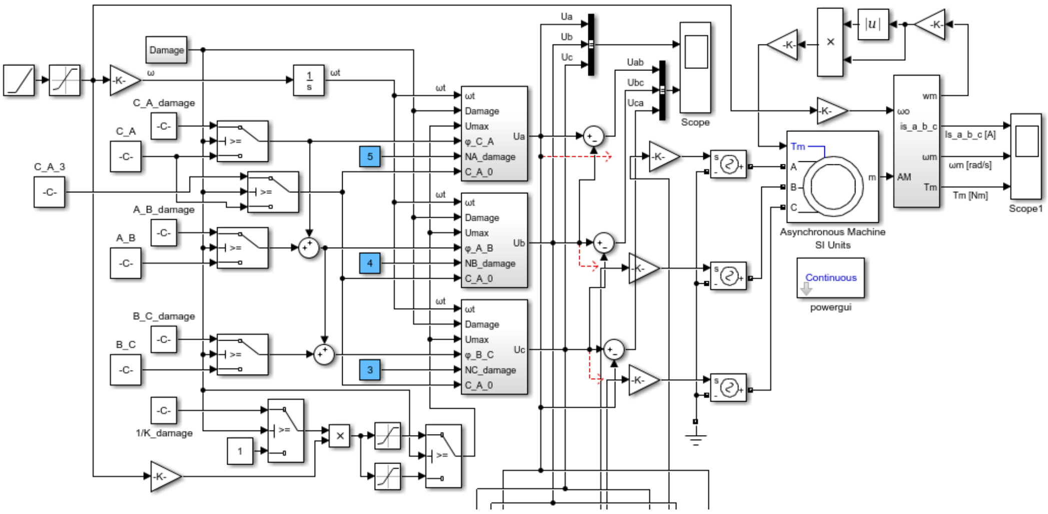


Рисунок 1– Модель електроприводу з системою корекції та імітацією аварії

В моделі використано метод просторово-векторної модуляції шляхом додавання к фазним напругам третьої гармоніки з амплітудою $\frac{f}{f_n}\cdot\frac{L}{6\sqrt{3}}$, де $L$ – величина лінійної напруги. В штатному режимі це забезпечує оптимальне використання потужності джерела живлення – при максимальній амплітуді сигналу 1 амплітуда 1-ї гармоніки на 16% більше з діючим значенням 0.866 замість 0.707 без 3-ї гармоніки. Вхід «C_A_0» представляє собою зсув фази третьої гармоніки. Під час аварії внаслідок повороту векторів фазної напруги 1-ї гармоніки з різними кутами (що забезпечує збереження просторового положення і симетрію трикутника лінійних напруг) 3-я гармоніка зміщується відносно перших в кожній фазі, що призводить до викривлення форми напруги і появі максимумів, які перевищують розрахункову номінальну напругу джерела живлення. Для отримання найменшого стрибку амплітуд напруги під час перехідного процесу проведено підбір оптимального кута зсуву, дані якого представлено у таблиці 1.

В аварійному режимі пошук кутів виконується рішенням системи рівнянь:

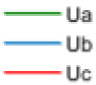
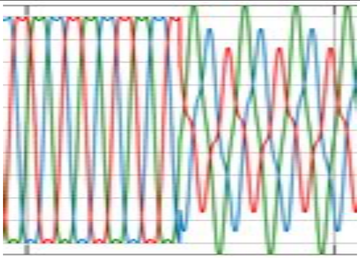
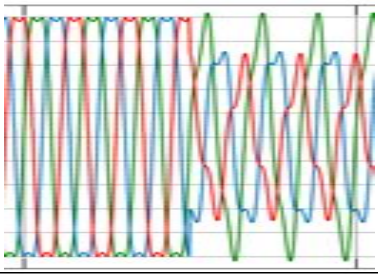
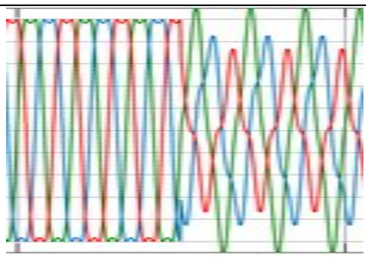
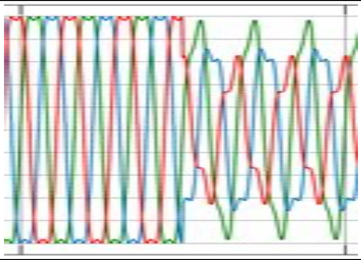
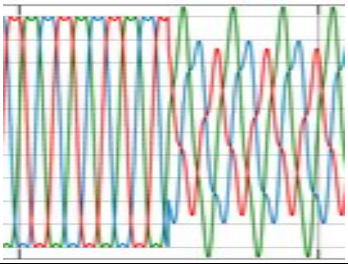
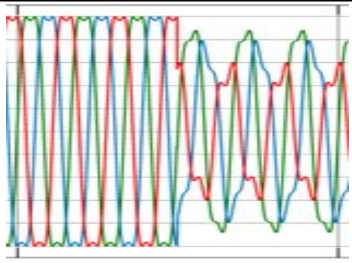
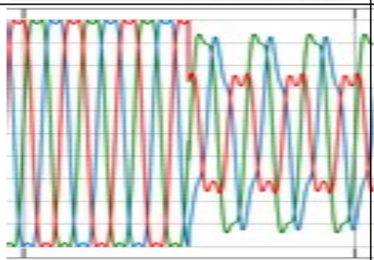
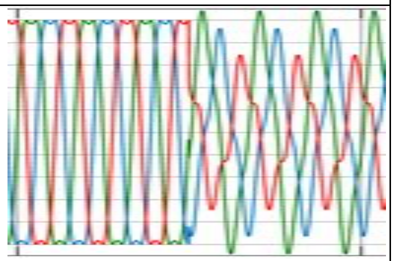
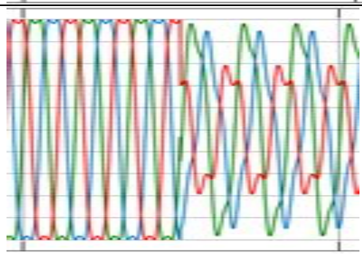
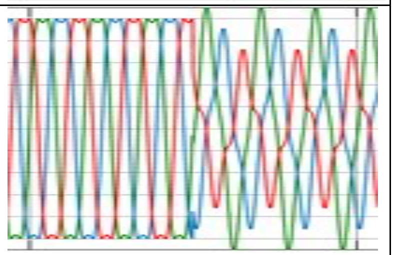
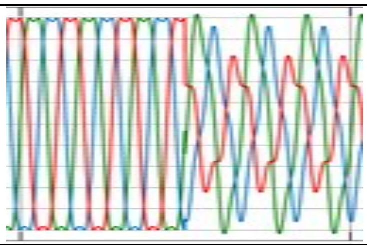
$$\begin{cases} N_A^2 + N_B^2 - 2N_A N_B \cos(\alpha) = L^2, \\ N_B^2 + N_C^2 - 2N_B N_C \cos(\beta) = L^2, \\ N_C^2 + N_A^2 - 2N_C N_A \cos(\gamma) = L^2, \\ \alpha + \beta + \gamma = 2\pi. \end{cases} \quad (1)$$

Рішення системи дозволяє знайти кути зсуву першої гармоніки для кожної фази та величину $L$ після аварії, а потім, з шагом 0.2, виконано перебір мо-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

жливих значень C_A_0. В табл. 1 надано результати розрахунку при пошкодженні одної секції в фазі B та двох секцій в фазі C для 5-рівневого інвертора.

Таблиця 1– Налаштування блоку аварії.

| Значення C_A_0 | Графіки напруги в фазах до і після аварії | Значення C_A_0 | Графіки напруги в фазах до і після аварії |
|---|---|---|---|
| 1.0943951024   |  | 1.6943951024 |  |
| 1.2943951024 |  | 1.8943951024 |  |
| 1.4943951024 |  | 2.0943951024 |  |
| 2.2943951024 |  | 2.8943951024 |  |
| 2.4943951024 |  | 3.0943951024 |  |
| 2.6943951024 |  | | |

Даний експеримент показує, що оптимальною є величина 2.0943951024 радіан, що в моделі відповідає початковому куту зсуву непошкодженої фази А. Як видно з графіків, підвищення або зниження цього куту збільшує амплітуду напруги, що потребує зменшення *L* так, щоб сума 1-ї та 3-ї гармонік не перевищувала 1 (порушення цієї умови призводить до появи коливань моменту з потрійною частотою). Відповідно, зменшується максимальний момент двигуна та жорсткість електромеханічної характеристики., але при цьому частота обертів двигуна та момент не змінюється. Тобто, пошук оптимального куту зсуву 3-ї гармоніки надає можливість найбільш ефективно використовувати потужність джерела живлення та двигуна. Тобто, просторово-векторна модуляція у штатному режимі підвищує напругу на 15%, але цей показник зменшується із-за викривлення форми напруги. Саме третя гармоніка порушує симетрію верхівок в усіх фазах в аварійному режимі.

Дослідження показали, що при використанні знайденої умови швидкість двигуна зменшується на найменшу з можливих величину (рис. 2).

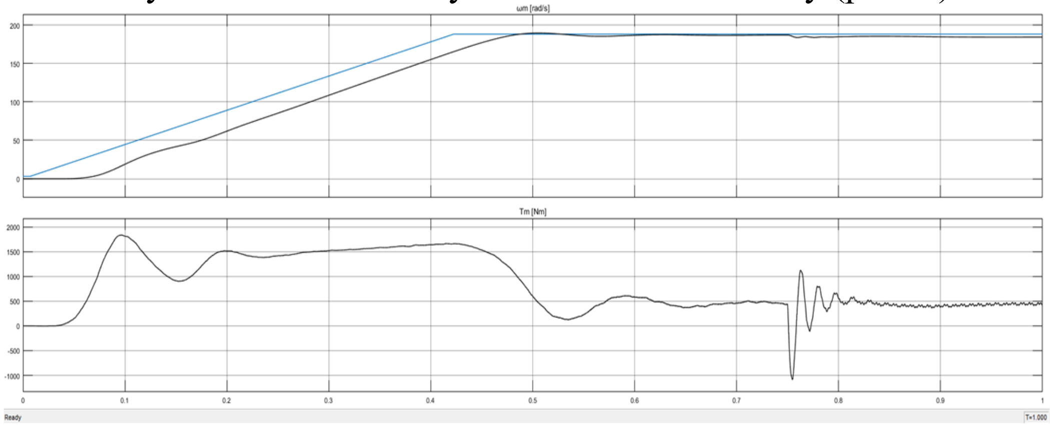


Рисунок 2 – Перехідні процеси двигуна під час аварії

**Висновки.** В роботі проаналізовано метод управління багаторівневого каскадного перетворювача частоти при пошкоджені однієї або декількох секцій в різних фазах. Підібраний оптимальний кут зсуву напруги третьої гармоніки відповідно до методу просторово-векторної модуляції, що підвищує ефективність використання джерела живлення, незважаючи на зміну форми фазної напруги. В роботі надано таблиці, графіки та моделі, що пояснюють принципи реалізації методу балансування напруги в аварійних ситуаціях.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Высоковольтный преобразователь частоты с многоуровневым формированием выходного напряжения В.И. Костенко, А.А. Шавёлкин, Д.Н. Мирошник Донецкий национальный технический университет, 2003, - 5 с.

2. Анализ энергооптимальных способов управления инверторами с ШИМ, Баховцев И.А., 2017, - 452 с.

3. Optimal control method of high-voltage frequency converters with damaged cells V.V. Busher, O.V. Glazeva, A.P. Cherny, 2020, – 3 с.

4. Glazeva O V 2018 The use of high-voltage frequency converters as a method of increasing the energy efficiency index at the marine industry Materials of the scientific-methodical conference “Ship engineering, electronics and automation” pp 70–78.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 629.534.1

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАННЯХ

**В.Г. Попов,** д.ф.-м.н, професор
**О. І. Кирилова**, к.ф.-м.н, доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

*Створена математична модель контактної взаємодії скінченного пружного циліндра, зчепленого з пружним півпростором. В циліндрі і півпросторі відбуваються крутильні коливання внаслідок дії на циліндр крутильного навантаження через зчеплену з ним жорстку накладку. Розв'язання вихідної крайової задачі приводить до сингулярного рівняння відносно функції, пов'язаної з напруженнями в зоні контакту. Для цього рівняння створено числовий метод, який враховує реальну особливість невідомої функції та базується на спеціальних квадратурних формулах для сингулярних інтегралів*
***Ключові слова***: *пружний циліндр, крутильні коливання, нерухомі особливості, сингулярні інтегральні рівняння*

# MATHEMATICAL SIMULATION OF CONTACT INTERACTION DURING TORSION OSCILLATIONS

**V. Popov**, Dr. of Science, Professor
**O. Kyrylova,** PhD, Associate Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

*A mathematical model of contact interaction of a finite elastic cylinder conjugated with an elastic half-space has been created. Torsional vibrations occur in the cylinder and half-space due to the torsional load acting on the cylinder from a rigid plate attached to it. Solving the original boundary value problem leads to a singular equation for the function associated with stresses in the contact zone. For this equation, a numerical method has been created that takes into account the real feature of the solution and is based on special quadrature formulas for singular integrals.*
***Key-words:*** *elastic cylinder, torsional oscillations, fixed singularities, singular integral equations*

Деталі сучасних енергетичних установок та електромеханічних систем досить часто містять з'єднання елементів, виготовлених з різних матеріалів. На міцність та працездатність таких деталей суттєво впливає розподіл напружень саме у місці з'єднання і контакту. Величини цих напружень можуть значно збільшуватись в умовах динамічного навантаження, зокрема, вібрації. Математичне моделювання контактної взаємодії в таких умовах вимагає розв'язання змішаних задач механіки деформівного твердого тіла.

Один з найбільш поширених на сьогодні методів розв'язання таких задач є зведення їх до розв'язування інтегральних рівнянь, частіше всього сингулярних. Отримати точний розв'язок для цих рівнянь вдається дуже рідко. Тому є актуальною проблема створення ефективних чисельних методів їх розв'язків.

Розглядається пружний ізотропний півпростір $0 \le r < +\infty,\ -\infty < z \le 0,\ 0 \le \varphi < 2\pi$, в якому знаходиться зчеплений з ним пружній циліндр $0 \le r < r_0,\ 0 \le z < a,\ 0 \le \varphi < 2\pi$. З верхньою основою циліндра зчеплена жорстка накладка товщини $d$ і того ж радіуса, що і циліндр (рис.1). На накладку діє гармонічний залежний від часу крутильний момент $Me^{-i\omega t}$ ( надалі множник $e^{-i\omega t}$ опущено). За таких умов в півпросторі та циліндрі реалізована вісесиметрична деформація кручення, за якої відмінним від нуля будуть лише кутові переміщення $w_j(r,z)$, $j=1,2$, що знаходяться з рівняння

$$\frac{\partial^2 w_j}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w_j}{\partial r}-\frac{w_j^2}{r^2}+\frac{\partial^2 w_j}{\partial z^2}=0,\ \kappa_{2j}^2=\frac{\rho_j^2\omega^2}{G_j^2},\ j=1,2 \tag{7}$$

де $w_1(r,z), w_2(r,z)$ – переміщення відповідно в циліндрі та в півпросторі, $\rho_j, G_j$ – густина та модуль зсуву циліндра $(j=1)$ та півпростору $(j=2)$.

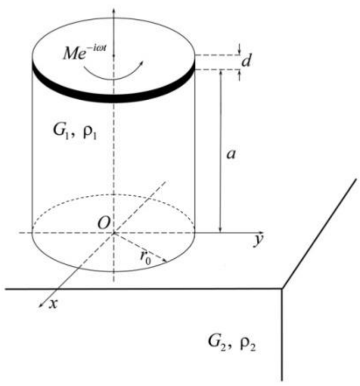



Рисунок 1 – Циліндр з жорсткою накладкою, зчеплений с півпростором

В області контакту циліндра та півпростора виконуються умови:

$$\begin{aligned}\tau_{\varphi z}^1(r,+0)&=G_1\frac{\partial w_1}{\partial z}(r,+0)=q(r),\ 0\le r<r_0\\ \tau_{\varphi z}^2(r,-0)&=G_2\frac{\partial w_2}{\partial z}(r,-0)=q(r)\end{aligned} \tag{8}$$

В (8) $q(r)$ – невідомі дотичні напруження в області контакту. Також

$$w_1(r,+0)=w_2(r,-0),\ 0\le r<r_0. \tag{9}$$

З умов зчеплення з накладкою буде виконуватись рівність

$$w_1(r,a)=\theta_0 r,\ 0\le r\le r_0 \tag{10}$$

В (10) $\theta_0$ – невідомий кут повороту накладки, що визначається з рівнянь її коливань:

$$-\omega^2 j_0\theta_0=M-M_R \tag{11}$$

$$j_0=\frac{\pi}{2}r_0^4 d\rho_0,\ M_R=2\pi\int_0^{r_0} r^2\tau_{\varphi z}^1(r,a)dr,$$

$j_0$ – момент інерції накладки відносно $Oz$, $M_R$ – момент реакції сил, діючих на накладку, $\rho_0$ – густина накладки,. $\tau_{\varphi z}^1(r,a)$ – дотичні напруження під накладкою.

Бічна поверхня циліндра та поверхня півпростору поза зоною контакту вважаються ненавантаженими:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$\tau^1_{r\varphi}(r_0,z)=G_1 r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{w_1}{r}\right)\Bigg|_{r=r_0}=0,\ 0<z<a \tag{12}$$

$$\tau^2_{z\varphi}(r,-0)=0,\ r>r_0. \tag{13}$$

Для розв'язання крайової задачі (7),(8), (10),(12), як і в [1], [2], застосовано метод інтегральних перетворень. Таким чином, через інтеграли, що містять невідомі напруження $q(r)$ в зоні контакту, подаються кутові переміщення $w_j(r,z),\ j=1,2$ [2]. З метою визначення цих напружень з (9) отримано інтегральне рівняння

$$\int_0^{r_0}\eta\frac{q(\eta)}{G}\left[D_1(\eta,r)+D_2(\eta,r)\right]d\eta=\frac{\theta_0 r}{\cos\kappa_{21}a} \tag{14}$$

Вигляд ядер цього рівняння можна знайти в [2].
Далі (14) перетворено на інтегральне рівняння другого роду відносно нової невідомої функції [2]:

$$\varphi(x)=\int_x^{r_0}\eta\frac{q(\eta)}{\sqrt{\eta^2-x^2}}d\eta,\ q(\eta)=-\frac{2}{\pi}\frac{\partial}{\partial\eta}\int_\eta^{r_0}\frac{\varphi(x)dx}{\sqrt{x^2-\eta^2}}$$

Після перетворень [2] та виділення сингулярної частини рівняння набуде вигляду

$$(1+c)g(\zeta)+\frac{1}{\pi}\int_{-1}^{1}g(\tau)\left[\frac{1}{2-\tau-\zeta}+\frac{1}{2+\tau+\zeta}-\frac{15}{4}\ln(2+\tau+\zeta)-\frac{\pi}{4}\ln(2+\tau+\zeta)+R(\tau,\zeta)\right]d\tau=\frac{2\theta_0\zeta}{\cos(\gamma\kappa_0)}, \tag{15}$$

$$R(\tau,\zeta)=Q_1(\tau-\zeta)+cQ_2(\tau-\zeta)+Q_3(\tau,\zeta),\ -1<\zeta<1.$$

В (15) сингулярна складова має нерухому особливість при $\tau=\zeta=\pm1$. Отже, слід визначити особливість $g(\tau)$ при $\tau\to\pm1$. Припускається степенева особливість, яка має забезпечити інтегрованість контактних напружень. Тому вигляд розв'язку (15) буде наступним:

$$g(\tau)=\left(1-\tau^2\right)^{\sigma}\psi(\tau),$$

де $\psi(\tau)-$ функція, що задовольняє умовам Гьольдера на $[-1,1]$. Показник особливості визначено шляхом порівняння асимптотик лівої та правої частин [2] та дорівнює

$$\sigma=\frac{1}{\pi}\arcsin\frac{1}{c+1}.$$

Для сингулярних інтегралів квадратурні формули базуються на наближенні функцій $\psi(\tau)$ інтерполяційними многочленами з коренями многочленів Якобі $P_n^{\sigma,\sigma}(\tau)$ в ролі точок інтерполяції. В (15) сингулярні інтеграли обчислюються за допомогою спеціальних квадратурних формул, аналогічних до [3], регулярні–за формулами Гауса-Якобі, де точками колокації є $\zeta_k=\tau_k,\ k=1,2,\ldots,n$. В результаті отримуємо систему алгебраїчних рівнянь відносно значень невідомої функції у вузлах інтерполяції. До системи також додається рівняння (11), що визначає амплітуду кута повороту накладки.

Як приклад реалізації числового метода розв'язку рівняння (15), розглянуто алюмінієвий циліндр $\left(G_1 = 2,6 \cdot 10^{10}\, n/m^2, \rho_1 = 2,7 \cdot 10^3\, kg/m^3\right)$ з радіусом $r_0 = 0,2m$ зі сталевою накладкою$\left(\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3\, kg/m^3\right)$ товщиною $d = 0,02m$, до якої прикладався крутний момент з амплітудою $M = 1000 n \cdot m$. Матеріал півпростору – чавун $\left(G_2 = 4,4 \cdot 10^{10}\, n/m^2, \rho_2 = 7,2 \cdot 10^3\, kg/m^3\right)$. Розраховувались безрозмірні напруження $S(\zeta) = q(r_0\zeta)/G_1$ в області контакту циліндру і півпростору. Обчислення здійснювались при значенні безрозмірного хвильового числа $\kappa_0 = \kappa_2 r_0 = \omega r_0 \sqrt{\rho_1/G_1} = 4$. Вони наведені у вигляді графіків на Рис.2, де кожна крива відповідає вказаному числу точок інтерполяції при наближенні функції $\psi(\tau)$.

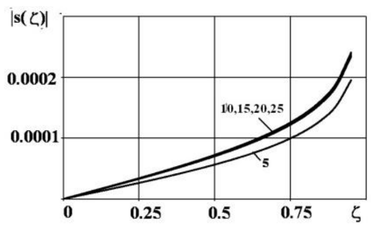



Рисунок 2

Встановлено, що для отримання результатів з відносною похибкою меншою $0,1\%$ достатньо використання 10-15 точок інтерполяції. Така практична збіжність і стійкість числових результатів зберігається для всього розглянутого частотного діапазону $0 \le \kappa_0 \le 10$.

**Висновки.** Врахування реальної особливості розв'язку дозволило створити і застосувати для сингулярних інтегралів спеціальні квадратурні формули та розробити числовий метод розв'язання сингулярного інтегрального рівняння з двома нерухомими особливостями, який має швидку практичну збіжність. Цей метод є підґрунтям для математичного моделювання динамічної контактної взаємодії пружних тіл в умовах крутильних коливань. Така математична модель дозволяє досліджувати вплив на величину контактних напружень фізичних властивостей та геометричних розмірів контактних тіл.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Попов В. Г. Напряжённое состояние конечного упругого цилиндра с краевой трещиной при крутильных колебаниях / В. Г. Попов // Прикладная механика. – 2012. – Т. 48, № 4. – С. 86–93.

2. Попов В. Г. Крутильні коливання пружного циліндра, зчепленого із пружним півпростором / В. Г. Попов // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки. - 2015. – Спецвипуск – С. 207-212.

3. Попов В. Г. Динамическая контактная задача, приводящая к сингулярному інтегральному уравнению с двумя неподвижными особенностями / В. Г. Попов // Прикладная математика и механика. – 2012. – Т. 76, № 3. – С. 484–496.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 629. 536.24

# ФУНДАМЕНТАЛЬНІ РОЗВ'ЯЗКИ ДЛЯ КУСКОВО-ОДНОРІДНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО ПРОСТОРУ

**О. Ф. Кривий**, доктор фіз.-мат. наук, професор
Національний університет «Одеська морська академія»
**Ю. О. Морозов**, кандидат фіз.-мат. наук, доцент
Одеський національний політехнічний університет

***Анотація:*** *Отримано в явному вигляді вирази для компонент вектору фундаментального розв'язку, а також прості подання для компонент тензору напружені і вектору переміщень в площині з'єднання трансверсально-ізотропних півпросторів, які знаходяться під дією зосереджених нормальних і дотичних сил. Досліджено поля напружень і переміщень в площині з'єднання півпросторів, для деяких комбінацій матеріалів наведені числові значення коефіцієнтів впливу зосереджених сил на напруження і переміщення. Встановлено при яких умовах, в площині з'єднання трансверсально-ізотропних просторів, відсутні нормальні переміщення.*
***Ключові слова****: фундаментальні розв'язки, матрична задача Рімана, трансверсально-ізотропний неоднорідний простір, узагальнені функції.*

# FUNDAMENTAL SOLUTIONS FOR A PIECE-HOMOGENEOUS TRANSVERSAL-ISOTROPIC SPACE

**O. Kryvyi,** Dr. of Science, Professor
National University «Odesa Maritime Academy»
**Yu. Morozov,** Candidate of Science, Associate professor
Odesa National Polytechnic University

***Abstract:*** *Explicit expressions for the components of the fundamental solution vector are obtained, as well as simple representations for the components of the stress tensor and the displacement vector in the connection plane of transversely isotropic half-spaces, which are under the action of concentrated normal and tangential forces. The fields of stresses and displacements in the plane of the half-spaces compound are investigated. In particular, for some combinations of materials, numerical values of the coefficients of the influence of concentrated forces on stresses and displacements are given. Also, the conditions are established under which there are no normal displacements in the plane of connection of transversely isotropic spaces.*
***Key-words:*** *fundamental solutions, matrix Riemann problem, transversely isotropic inhomogeneous space, generalized functions.*

Дослідження концентрації напружень в околі міжфазних та внутрішніх дефектах типу тріщин або включень в термопружних полях для різних середовищ має важливе практичне значення. При математичній постановці і розв'язанні вказаних задач про дефекти необхідно задати граничні умови на самому дефекті, як то напруження на берегах тріщини або переміщення на включенні. Оскільки при фізичній постановці задач по визначенню полів напружень і переміщень в околі концентраторів напружень відомі напруження або переміщення на границі області, в деяких внутрішніх точках, або на нескінченності (для необмежених тіл), то визначення граничних умов на дефекті є окремою проблемою. В рамках лінійної теорії пружності, для розв'язання вказаної проблеми потрібно знати розподіл поля напружень і переміщень у відповідних кусково-однорідних тілах без дефектів за наявності об'ємних сил. В даній роботі, узагальнено запропонований в [1-9] підхід, для побудови в явному аналітичному вигляді фундаментальних розв'язків для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного простору, що дозволило дослідити вплив об'ємних на напруження і переміщення в площині з'єднання матеріалів.

**Постановка задачі**. Нехай в неоднорідному просторі, складеному із двох різних трансверсально-ізотопних півпросторів, повністю зчеплених в площині $z=0$, діють об'ємні сили $\mathbf{P}(x,y,z)=(P_1,P_2,P_3)$, Пружно-деформований стан простору описується вектором

$$\mathbf{v}=\{v_k(x,y,z)\}_{k=\overline{1,9}}=\{\sigma_x,\sigma_y,\sigma_z,\tau_{yz},\tau_{xz},\tau_{xy},u,v,w\} \tag{1}$$

Виходячи із рівнянь рівноваги і узагальненого закону Гука, відносно компонент вектору $\mathbf{v}$, в просторі узагальнених функцій повільного зростання $\Im'(\mathbb{R}^3)$ запишемо наступну краєву задачу

$$\mathbf{D}[z,\partial_1,\partial_2,\partial_3]\mathbf{v}=\mathbf{F},\quad \mathbf{v},\mathbf{F}\in\Im'(\mathbb{R}^3); \tag{2}$$

$$v_k(x,y,+0)=v_k(x,y,-0), k=\overline{1,9}, k\neq 1,2,6;\quad v_k(x,y,x)\big|_{(x,y,z)\to\infty}=0,\ (k=\overline{1,9}). \tag{3}$$

Тут введені позначення

$$\mathbf{D}=\begin{Vmatrix}\mathbf{D}_0 & \mathbf{O}_{3\times3}\\ -\mathbf{S} & \mathbf{D}_0^T\end{Vmatrix},\ \mathbf{F}^T=\|-P_1,-P_2,-P_3,0,0,0,0,0,0\|\cdot\delta(\Omega),\ \mathbf{S}=\begin{Vmatrix}\mathbf{S}_1 & \mathbf{O}_{3\times3}\\ \mathbf{O}_{3\times3} & \mathbf{S}_2\end{Vmatrix},$$

$$\mathbf{D}_0=\begin{Vmatrix}\partial_1 & 0 & 0 & 0 & \partial_3 & \partial_2\\ 0 & \partial_2 & 0 & \partial_3 & 0 & \partial_1\\ 0 & 0 & \partial_3 & \partial_2 & \partial_1 & 0\end{Vmatrix},\ \mathbf{S}_1=\begin{Vmatrix}s_{11} & s_{12} & s_{13}\\ s_{21} & s_{11} & s_{13}\\ s_{13} & s_{13} & s_{33}\end{Vmatrix},\ \mathbf{S}_2=\begin{Vmatrix}s_{44} & 0 & 0\\ 0 & s_{44} & 0\\ 0 & 0 & s_{66}\end{Vmatrix},$$

$$\partial_1=\frac{\partial}{\partial x},\quad \partial_2=\frac{\partial}{\partial y},\quad \partial_3=\frac{\partial}{\partial z},\quad s_{kj}=\theta(z)s_{kj}^{+}+\theta(-z)s_{kj}^{-},$$

$\Omega-$ область зосередження об'ємних сил; $\delta(\Omega)$ характеристична функція області $\Omega$ із $\Im'(\mathbb{R}^3)$; $s_{kj}^{\pm}$ – коефіцієнти узагальненого закону Гука відповідно для верхнього $z>0$ і нижнього $z<0$ півпросторів; $\mathbf{O}_{3\times3}$ – нульова матриця розмірності $3\times3$.

**Побудова фундаментального розв'язку**. Компоненти вектору (1) подамо так

$$v_k(x,y,z)=\sum_{j=1}^{3}w_{kj}*F_j. \tag{4}$$

де функції $w_{kj}(x,y,z)\in\Im'(\mathbb{R}^3)$ є компоненти системи фундаментальних розв'язків: $\mathbf{w}_j=\{w_{kj}\}_{k=\overline{1,9}}$ $(j=1,2,3)$ задачі (2)-(4), тобто задовольняють системі наступних краєвих задач

$$\mathbf{D}[z,\partial_1,\partial_2,\partial_3]\mathbf{w}_j=\mathbf{f}^0,\quad \mathbf{w}_j,\mathbf{f}^0\in\Im'(\mathbb{R}^3); \tag{5}$$

$$w_{kj}(x,y,+0)=w_{kj}(x,y,-0), k=\overline{1,9}, k\neq 1,2,6; \tag{6}$$

$$w_{kj}(x,y,x)\big|_{(x,y,z)\to\infty}=0,\ (k=\overline{1,9}). \tag{7}$$

де $\mathbf{f}^0=\{\delta_{kj}\delta(x-x_0,y-y_0,z-z_0)\}_{k=1}^{9}$, $w_{kj}=\theta(z)w_{kj}+\theta(-z)w_{kj}=w_{kj}^{+}+w_{kj}^{-}$ $\delta_{kj}$ – символ Кронекера.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Застосовуючи методику робіт [1-9], отримаємо матричне рівняння яке є краєвою умовою матричної задачі Рімана по змінній $\alpha_3$.

$$\mathbf{M}_{\pm}\mathbf{W}_j^{\pm}=\mathbf{F}_j^{\pm},\quad \mathbf{W}_j^{\pm},\mathbf{F}_j^{\pm}\in\Im'(\mathbb{R}^3),\ j=1,2,3. \tag{8}$$

де $\mathbf{F}_j^{\pm}=\{f_{kj}^{\pm}\}_{k=\overline{1,9}},\ f_{kj}^{\pm}=\theta(\pm z_0)e_0^{\pm}\delta_{kj}\mp\frac{1}{2}\chi_k,\ \boldsymbol{\chi}=\{\chi_k\}_{k=1,9}\in\Im'(\mathbb{R}^2),\ \chi_k=0,\ k=4,5,9,$

$\chi_k(\alpha_1,\alpha_2)-$ невідомі функції із $\Im'(\mathbb{R}^2)$

Розв’язуючи це рівняння, та застосовуючи оберненого перетворення Фур’є, компоненти векторів $\mathbf{u}_j^{\pm}=\{u_{kj}^{\pm}\}_{k=1,2}=\mathrm{F}_3^{-1}[\mathbf{U}_j^{\pm}]$ і $\mathbf{v}_j^{\pm}=\{v_{kj}^{\pm}\}_{k=1,4}=\mathrm{F}_3^{-1}[\mathbf{V}_j^{\pm}]$ подамо так: (наприклад у випадку $j=3$)

$$v_{13}=-\sum_{n=1}^{2}\frac{|z-z_0|\widehat{R}_n}{(r_0^2+(\xi_n|z-z_0|)^2)^{3/2}}+\sum_{n,m=1}^{2}\frac{z\widehat{\beta}_{n,m}+z_0\breve{\beta}_{n,m}}{(r_0^2+(\widehat{\xi}_n z+\breve{\xi}_m z_0)^2)^{3/2}};$$

$$v_{k3}=-\sum_{n=1}^{2}\frac{R_{k,1,n}}{(r_0^2+(\xi_n|z-z_0|)^2)^{1/2}}+\sum_{n,m=1}^{2}\frac{\beta_{k,n,m}^1}{(r_0^2+(\widehat{\xi}_n z+\breve{\xi}_m z_0)^2)^{1/2}};k=2,4$$

$$v_{33}=\sum_{n=1}^{2}R_{3,1,n}(\ln\frac{c}{2}+\ln(|z-z_0|\xi_n^{+}+\sqrt{r_0^2+(\xi_n|z-z_0|)^2})))-$$
$$-\sum_{n,m=1}^{2}\beta_{3,n,m}^1(\ln\frac{c}{2}+\ln((\widehat{\xi}_n|z|+\breve{\xi}_m|z_0|)+\sqrt{r_0^2+(\widehat{\xi}_n z+\breve{\xi}_m z_0)^2}))$$

**Поля напружень і переміщень в площині з’єднання півпросторів**. Поклавши в фундаментальних розв’язках $z=0$, отримаємо розподіл нормальних і дотичних напружень і переміщень в площині з'єднання півпросторів в разі, коли в довільній точці діє зосереджена сила $\mathbf{P}=(P_1,P_2,P_3)$ в точці $M_0=(x_0,y_0,z_0)$.Зокрема у випадку зосередженої сил $P_3$, яка направлена паралельно осі $z$, маємо

$$\sigma_z=-P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{1,n}z_0}{(r_0^2+(\xi_n z_0)^2)^{3/2}},\ \tau_{xz}=P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{2,n}(x-x_0)}{(r_0^2+(\xi_n z_0)^2)^{3/2}},$$

$$\tau_{yz}=P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{2,n}(y-y_0)}{(r_0^2+(\xi_n z_0)^2)^{3/2}},\ u=P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{3,n}(x-x_0)}{\sqrt{r_0^2+(\xi_n z_0)^2}(\xi_n|z_0|+\sqrt{r_0^2+(\xi_n z_0)^2})}, \tag{9}$$
$$v=P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{3,n}(y-y_0)}{\sqrt{r_0^2+(\xi_n z_0)^2}(\xi_n|z_0|+\sqrt{r_0^2+(\xi_n z_0)^2})},\ w=-P_3\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{4,n}}{\sqrt{r_0^2+(\xi_n z_0)^2}}.$$

Якщо сила $P_3$ розташована на осі $z$, то подання (10) запишемо так

$$\sigma_z=-P_3\frac{A_{10}}{z_0^2},\ \tau_{xz}=P_3\frac{A_{20}x}{|z_0^3|},\ \tau_{yz}=P_3\frac{A_{20}y}{|z_0^3|}, \tag{10}$$

$$w=-P_3\frac{A_{40}}{|z_0|},\ u=P_3\frac{A_{30}x}{z_0^2},\ v=P_3\frac{A_3^0 y}{z_0^2}. \tag{11}$$

де

$$A_{k0}=\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{k,n}}{\xi_n^3},k=1,2;\quad A_{30}=\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{3,n}}{2\xi_n^2},\quad A_{40}=\sum_{n=1}^{2}\frac{A_{4,n}}{\xi_n}.$$

Нехай зосереджені сили $P_3^{\pm}$ заходяться в точках $z_0^{\pm}$ на осі $z$ відповідно в верхньому і нижньому півпросторах, тоді нормальні переміщення при $z=0$ подамо так $w = P_3^{+} A_{40}^{+} \left| z_0^{+} \right|^{-1} - P_3^{-} A_{40}^{-} \left| z_0^{+} \right|^{-1}$. Звідси визначаємо умову за якої нормальні переміщення дорівнюють нулю $w=0$:

$$\frac{P_3^{+}}{P_3^{-}} \frac{\left| z_0^{-} \right|}{\left| z_0^{+} \right|} = \frac{A_{40}^{-}}{A_{40}^{+}} = \kappa_0$$

**Висновки.** В роботі отримані в простому явному вигляді фундаментальні розв'язки для трансверсально-ізотопного кусково-однорідного простору, які дозволяють визначати умови на міжфазних дефектах за наявності об'ємного навантаження. Навантаження може бути як по об'єму так і по поверхням міри нуль в тривимірному просторі. Зокрема, отримано прості залежності напружень і переміщень в площині з'єднання півпросторів від значень зосереджених сил, що діють в довільних точках простору. Встановлено, що, на відміну від ізотропного кусково-однорідного простору, при симетричному нормальному навантаженні в площині з'єднання півпросторів має місце деформація. Встановлені умови (17), при виконанні яких вказана деформація відсутня.

Отримані результати мають як самостійне значення так і дозволяють уточнювати формулювання задач про міжфазні дефекти.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Kryvyy O. The Discontinuous Solution for the Piece-homogeneous Transversal Isotropic Medium / Operator Theory: Advances and Applications. 2009, **191**, 395-406 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-9921-4_25

2. Kryvyy O. F. Singular integral relations and equations for a piecewise homogeneous transversally Isotropic space with interphase defects/ Journal of Mathematical Sciences. - 2011. **176** (4), pp 515-531.

3. Kryvyy O.F. Interface circular inclusion under mixed conditions of interaction with a piecewise homogeneous transversally isotropic space / J Math Sci. 2012. **184**: 101-119. https://doi.org/10.1007/s10958-012-0856-6

3. Kryvyi, O. F. Interface crack in the inhomogeneous transversely isotropic space / Mater Sci. 2012. **47**(6): 726-736. https://doi.org/10.1007/s11003-012-9450-9

4. Kryvyi O. F. Delaminated Interface Inclusion in a Piecewise Homogeneous Transversely Isotropic Space. / Mater Sci. 2014, **50 (2)**: pp. 245-253. https://doi.org/10.1007/s11003-014-9714-7

5. Kryvyi O. F. The solution method of nonaxisymmetric problems of stress concentration for an inhomogeneous transversal isotropic space with interfacial cracks and inclusions / ICF 2017 - 14th International Conference on Fracture. 2017

6. Kryvyi O., Morozov Y. (2019) Interphase Circular Inclusion in a Piecewise-Homogeneous Transversely Isotropic Space Under the Action of a Heat Flux. In: Gdoutos E. (eds) Proceedings of the First International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2018. Structural Integrity, vol 5. Springer, Cham, pp 394-396, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-91989-8_94

7. Kryvyi O., Morozov Y. Heat-Active Circular Interphase Inclusion in the Conditions of Smooth Contact with Half-Spaces. / In: Gdoutos E. (eds) Proceedings of the Second International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. ICTAEM 2019. Structural Integrity, 2019. vol 8. Springer, Cham, pp 187-192. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-21894-2_36

8. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. Solution of the Problem of Heat Conduction for the Transversely Isotropic Piecewise-Homogeneous Space with Two Circular Inclusions/ J Math Sci. 2019. **243** (1). pp 1-21. https://doi.org/10.1007/s10958-019-04533-1

9. Kryvyi O. F., Morozov Yu. O. Thermally active interphase inclusion in a smooth contact conditions with transversely isotropic half-spaces/ Frattura ed Integrità Strutturale. 2020 14(52), pp. 33-50. doi: 10.3221/IGF-ESIS.52.04. https://www.fracturae.com/index.php/fis/article/view/2565

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 539.3

# МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ДЕФЕКТА У ВИГЛЯДІ N-ЛАНКОВОГО ВКЛЮЧЕННЯ ПРИ ДІЇ ХВИЛІ ПОЗДОВЖНЬОГО ЗСУВУ

**В. Г. Попов**, д.ф.-м.н., професор
**О.В. Литвин**, к.ф.-м.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація***: *Розв'язана задача визначення напруженого стану в околі тунельного жорсткого включення, що в перерізі представляє ламану. Це включення міститься у необмеженому пружному просторі, в якому поширюються плоскі гармонічні хвилі поздовжнього зсуву. Задача зведена до розв'язання системи сингулярних інтегральних рівнянь з нерухомими особливостями. Для наближеного розв'язання вказаної системи застосований числовий метод, який враховує справжню асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів.*

***Ключові слова***: *жорстке включення, гармонічні хвилі поздовжнього зсуву, сингулярні інтегральні рівняння, нерухомі особливості.*

# THE STRESS STATE SIMULATION IN THE VICINITY OF THE N SEGMENTS BROKEN LINE AS DEFECT UNDER HARMONIC WAVES OF THE LONGITUDINAL SHIFT

**V.G. Popov**, Dr. of Science (Phys.-Math.), Professor
**O. V. Lytvyn**, PhD of Science (Phys.-Math.), Docent
*National University «Odessa Maritime Academy»*

***Abstract:*** *The problem about the determination of stress state in the vicinity of the tunnel rigid inclusion of the shape of N segments broken line. The plane harmonic waves of the longitudinal shift is propagating in the unlimited medium with this inclusion. The problem is reduced to solving a system of singular integral equations with fixed singularities. For the approximate solution of this system a numerical method is applied. It takes into account the true asymptotics of unknown functions and uses special quadrature formulas for singular integrals.*

***Key-words***: *rigid inclusion, harmonic waves of the longitudinal shift, singular integral equations, fixed singularities.*

У необмеженому пружному середовищі, що знаходиться в умовах антиплоскої деформації, міститься тонке абсолютно-жорстке включення, яке в перерізі площиною $Oxy$ має вигляд ламаної з N ланок. В тілі поширюються гармонічні хвилі поздовжнього зсуву, що викликають наступні переміщення вздовж осі $Oz$

$$W_k^0(x;y) = Ae^{i\kappa_2(x\cos\theta_0 + y\sin\theta_0)},\ \kappa_2^2 = \frac{\rho\omega^2}{G},\ k = 1;\ldots;N,$$

де $G$, $\rho$ – модуль зсуву та густина середовища, $\omega$ – частота коливань, $\theta_0$ – кут між напрямком поширення хвилі та віссю $Ox$. Залежність від часу визначається множником $e^{-i\omega t}$, який тут і надалі відкинутий. За умов антиплоскої деформації єдина відмінна від 0 $z$-компонента вектора переміщень розсіяного хвильового поля $W(x;y)$ в системі координат $Oxy$ задовольняє рівняння Гельмгольца.

Для формулювання граничних умов на включенні з кожною його ланкою пов'язується локальна система координат $O_l x_l y_l$. За умов повного зчеплення на кожній ланці виконуються умови:

$$W_l^1\left(x_l,0\right)=c\,, \tag{1}$$

$$\tau_{zy_l}\left(x_l,+0\right)-\tau_{zy_l}\left(x_l,-0\right)=\chi_l\left(x_l\right),\quad -d_l<x_l<d_l,\,k=1;...;N\,, \tag{2}$$

де $\chi_l\left(x_l\right)$– невідомий стрибок дотичних напружень на $l$–ій ланці, $2d_l$– довжина $l$-ї ланки.

В рівність (1) входить $c$ – невідоме переміщення включення під дією зсувної сили. Воно визначається з рівняння руху включення, яке у випадку гармонічних коливань має вигляд

$$-\omega^2 c\sum_{l=1}^{N} m_l=\sum_{l=1}^{N}\int_{-d_l}^{d_l}\chi_l\left(\eta\right)d\eta\,, \tag{3}$$

$m_l$ – маса відповідної ланки включення.

Метод розв'язання полягає у поданні переміщень в тілі у вигляді суми розривних розв'язків рівняння Гельмгольца з стрибками (2), побудованими на кожній ланці включення. Відносно невідомих стрибків після реалізації умов (1) отримана система інтегральних рівнянь

$$\int_{-1}^{1}\left(-\frac{E}{\tau-\zeta}+Q\left(\tau,\zeta\right)+R\left(\tau,\zeta\right)\right)\Phi\left(\tau\right)d\tau=F\left(\zeta\right),\ -1<\zeta<1,$$

$$\int_{-1}^{1}\left(U\ln\left|\tau-1\right|+D\left(\tau\right)\right)\Phi\left(\tau\right)d\tau=F_0,, \tag{4}$$

В системі (4)

$$\Phi\left(\tau\right)=\begin{pmatrix}\varphi_1\left(\tau\right)\\ \varphi_2\left(\tau\right)\\ \dots\dots\\ \varphi_N\left(\tau\right)\end{pmatrix},\ \varphi_l\left(\tau\right)=\frac{\chi_l\left(d_l\tau\right)}{G},\ \ F\left(\zeta\right)=\begin{pmatrix}f_1\left(\zeta\right)\\ f_2\left(\zeta\right)\\ \dots\dots\\ f_N\left(\zeta\right)\end{pmatrix},\ F_0=\begin{pmatrix}f_{10}\\ f_{20}\\ \dots\\ f_{N0}\end{pmatrix},$$

$$f_l\left(\zeta\right)=-2\pi iA_0\kappa_0\cos\left(\beta_l-\theta_0\right)e^{i\kappa_0 r_{0l}\left(\zeta\right)},\ f_{l0}=c_0-A_0e^{i\kappa_0 r_{0l}\left(-1\right)},$$

$$r_{0l}\left(\zeta\right)=\varepsilon_l\cos\theta_0+\delta_l\sin\theta_0+\gamma_l\zeta\cos\left(\beta_l-\theta_0\right),\ R\left(\tau,\zeta\right)=\left\{R_{lk}\left(\tau,\zeta\right)\right\},\ D\left(\tau\right)=\left\{D_{lk}\left(\tau\right)\right\},$$

$$\eta=d_l\tau\,,\ x_l=d_l\zeta\,,\ \gamma_l=\frac{d_l}{d}\,,\ \varepsilon_l=\frac{a_l}{d}\,,\ \delta_l=\frac{b_l}{d}\,,\ d=\max\left(d_1;...;d_N\right),$$

$E$ – одинична матриця розміру $N\times N$, $U$ – діагональна матриця розміру $N\times N$ з елементами $\gamma_1,...,\gamma_N$ на головній діагоналі. Матриці $R\left(\tau,\zeta\right)$ та $D\left(\tau\right)$ складаються з функцій, які визначають регулярні інтеграли. Матриця $Q\left(\tau,\zeta\right)$ має вигляд

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$Q(\tau,\xi)=\begin{pmatrix} 0 & q_{12} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ q_{21} & 0 & q_{23} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_{32} & 0 & q_{34} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & q_{N-1N-2} & 0 & q_{N-1N} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & q_{NN-1} & 0 \end{pmatrix},$$

$$q_{ll\mp1}(\tau,\zeta)=\frac{\gamma_{l\mp1}\left(\gamma_l(\zeta\pm1)-\gamma_{l\mp1}(\tau\mp1)\cos\beta_{ll\mp1}\right)}{s_{ll\mp1}(\tau,\zeta)},$$

$$s_{ll\mp1}=\gamma_{l\mp1}^2(\tau\mp1)^2-2\gamma_l\gamma_{l\mp1}(\tau\mp1)(\zeta\pm1)\cos\beta_{ll\mp1}+\gamma_l^2(\zeta\pm1)^2. \qquad (5)$$

Формули (5) показують, що функції $q_{ll\mp1}(\tau,\zeta)$ мають особливості при $\tau=\pm1, \zeta=\mp1$. До системи (4) необхідно додати рівність (3) для визначення невідомої амплітуди

$$c_0=-\frac{1}{2l_0}\sum_{l=1}^{N}\gamma_l\int_{-1}^{1}\varphi_l(\tau)d\tau,\ c_0=\frac{c}{d},\ \bar{\rho}=\frac{\rho_1}{\rho},\ \varepsilon=\frac{h}{d}, \qquad (6)$$

де $\rho_1, h$ – густина та товщина матеріалу включення.

Тому одним з основних результатів є числовий метод розв’язання отриманої системи. Відповідно до запропонованого методу невідомі функції подаються у вигляді

$$\varphi_l(\tau)=(1-\tau)^{-\sigma_{l+1}}(1+\tau)^{-\sigma_l}\psi_l(\tau). \qquad (4)$$

$$\sigma_1=\sigma_{N+1}=\frac{1}{2},\ \sigma_l=\begin{cases}\dfrac{\alpha_{l-1}}{\alpha_{l-1}-\pi}, & -\pi\le\alpha_{l-1}<0\\ \dfrac{\alpha_{l-1}}{\alpha_{l-1}+\pi}, & 0\le\alpha_{l-1}<\pi\end{cases},\ \alpha_{l-1}=\beta_l-\beta_{l-1},\ 0\le\beta_l<\pi.$$

Тут показники особливості залежать від значення кутів між ланками включення. Далі здійснюється апроксимація функцій, яка ґрунтується на використанні спеціальних інтерполяційних многочленів. Це дає можливість отримати спеціальні формули для сингулярних інтегралів і застосувати до системи (3) метод колокації.

За характеристику напруженого стану поблизу включення прийнятий узагальнений коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН), який обчислюються за наступними формулами

$$K^-=G\sqrt{d_1}\frac{\psi_1(-1)}{2^{\sigma_2}},\ K^+=G\sqrt{d_N}\frac{\psi_N(1)}{2^{\sigma_N}}.$$

Для демонстрації запропонованого методу розв’язання задачі розглянуто абсолютно жорстке включення з трьох ланок однакової довжини $d$ (Рис. 1).

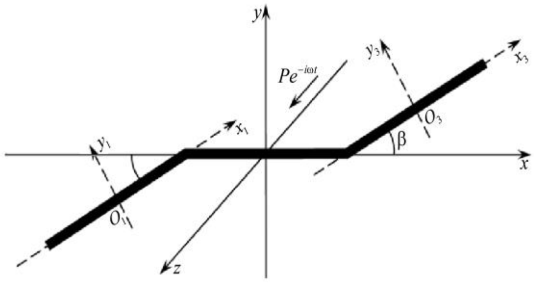



Рисунок 1

З'ясовано вплив на значення КІН і амплітуди коливання включення його форми, а саме значення кута $\beta$ між його ланками при $\theta_0 = 90^0$. На рис. 2 и 3 наведені графіки відповідно залежності КІН та амплітуди коливання включення від безрозмірної частоти $\kappa_0$ при $1 - \beta = 5^\circ$, $2 - 45^\circ$, $3 - 90^\circ$, $4 - 135^\circ$, $.5 - 175^\circ$

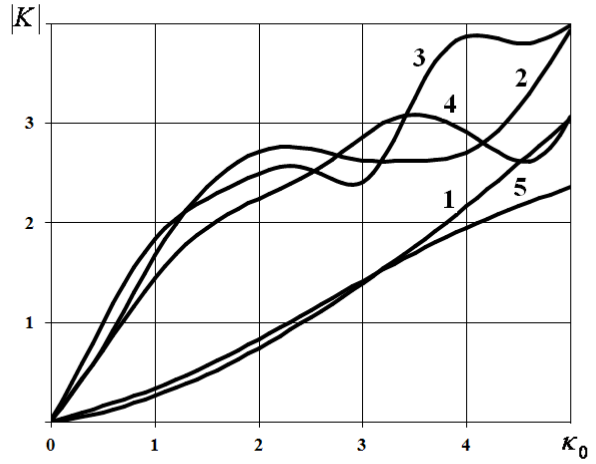



Рисунок 2

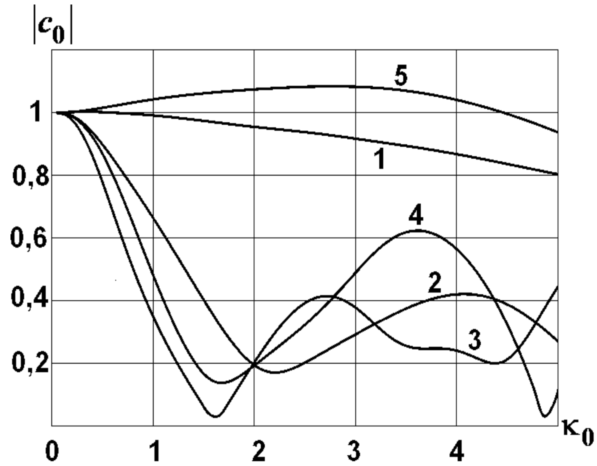



Рисунок 3

Аналіз графіків на рис. 2 вказує на те, що у випадку коли ланки включення розташовані практично на одній прямій, значення КІН зростають монотонно. З ростом кута між ланками включення залежність КІН від $\kappa_0$ ускладнюється, при цьому існують частоти, за яких КІН набувають максимальних значень Що стосується амплітуди коливання включення (Рис. 3), то її значення спадають з ростом хвильового числа при всіх значеннях кута між ланками включення. Найбільшого значення амплітуда набуває, коли ланки включення розташовані майже на одній прямій. З зростанням кута між ланками включення значення амплітуди зменшуються і мають залежність від $\kappa_0$, відмінну від монотонної.

**Висновки.** Отримані формули обчислення КІН, значення яких виражені через наближений розв'язок системи інтегральних рівнянь. Досліджено вплив на значення КІН та амплітуду коливання включення кута, утвореного ланками включення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням / Львів. Математичні методи та фізико-механічні поля. 2017. -60, №1. –С. 1-11.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

2. Литвин О.В., Попов В.Г. Напружений стан у пружному тілі з триланковим жорстким включенням при гармонічному хвильовому навантаженні // Збірник наук. праць «Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій» Дніпро: Ліра, 2018. -Вип. 28. С. 183-202.
3. Попов В.Г. Исследование полей напряжений и перемещений при дифракции упругих волн сдвига на тонком жестком отслоившемся включении / Попов В.Г.– Москва: Изв. РАН, Механика твердого тела, 1992. – №3. – С. 139–146.
4. Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги днформівних твердих тіл з тонким включенням / Сулим Г.Т – Львів – 2007. – 716 с.

УДК 539.3

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖНОГО СТАНУ В ОКОЛІ ЖОРСТКОГО ВКЛЮЧЕННЯ З ТРІЩИНОЮ НА ПРОДОВЖЕНІ ПРИ ЗСУВНОМУ ГАРМОНІЙНОМУ НАВАНТАЖЕНІ

**В. Г. Попов**, д-р фіз.-мат. наук, проф.
**А. С. Мішарін**
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *розв'язана задача визначення динамічних КІН для тріщини і включення, які виходять з однієї точки. Включення розташоване в необмеженому пружному тілі в умовах деформації поздовжнього зсуву, де виникають гармонічні коливання внаслідок дії сили зсуву, прикладеного до включення. Вихідна* задача приведена до розв’язання системи двох сингулярних інтегральних рівнянь з нерухомими особливостями. Для наближеного розв’язання цієї системи запропоновано числовий метод, який враховує справжню асимптотику невідомих функцій і використовує спеціальні квадратурні формули для сингулярних інтегралів.
***Ключові слова:*** *коефіцієнти інтенсивності напружень , сингулярні інтегро-диференціальні рівняння, гармонічні коливання, нерухома особливість, включення, тріщина.*

## MATHEMATICAL MODELING OF THE STRESS STATE IN THE VICINITY OF THE RIGID INCLUSION WITH A CRACK ON THE EXTENSION AT A SHEAR HARMONIOUS LOAD

**V. G. Popov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), prof.,
**A. S. Misharin**
National University "Odesa Maritime Academy"

***Abstract:*** the problem of determination the dynamic SIF is solved for crack and inclusion, which begin of one point. The inclusion is located in an unbounded elastic body, under the conditions of deformation of the longitudinal shear, where harmonic oscillations occur due to the shear force applied to the inclusion. The original problem is reduced to the system of two singular integro-differential equations with the fixed singularity. The numerical method of this system solving which considers real asymptotic unknown function and special quadrature formulas for singular integrals is proposed.
***Key-words:*** *stress intensity factors (SIF), singular integro-differential equations, harmonic oscillation, fixed singularity, inclusion, crack.*

У сфері будівельних технологій і машинобудуванні конструкції і деталі машин досить часто містять елементи або технологічні дефекти, які можна розглядати як тонкі включення великої жорсткості. Але як показують дослідження [1], тонкі жорсткі включення викликають значну концентрацію напружень в навколишньому середовищі, яка може привести до утворення тріщин, що розповсюджуються під деякими кутами, щодо площині включення. Дослідження коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) для тріщин на продовженні включення, які розташовані на одній лінії, в статичної постановці, вивчалися в роботах [2-4]. Аналогічна задача для півплощини з тріщиною на продовженні включення розв'язана в [5]. Задачі по визначенню динамічного напруженого стану біля дефектів, що представляють собою тонкі включення, від кінців якого під деякими кутами відходять тріщини, майже не розв'язувались. Це пов'язано зі труднощами, які виникають при розв'язанні інтегрально-диференціальних рівнянь з нерухомими особливостями. У роботах [6-8] розв'язані задачі визначення динамічного напруженого стану в околі V-подібних тріщин і включень, а також тріщин у вигляді ламаних. Там же запропонований чисельний метод розв'язання інтегральних та інтегро-диференціальних рівнянь з нерухомими особливостями. Цей метод враховує реальну асимптотику розв'язання в околі особливих точок і заснований на використанні для сингулярних інтегралів спеціальних квадратурних формул. У даній роботі подібний метод застосований при розв'язанні наступної задачі.

Розглядається пружне ізотропне середовище, яке знаходиться у стані антиплоскої деформації. У середовищі міститься наскрізний дефект у вигляді смугового включення від краю якого під деяким кутом відходить тріщина. У площині $Oxy$ включення і тріщина розташовані як показано на Рис.1.

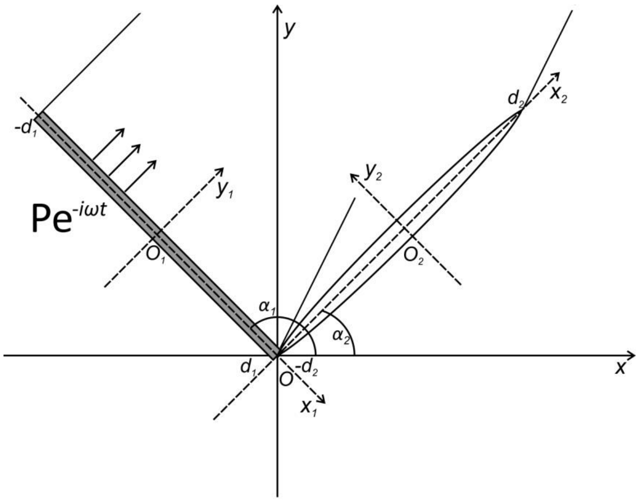



Рисунок 1 – Включення, від краю якого відходить тріщина.

В середовищі відбуваються коливання повздовжнього зсуву внаслідок дії на включення зсувної сили $P = P_0 e^{-i\omega t}$, спрямованої вздовж осі $Oz$, де $\omega$ - частота коливань. Множник $e^{-i\omega t}$, який визначає залежність від часу, далі скрізь опущений. За таких умов тіло знаходиться в умовах антиплоскої деформації і єдина відмінна від нуля $z$ - компонента вектора переміщень задовольняє рівнянню Гельмгольца:

$$\Delta w + \kappa_2^2 w = 0,\ \kappa_2^2 = \frac{\rho\omega^2}{G} \qquad (1)$$

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

де $\Delta$ - оператор Лапласа в системі координат $Oxy$. Для формулювання граничних умов на дефекті з включенням і тріщиною пов'язуються локальні системи координат (рис. 1). Граничні умови на тріщині сформульовані виходячи з того, що її поверхня вважається незавантаженою, а між включенням і оточуючим середовищем реалізовані умови ідеального зчеплення.

Задача визначення напружного стану в околі подібного дефекту при дії на нього хвилі повздовжнього зсуву розглядалась у [9].

Розв'язок задачі розшукується у вигляді суперпозиції розривних розв`язків рівняння Гельмгольца побудованих відповідно для тріщини і включення. Після цього, внаслідок реалізації граничних умов, отримаємо систему сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь відносно стрибків напружень і переміщень на дефектах:

$$\begin{cases} \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)\left[\frac{1}{\tau-\varsigma}+R_1(\tau,\varsigma)\right]d\tau-\frac{\sin\beta}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2'(\tau)g_2(1+\tau,1-\varsigma)d\tau- \\ -\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_2(\tau,\varsigma)d\tau=0, \\ \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2'(\tau)\left[\frac{1+\tau}{(\tau-\varsigma)(1+\varsigma)}+R_3(\tau,\varsigma)\right]d\tau+\frac{\kappa_0^2\gamma_2^2}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)[\ln|\tau-\varsigma|+ \\ +R_4(\tau,\varsigma)]d\tau-\frac{\sin\beta}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)[g_1(1-\tau,1+\varsigma)+R_5(\tau,\varsigma)]d\tau=0, \\ \frac{1}{2\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_1(\tau)[\ln|1+\tau|+R_6(\tau)]d\tau+\frac{\gamma_2^2\sin\beta}{\pi}\int\limits_{-1}^{1}\varphi_2(\tau)R_7(\tau)d\tau=-\frac{\pi\bar{\rho}P_1}{2\varepsilon\kappa_0^2\gamma_1^2}. \end{cases} \qquad (2)$$

$$g_l(x,y)=\frac{x}{\gamma_l^2y^2-2\gamma_l\,yx\cos\beta+x^2},\ \beta=|\alpha_1-\alpha_2|,\ P_1=\frac{P_0}{d_1}.$$

де $\varphi_1(\tau)$ і $\varphi_2(\tau)$ функції пов'язані з стрибками напружень і переміщень.

Як можна бачити сингулярна складова системи (2) містить нерухомі особливості при $\tau=\pm1, \zeta=\pm1$. Це визначає наступний вигляд для невідомих функцій

$$(\varphi_2(\tau))'=(1+\tau)^{-\delta}(1-\tau)^{-\frac{1}{2}}\psi_2(\tau),\ \varphi_1(\tau)=(1+\tau)^{-\frac{1}{2}}(1-\tau)^{-\delta}\psi_1(\tau),$$

де степеневий показник знаходяться за формулою

$$\delta=\frac{2\beta-3\pi}{2(\beta-2\pi)},\ \beta=|\alpha_1-\alpha_2|,\ 0\le\beta\le\pi.$$

Далі невідомі функції $\psi_l(\tau)$ наближаються інтерполяційними многочленами. Така апроксимація дає можливість отримати для сингулярних інтегралів спеціальні квадратурні формули і застосувати до (2) метод колокації.

**Висновки.** Розглянуто дефекти однакової довжини, що виходять з початку координат і розташовані симетрично щодо вісі $Oy$. Сила зсуву діє уздовж додатного напрямку вісі $Oz$. На Рис.2 показані залежності зміни безрозмірних

КІН від безрозмірного значення хвильового числа при дії силою зсуву. Кут між дефектами брався послідовно $\beta = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ і $175^\circ$, що відповідає кривим на рисунках під номерами 1, 2, 3, 4, 5. У всіх випадках показано існування безрозмірного хвильового числа $(1 < \kappa_0 < 2)$, при якому значення КІН для тріщини досягають максимуму. Для всіх кутів крім кутів близьких до $180^\circ$ спостерігається максимум значень КІН для включення при невеликих $(\kappa_0 \le 2)$ значеннях хвильового числа. Потім залежність від частоти приймає складний характер.

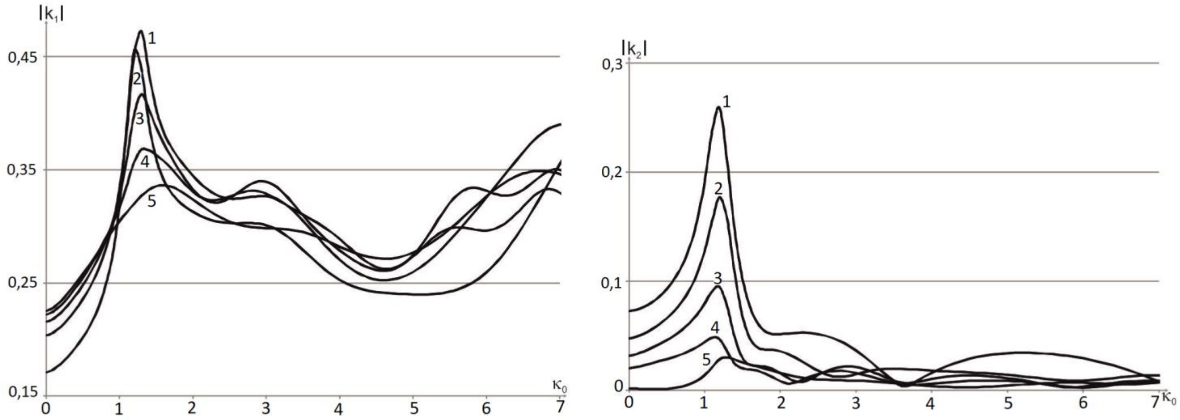



Рисунок 2 – Залежність КІН для включення $|k_1|$ і тріщини $|k_2|$ від хвильового числа $\kappa_0$ при різних значеннях кута між дефектами. Кривим під номерами 1, 2, 3, 4, 5 відповідають кути $\beta = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ і $175^\circ$.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Сулим Г. Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями / Сулим Г. Т. - Львів: Дослід.-видав. центр НТШ. - 2007. - 716 с.

2. Бережницкий Л.Т., Панасюк В.В., Стащук Н.Г. Взаимодействие жестких линейных включений и трещин в деформируемом теле. - Киев: Наук. Думка, 1983. - 288с.

3. Бережницкий Л.Т., Стащук Н.Г. Коэффициенты интенсивности напряжений около трещины на продолжении линейного жесткого включения// Докл. АН УССР. Сер. А. -1981.- №11. - С. 30-46.

4. Бережницкий Л.Т., Стащук Н.Г, Громяк Р.С. К определению критического размера макротрещины, возникающей на продолжении линейного жесткого включения // Пробл. Прочности.-1989. - № 2. С. 68-71.

5. Акопян В. Н. Напряженное состояние полуплоскости с выходящим на границу абсолютно жестким включением и трещиной / В. Н. Акопян, А. А. Амирджанян // Известия национальной академии наук Армении. Механика. - 2015. - Т. 68 - №1. - С. 25 - 36.

6. Попов.В.Г. Две трещины, выходящие из одной точки под воздействием волны продольного сдвига // Изв. РАН. МТТ. 2018. №2. С. 91-100.

7. Литвин О.В., Попов В.Г. Взаємодія гармонічної хвилі поздовжнього зсуву з v-подібним включенням. Математичні методи та фізико-механічні поля. Т. 60 - №1 - С. 96 - 106.

8. Popov V.G. A crack in the shape of a three-link broken line under the action of a longitudinal shear wave// Journal of Mathematical Sciences, vol. 222, No. 2, April, 2017, pp. 112-120.

9. Попов В.Г., Мішарін А.С. Моделювання і дослідження напруженого стану в околі тріщини на продовженні жорсткого включення в умовах вібрації. Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» – Одеса: НУ «ОМА», 2018, С. 113-116.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 621762.22+621.926.55

# ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО ПОДРІБНЮВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**Н.Д.Орлова,** к.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:****У статті досліджено процес руйнування рослинної сировини з позиції фрактальної геометрії як формування дрібно-розмірного шару;запропоновано формули щодо розрахунку питомої енергонасиченості та питомої поверхні дисперсної системи з використанням фрактальної геометрії.*
***Ключові слова:****подрібнювання рослинної сировини, питома енергонасиченість, питома поверхня, фрактальна розмірність.*

# FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS OF THE PROCESS OF VIBRATION GRINDING OF VEGETABLE RAW MATERIALS

**N.D. Orlova, Ph.D.,** Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** *The process of destruction of plant raw materials is considered from the position of fractal geometry as the formation of a fractional-dimensional layer. The article proposes formulas for calculating the specific energy saturation and specific surface area of a dispersed system using the concepts of fractal geometry.*
***Keywords:*** *crushing of plant raw materials, specific energy saturation, specific surface area, fractal dimension.*

Рослинна сировина відноситься до категорії важко подрібнюваних матеріалів з різною структурою оброблюваного матеріалу. Основними завданнями, що сприяють вирішенню деяких питань щодо подрібнювання рослинної сировини, є:

−дослідження механізму подрібнювання рослинної сировини і його особливості;

−дослідження параметрів вібраційних млинів, що впливають на ефективність обробки (матеріал виготовлення, розмір, набір і форма тіл, що мелють, зміна амплітудно-частотного режиму роботи вібраційного млина, кількість матеріалу, що завантажується).

Усі плоди розділимо умовно на дві групи:

− сухі плоди, що містять до моменту дозрівання 12-18% води;
− соковиті плоди, що містять до моменту дозрівання 80-90% води .

Для плодів, що містять до моменту обробки 80-90% води, вібраційне подрібнювання не застосовується.

У свою чергу,сухі плоди поділяються за своїми морфологічними і анатомічним особливостям будови [1] (зернівки злакових культур: жито, овес, ячмінь, рис, кукурудза, сорго та бобові культури). Типовим представником зернівок злакових культур є плід пшениці. Пшеничні висівки містять до 24% харчових волокон, оболонки гречки - 75%, плівки рису - 78%, оболонки гороху - 60%, оболонки вівса - 65%, оболонка сої - 50%, кукурудзяна мезга - 28%. Слід зазначити, що різну питому вагу мають навіть складові частини зернових культур.

Подрібнювання зернових матеріалів (типу пшениці) тільки ударним режимом неефективне, бо з самого початку роботи накопичуються висівки, швидкість подрібнювання яких істотно менше швидкості подрібнювання ядра.

Іншою специфічною проблемою подрібнювання рослинної сировини є присутність олії (наявність олії 10-15%), що відділяється після подрібнювання матеріалу. При обробці такого матеріалу утворюється плівка з олії, і розпочинається процес налипання тонких частинок продукту на робочу камеру і на робочі частини механізму подрібнювання.

При руйнуванні частинок з різними фізико-механічними і хімічними властивостями поряд з пружними деформаціями частки відчувають і пластичні деформації, на які витрачається велика частка енергії подрібнювання. Так, за даними [2], для руйнування оболонки зерна потрібно зусилля 32МПа $\pm$16МПа для різних типів зернівок. Залишкові пластичні деформації істотно змінюють фізико-хімічні властивості рослинного матеріалу, що небажано. Пояснення зміни фізико-хімічних властивостей, можливість передбачення подібних змін, а також складання теорії подрібнювання рослинної сировини пов'язано з дослідженням особливостей руйнування частинок, що мають різної межі міцності, а, отже, й ступеня їхнього пластичного деформування.

У вібраційних млинах [3,4] високий ступінь подрібнювання матеріалу досягається за рахунок ударного та перетертоговпливу на тіла, що підлягають мливу. Різні типи руйнування визначаються параметрами зміни амплітудно-частотного режиму, кількістю матеріалу, щозавантажують. Для здійснення процесу перетирання треба, щоб на поверхні шаручастинок, якіподрібнюють, виникли дотичні $(\tau)$ і нормальні $(\sigma)$ напруги великих граничних витривалих$(\tau \succ \tau_p)$ або міцності$(\sigma \succ \sigma_p)$. Як свідчать теоретичні дослідження [3], виконання умови можливо у разі, коли $\tau \approx (0{,}2-0{,}4)\tau_p$ .

В енергетичній моделі обробки рослинної сировини ефективність процесу, відповідно до [5], оцінюється питомою енергонасиченістю дисперсної системи, акумульованої за обсягом матеріалу, що подрібнюється, і виражена залежністю

$$E_{yd} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\eta\frac{\mathbf{1}}{V_K}\frac{dW}{dt}\frac{P}{\upsilon_m}$$

де $\eta$ –коефіцієнт поглинання енергії дисперсною системою в процесі подрібнення ($\eta < 1$); $V_K$ – обсяг матеріалу, що подрібнюється; $\upsilon_m$ – швидкість руху тіл, що мелють; $W$ – кінетична енергія тіл, що мелють; $P$ –характеризує властивості міцності матеріалу, що подрібнюється.

Відомо, що [4,6] тонко дисперсний матеріал агрегує, і частинки подрібненого матеріалу збираються в агрегати, які ведуть себе як єдине ціле (частка). При хімічному абосорбційному процесі внутрішня поверхня агрегатів бере участь уцьому процесі і часткою в цьому випадку є тільки частина твердого матеріалу, що обмежена рідкою або газоподібною фазою. Агрегована частка мо-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

же складатися з частинок різнорідних матеріалів, які розпадаються тільки при достатньому механічному або іншому типу впливу. Використовуючи поняття фрактал [7], можна побудувати більш реалістичні моделі пористих систем.

Для пористої частинки рослинного походження поняття обсягу трохи видозмінюється. Пориста частка, як агрегат непористих частинок, моделюється губкою Менгера [7,8,9]. Аналогічно [8] вважатимемо, що агрегована пориста частка є кубом з довжиною сторони , що дорівнює $X$, тоді обсяг губки Менгера набуває такого вигляду

$$V_j = X^3 \cdot 3^{n \cdot D_1}$$

де сторона $X$ вихідного куба поділяється на $k$ частин;

$m-$ число кубиків зі стороною ребра $\frac{X}{k}$, що вилучені з центру куба; $D_1 = \frac{\ln(k^3 - 3km^2 + 2m^3)}{\ln k}$ фрактальна розмірність узагальненої губки Менгера $2 \prec D_1 \prec 3$; $D_1 = \frac{\ln 20}{\ln 3} = 2,7268$.

В енергетичній моделі уточнена формула ефективності процессу $E_{yd}$ має вигляд:

$$E_{yd} = \frac{1}{2}\eta \frac{1}{X^3 \cdot 3^{n \cdot D_1}} \frac{dW}{dt} \frac{P}{\upsilon_m}$$

У ймовірнісній моделі [3,8] використовуються характеристики дисперсності рослинних матеріалів, які характеризують як окрему частку, так і весь ансамбль частинок. Частка та її розміри (лінійні) і форма (об'ємні характеристики) схарактеризовано питомою поверхнею $S_{\div}$ частинки або ансамблю частинок. Питома поверхня частинки є відношенням площі її повної поверхні або зовнішній поверхні (для агрегатів) до ваги, і може бути уточнена [8] з допомогою фрактальної геометрії

$$S(t) = \frac{3^{2n(D-1) - n \cdot D_1}}{\gamma(t) \cdot X \cdot \overline{X} \cdot t)}$$

де $X$ – довжина ребра кубічної частки;

$\gamma(t)$ – насипна вага;

$\overline{X}(t)$ – середній розмір частинок в одиниці ваги;

$n-$ кількість пір, $D \approx 1,26$.

**Висновки.** Отже, використання поняття фрактал дозволяє спрогнозувати більш реалістичні моделі пористих систем, найточніше визначати параметри оброблюваних рослинних матеріалів у різних математичних моделях. Отримані результати були використані при розробці технологій обробки рослинної сировини у вібраційних машинах, що призводить до активації подрібнювання чайного пилу та крихти [10], подрібнювання кісточок винограду, вишень, зерен натуральної кави для харчової промисловості, подрібнювання різних злаків для приготування кормів.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Вишняков А.Б. Комплексная переработка зародышей пшеницы/ А.Б. Вишняков, В.Н.Власов, А.С.Спесивцев, В.Н.Жалнин, Б.И.Пикус, Н.А.Привалов// Пищевая промышленность – 1996– вып.8– С.50-52.
2. Кислая Л.В. Теоретические основы диспергирования зерна на различных диспергаторах. / Л.В. Кислая // Материалы конференции Теория и практика процессов измельчения и разделения – Одесса 1993.ч.1 – С.117-127.
3. Овчинников П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников//− Киев: Наукова думка– 1983.– 271С.
4. Непомнящий Е.А. Закономерности тонкодисперсного измельчения, сопровождаемого агрегированием частиц./ Е.А.Непомнящий//Теоретические основы химической технологии.– 1978. т.12. №4 – С. 576-580.
5. Ошкордин О.В. Кинетика и динамика измельчения растительного сырья для производства пищевых продуктов / О.В. Ошкордин, Л.Ю. Лаврова,Г.А. Усов//Ползуновский Вестник.−Изд.: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (Барнаул). −2011. −№2/2. −С. 202-206. ISSN: 2072-8921.
6. Куликов В.Д.Физическая природа разрушения / В.Д.Куликов, Н. В. Меркалова , М.М. Закриничная // Под общей редакцией профессора Кузеева И.Р.–Уфа–1999.– 207С.
7. Мандельброт Б. Самоаффинные фрактальные множества // В книге "Фракталы в физике" – М.: Мир – 1988. – 672С
8. Orlova N. D. Refinement of the calculation of the parameters of the kinetics of grinding plant raw materials in a vibration mill (based on mathematical models)/ N. D. Orlova //Science and Education a New Dimension. Naturaland Technical Sciences Vl(29) –Budapest–2020 /9. – С.55-58.
9. Кулак М.И. Структурные аспекты фрактальной механики древесно-полимерных композитов / М.И. Кулак // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук− 1991.−N 2− С.18-22.
10. Орлова Н.Д. Активация чайной пыли и крошки для получения гранулированного чая / Н.Д. Орлова, Гаврильченко Х.И. ,Светельщук Н.В. // Тезисы Всесоюзной конференции по дезинтеграторной технологии–Киев–1991– С.34-36.

УДК 532.591

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КАРУСЕЛЬНОГО ТИПА

**П.И.Копейка**, канд. физ-мат. наук доцент
**Н.В.Слободенюк**, ст.викладач
**Е.Х.Чабан**, викладач
Институт ВМС Национального университета «Одесская морская академия»

***Анотація:*** *Выполнено математическое моделирование давления морских волн на желоба гидродинамического привода карусельного типа электростанции.*
***Ключові слова:*** *моделирование, волна, давление, гидродинамический привод, электростанция*

## MATHEMATICAL MODELING OF ELEMENTS WAVE POWER-STATION OF CAROUSEL TYPE

**P.Kopejka**, Ph.D.,associate professor
**N.Slobodenyk**, Senior Lecturer
**E.Chaban**, teacher

***Abstract:*** *The mathematical design of pressure of marine waves is executed on the chamfers of hydrodynamic drive of merry-go-round type of power-station.*
***Key-words:*** *design, wave, pressure, hydrodynamic drive, power-station*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Развитие мировой энергетики в последнее время все больше ориентируется на экологически чистых технологиях, основанных на возобновляемых источниках энергии, к которым относятся энергия ветра, солнечная энергия, энергия морских волн.

Нами разработан волновой гидродинамический привод карусельного типа, который приводится во вращение морскими волнами и посредством редуктора вращает в одном направлении вал генератора электрического тока (патент № 115685) [1]). Это устройство состоит из полупроницаемых желобов, закрепленных на карусели по радиусам. При набегании волны под действием силы тяжести и волнового давления на полупроницаемый желоб, образует вращающий момент одного направления.

Для того чтобы оценить силу, действующую со стороны волны на желоб карусели, первоначально рассмотрена плоская задача о силовом воздействии морской волны на наклонную плоскую поверхность, составляющую с осью ox угол $\beta$ (рис.1).

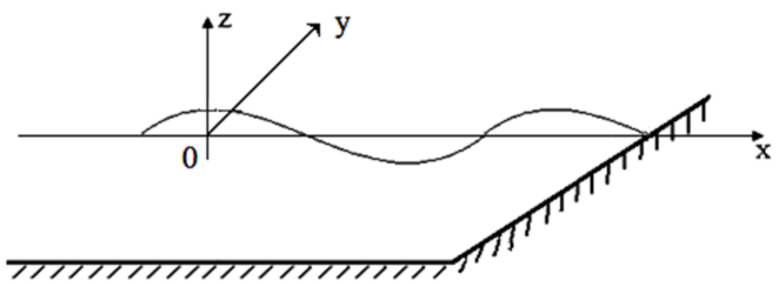



Рисунок 1 – Набегание морской волны на наклонную поверхность

Движение жидкости (уравнения Эйлера) описывается системой уравнений гидродинамики в форме Эйлера, выражающей законы сохранения массы и импульса [2]

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0\,, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x\frac{\partial v_x}{\partial x} + v_z\frac{\partial v_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}\,, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x\frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z\frac{\partial v_z}{\partial z} = -g - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}\,, \qquad (3)$$

где $v_x, v_z$ – проекции скорости на оси $x, z$, $p$ – давление, $g$ - ускорение свободного падения.

Уравнения (1) – (3) представляют замкнутую систему трех дифференциальных уравнений в частных производных относительно трех неизвестных функций $v_x, v_z, p$.

Так как движение неустановившееся, то должно быть известно начальное поле скоростей и давление

$$\upsilon_x = f_1(x,\, y,\, z), \quad \upsilon_z = f_2(x,\, y,\, z), \quad p = f_3(x,\, y,\, z) \quad \text{при } t = 0. \tag{4}$$

В идеальной жидкости в качестве граничного условия на твердой стенке принимаются условия непротекания. Сущность этого условия состоит в том, что нормальная составляющая скорости $v_n$ на твердой неподвижной поверхности $S$ отсутствует, т.е.

$$v_n = 0\,.$$

Показано, что волновые движения жидкости являются безвихревыми и следовательно потенциальными, т.е. существует такая скалярная функция $\varphi(x,z,t)$, что $v = grad\varphi$ или $v_x = \dfrac{\partial\varphi}{\partial x}$, $v_z = \dfrac{\partial\varphi}{\partial z}$.

Подставляя $v_x, v_z$ в уравнение (3), получаем для определения функции $\varphi$ уравнение

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0\,. \tag{5}$$

Для определения давления $p$ используется интеграл Лагранжа, который является следствием уравнений (1) – (3)

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{\rho}p + gz = D(t)\,. \tag{6}$$

На дне выполняются условия $v_z = \dfrac{\partial\varphi_1}{\partial z} = 0$ при $z = -H$.

На свободной поверхности нужно удовлетворить динамическое условие равенства гидродинамического $p$ и атмосферного $p_0$ давлений.

$$(p)\Big|_{z=\zeta} = p_0\,. \tag{7}$$

Кроме того, при $z = \zeta$ требуется выполнение кинематического условия, состоящего в том, что нормальные составляющие скоростей перемещения любой точки свободной поверхности и частицы жидкости, находящейся в этой же точке, должны совпадать.

Т.к. на свободной поверхности $(p)\Big|_{z=\zeta} = p_0$, то имеет место соотношение

$$\left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)_{z=\zeta} = \frac{\partial\zeta}{\partial t} + v_x\frac{\partial\zeta}{\partial x} \tag{8}$$

Трудность удовлетворения двух последних условий состоит прежде всего в том, что функция $\zeta(x,t)$, входящая в эти условия, неизвестна и должна быть определена в процессе решения задачи.

Рассмотрим задачу о волновом процессе в бассейне бесконечной глубины. Потенциал скорости будем искать в виде

$$\varphi = \Phi(z)\sin(kx - \sigma t)\,, \tag{9}$$

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Подставляя это выражение φ в уравнение (13), получаем

$$(\Phi'' - k^2\Phi)\cdot\sin\theta = 0\,, \qquad (10)$$

где $\theta = kx - \sigma t$.

Так как $\sin\theta$ не равен тождественно нулю, то для выполнения (10) необходимо обращение в нуль выражения в круглой скобке, т.е.

$$(\Phi'' - k^2\Phi) = 0 \qquad (-H \le z \le 0)\,.$$

Решение этого уравнения можно записать в виде

$$\Phi(z) = Ae^{kz} + Be^{-kz}\ , \qquad (11)$$

Рассмотрим бассейн бесконечной глубины. В этом случае $v_z = \dfrac{\partial\phi}{\partial z} \to 0$ при $z \to -\infty$, т.е. $\Phi' \to 0$ при $z \to -\infty$, тогда $B = 0$.

Таким образом, для потенциала скорости φ получаем выражение

$$\Phi = A\cdot e^{kz}\sin\theta, \quad \text{где} \quad \theta = kx - \sigma t\,, \qquad (12)$$

которое удовлетворяет соотношению на дне, но еще не удовлетворяет соотношению на свободной поверхности. Подставляя (12) в кинематическое условие на свободной поверхности получим

$$\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + g\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)_{z=0} = 0\,,$$

$$\left(gk - \sigma^2\right)\cdot A\sin\theta = 0\,.$$

т.е.

$$\sigma^2 = g\cdot k\,. \qquad (13)$$

Как видно, волновое движение с потенциалом скорости (12) возможно только при $\sigma$ и $k$, связанных соотношением (13) и произвольном значении $A$.

Используя (12), для профиля свободной поверхности получаем уравнение

$$\zeta = \frac{A\sigma}{g}\cos\theta\,,$$

где $A$ – амплитуда волн, $\theta$ – фаза волны, $k$ и $\sigma$ – волновое число и частота, связанные с длиной волны λ и периодом τ соотношениями

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}\,, \qquad \sigma = \frac{2\pi}{\tau}$$

Запишем выражения для составляющих скорости движения частиц жидкости в волновом процессе:

$$\upsilon_x = \frac{\partial\phi}{\partial x} = aKe^{kz}\cos\theta, \qquad \upsilon_z = \frac{\partial\phi}{\partial z} = aKe^{kz}\sin\theta$$

Распределение давлений в прогрессивной волне можно записать в виде

$$\text{p} = \text{p}_0 - \rho\cdot g\cdot z + \rho\cdot a\cdot g\cdot e^{kz}\cos\theta$$

Вычисленная выше частота колебаний жидкости и распределение давлений на гидродинамическом приводе карусельного типа определяют угловую скорость вращения генератора электрического тока.

Для определения изменения давления $\Delta p$ при гидравлическом ударе о полупроницаемый желоб карусельного типа воспользуемся законом изменения количества движения жидкости $\frac{\partial Q_{ж}}{\partial t} = F$. Применив его к элементарному объему, имеющему длину $dL$, в котором за промежуток времени $dt$ произошла остановка жидкости относительно короба. Здесь $Q_ж$ –вектор количества движения жидкости в рассматриваемой элементарной трубке тока.

$$dQ_{ж} = \rho S \cdot dL \cdot v_{ср}.$$

Тогда закон количества движения запишется в виде

$$\frac{dL \cdot \rho S v_{ср}}{dt} = \left( p - p - \Delta p \right) \cdot S$$

Учитывая, что $\frac{dL}{dt} = -C_{уд}$ представляет скорость распространения упругих возмущений в жидкости в направлении противоположном скорости основного течения, получим формулу для вычисления силы, действующей на единицу площади желоба карусельного привода

$$\Delta p = \rho \cdot C_{уд} \cdot \left( v_{ср} \right)_n,$$

где скорость распространения упругих возмущений в жидкости со свободной поверхностью можно определить по формуле

$$C_{уд} = \frac{3\lambda}{T},$$

где λ – длина волны, $T$– период колебаний.

Выполнено математическое моделирование давления морских волн на желобе гидродинамического привода карусельного типа электростанции. Получена формула для вычисления силы, действующей на единицу площади желоба карусельного привода

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Матеріали інформаційного сайту Відомості з Державного реєстру патентів України на винаходи: Патент на корисну модель №115685 - "Карусельно-турбінний пристрій з напівпроникливими лопатями хвильової енергетичної установки"
[Электронной ресурс]. – Режим доступа http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=210515&chapter=claim&sid=e17531db190d29f9580738097d8dd052
2. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский.- М. : Наука, 1970 – 630 с.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 629.5.064.5-83

# ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СУДНОВИХ МЕХАНІЗМІВ ТА СИСТЕМ

**Д. І. Василець**, асистент
**Г. В. Налева**, к.т.н., доцент
**О. А. Онищенко**, д.т.н., професор
Національний університет “Одеська морська академія”

***Анотація.*** *Метою статті є удосконалення математичної моделі вентильно-індукторного двигуна, на основі якої будуються імітаційні моделі автоматизованих електроприводів різноманітних перспективних суднових механізмів та систем. Використання удосконаленої математичної моделі дозволяє досліджувати поведінку системи управління судновими механізмами при змінах навантаження на валу двигуна, напруги живлення та інших параметрів, розраховувати динамічні, механічні та енергетичні характеристики електроприводу.*

***Ключові слова:*** *вентильно-індукторний двигун, електропривод, суднові механізми та системи, моделювання, система управління.*

# FEATURES OF FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR MODELING VALVE-INDUCTOR ELECTRIC DRIVES OF SHIP MECHANISMS AND SYSTEMS

**D. I. Vasilets**, Lecturer
**G. V. Naleva**, Ph.D., Docent
**O. A. Onishchenko**, Dr.Tech.Sc., Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract.*** *The aim of the article is to improve the mathematical model of the valve-inductor motor, on the basis of which simulation models of automated electric drives of various promising ship mechanisms and systems are built. The use of an advanced mathematical model allows to study the behavior of the control system of ship mechanisms when the load on the motor shaft, supply voltage and other parameters, to calculate the dynamic, mechanical and energy characteristics of the electric drive.*

***Keywords:*** *valve-inductor motor, electric drive, ship mechanisms and systems, modeling, control system.*

Для різноманітних систем автоматичного управління електроприводами сучасних суднових механізмів та систем вельми затребувані електроприводи відносно невисокої потужності. Загальні технічні вимоги до названих електроприводів – можливість живлення від джерела живлення змінного струму, регулювання частоти обертання у діапазоні $D = 3…20$, мінімальне число установчих електронних елементів та датчиків, досить висока жорсткість механічних характеристик, робота у вибухонебезпечних середовищах. У таких умовах використання машин постійного струму майже неможливо, а застосування серійних частотних перетворювачів з асинхронними двигунами економічно недоцільно. Альтернативним рішенням у таких випадках є вентильно-індукторні електроприводи (ВІП), у основі яких використовують вентильно-індукторні двигуни (ВІД), які характеризуються простотою, надійністю і низькою вартістю конструкції.

Однак для серійного виготовлення ВІП необхідна ретельна підготовка виробництва системи управління двигуном. При цьому необхідно забезпечення регулювання швидкості (бажано, на основі принципу мінімальної апаратної надмірності, та, відповідно, високої надійності) на низьких частотах обертання. Основні складності побудови таких систем управління пов'язані з різко нелінійними залежностями, що характеризують роботу ВІД (моменту, потокозчеплення, струму). Структурно ВІП містить мікропроцесорну систему управління, електронний інвертор (комутатор, перетворювач частоти) та електромеханічний перетворювач – вентильно-індукторну машину ІМ (рис.1).

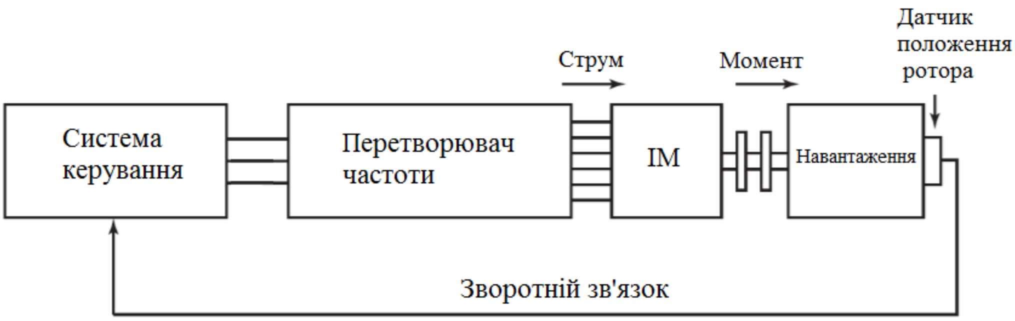



Рисунок 1 – Функціональна схема вентильно-індукторного електропривода

За допомогою електронного комутатора ВІД забезпечує перетворення електричної енергії в механічну. Система управління генерує сигнали управління перетворювачем, який формує імпульсну напругу на фазах ВІД у функції сигналів, що надходять від датчика кутового положення ротора (ДПР).

Конструктивно ВІД уявляє собою пакети листів магнітом'якого матеріалу: магнітопроводи статора і ротора із явно вираженими полюсами, а котушки обмотки якоря розташовуються на полюсах магнітопроводу статора, причому котушки протилежних полюсів з'єднані послідовно та утворюють фазні секції.

Число фаз визначає число силових ключів перетворювача та, відповідно, складність схеми управління. Залежно від технологічного призначення електродвигуна і пропонованих до нього вимог, задається різне число полюсів статора і ротора. Очевидна конструктивна простота є основною перевагою електромеханічного перетворювача на основі ВІД.

Оскільки однозначних рішень щодо створення конструкції ВІД немає, то виникає безліч проектних варіантів, які неможливо розв'язати без попереднього моделювання та розгляду альтернативних способів управління ВІД. При цьому потрібно дати оцінку якості процесів регулювання та рівням пульсацій моменту, вирішити задачі стійкості, вибору режимів комутації та визначення пікових навантажень на силові елементи, оптимізувати конструкцію датчиків швидкості і положення ротора. Якщо врахувати вплив струмів в обмотках ВІД на формування результуючого електромагнітного моменту, який нелінійно залежить від струму, то можна прийти до висновку, що моделювання процесів управління струмами фаз ВІД – основа для оптимізації параметрів всього електропривода суднового механізму.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Через обмежений досвід створення та експлуатації ВІП значна роль у отриманні основних попередніх уявлень про особливості їх роботи належить комп'ютерному моделюванню. При сучасному рівні розвитку інформаційних технологій налагоджена і верифікована комп'ютерна модель ВІП дозволяє досліджувати у різноманітних режимах не тільки динамічні властивості самого двигуна, а й усього електроприводу, причому з урахуванням особливостей способів управління і взаємного впливу всіх елементів механізму і системи.

У зв'язку із цим постає задача удосконалення математичної моделі ВІД, на основі якої будується імітаційна модель автоматизованого електроприводу. У основу математичного опису ВІД покладені рівняння електричної рівноваги фаз двигуна і електромагнітного моменту [1], рівняння руху електроприводу:

$$\begin{cases} \dfrac{d\psi_{\phi}}{dt} = U_{\phi} - i_{\phi} \cdot R_{\phi}, \\ \dfrac{d\omega_r}{dt} = \dfrac{1}{J}\left(M - M_c\right), \\ \dfrac{d\vartheta}{dt} = \omega_r \cdot \dfrac{180 \cdot N_s}{\pi}, \end{cases} \tag{1}$$

де $U_{\phi}$, $i_{\phi}$, $\psi_{\phi}$, $R_{\phi}$ – відповідно напруга на виході комутатора, струм, потокозчеплення і активний опір фази статора; $\omega_r$ – частота обертання ротора; $J$ – сумарний момент інерції двигуна і рухомих мас, приведених до ротора двигуна; $M$ – сумарний електромагнітний момент фаз статора; $M_c$ – момент опору навантаження; $\vartheta$ – кут повороту валу ротора, $N_s$ – число зубців статора.

Загальна математична модель (1) є базою для побудови деталізованої імітаційної моделі, призначеної для комп'ютерного дослідження електромагнітних процесів у ВІД і механізмі.

Розроблено алгоритм створення імітаційної моделі ВІП, якій відрізняється максимально можливим урахуванням не тільки властивостей ВІД, але й особливостей обраного середовища моделювання – *Matlab*. Розроблені моделі ВІП враховують нелінійності магнітної системи ВІД, особливості дискретної роботи його фаз, зміну власних електромагнітних параметрів та інші важливі для проектування властивостей ВІП. Створення таких моделей ВІП відбувається в кілька етапів.

Спочатку на основі заданої геометрії і обмотувальних даних ВІД розраховується його магнітна система. Розрахунок проводиться методом скінченних елементів для ряду кутових положень ротора щодо зубців статора [2]. У результаті розрахунку отримують тривимірні масиви значень кривих намагнічування фази двигуна і моментів в залежності від просторового положення ротора і амплітуди струму якоря.

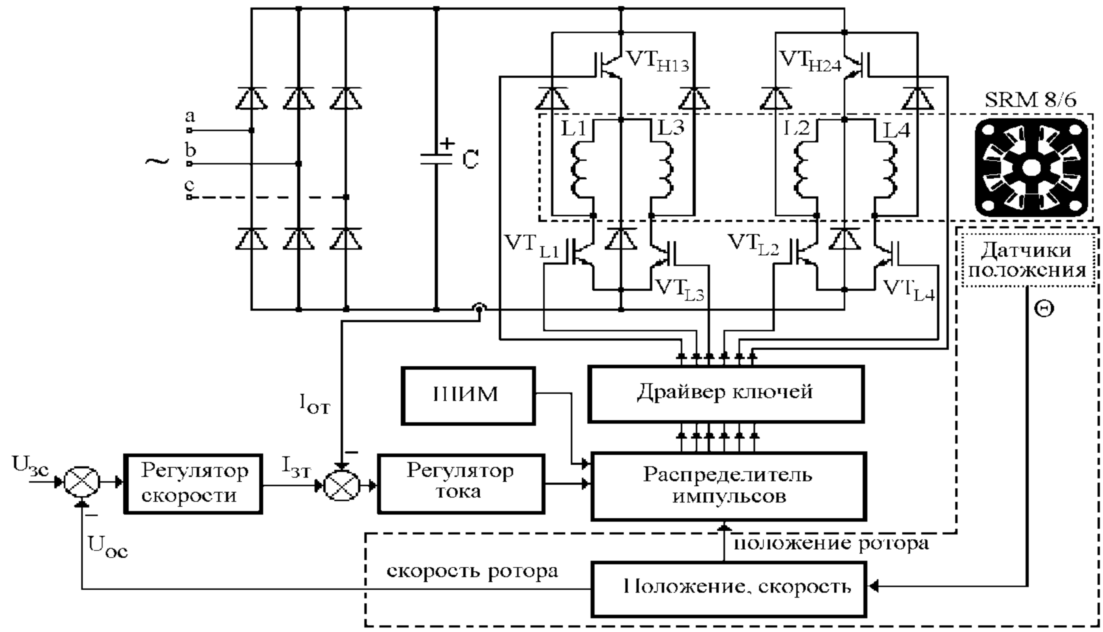



Рисунок 2 – Базова функціональна схема моделі і експериментального зразка ВІП

На другому етапі створюється функціональна нелінійна модель ВІП. У найбільш загальному вигляді така модель представлена на рис. 2. Вона містить субблок-модель ВІД, у яку включені результати розрахунків, отримані методами скінченних елементів, субблок-модель силового інвертора з ключами *VT* і діодами *VD*, субблок-модель системи управління з блоком логіки (розподілу імпульсів), субблоки моделей датчиків положення та швидкості ротора, регуляторів окремих координат, джерела живлення.

На третьому етапі проводиться налаштування субблоків датчиків і системи управління ВІП для номінальної частоти обертання валу двигуна, визначаються параметри регуляторів, коригуються кути включення і виключення фаз. На цьому етапі є широкі можливості для порівняння різних способів управління ключами та відповідної корекції, наприклад, амплітуди пульсацій моменту.

На четвертому етапі оцінюється робота ВІП при різних завданнях швидкості, досліджується поведінка системи при зміні навантаження на валу двигуна, при зміні напруги живлення та ін. Розраховуються динамічні, механічні та енергетичні характеристики електроприводу.

**Висновки**. Результати моделювання та експерименти показують, що ВІП відноситься до систем високої енергетичної ефективності і конструктивної надійності і тому вельми перспективно їх застосування для регулювання продуктивності різноманітних суднових механізмів та систем.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Александровский С. В. Математическое моделирование вентильно-индукторного привода / С. В. Александровский, Ю. Н. Петренко // Информационные технологии в промышленности: тез. докл. 5-й междунар. науч.-техн. конф. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – С. 93–94.

2. Карпович О. Я. Верификация математической модели вентильно-индукторного электродвигателя микрокомпрессора / О. Я. Карпович, О. А. Онищенко // Энергетика, энергосберегающие технологии и оборудование. – 2011, № 24. – С. 77–82.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 539.3

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СКІНЧЕННИХ ЦИЛІНДРАХ З ТРІЩИНАМИ ПРИ РАПТОВОМУ КРУТНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

**Олександр Демидов**
**Всеволод Попов,** д-р фіз.-мат. наук, професор
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Розв'язана вісесиметрична динамічна задача по визначенню напруженого стану в околі зовнішньої кільцевої тріщини в скінченному циліндрі. На відміну від традиційних розв'язання, заснованих на використанні інтегрального перетворення Лапласа, запропонований метод полягає в різницевій апроксимації тільки похідної за часом. В результаті задача замінюється послідовністю однорідних крайових задач для рівняння Гельмгольца, що зводяться до інтегрального рівняння Фредгольма другого роду. Знайдений числовий розв'язок дозволив отримати наближену формулу для обчислення коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН).*
***Ключове слово.*** *коефіцієнт інтенсивності напружень, кінцевий циліндр, кільцева тріщина.*

# MATHEMATICAL MODELING OF TRANSIENT PROCESSES IN FINITE CYLINDERS WITH CRACKS UNDER SUDDEN TORSIONAL LOAD

**Oleksandr Demydov**
**Vsevolod Popov,** Doctor of Science, Professor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *The axisymmetric dynamic problem of determining the stress state in the vicinity of the crack in a finite cylinder was solved. In contrast to the traditional solution methods based on the use of the integral Laplace transform, the proposed method consists in the difference approximation only of the time derivative. As a result, the original problem is replaced by a sequence of homogeneous boundary value problems for the Helmholtz equation that reduce to the Fredholm integral equation of the second kind. The numerical solution found made it possible to obtain an approximate formula for calculating the stress intensity factor.*
***Keyword****. Stress intensity factor, finite cylinder, ring-shaped crack.*

**1. Introduction.** Велика кількість елементів конструкцій і деталей машин мають циліндричну форму. Напружений стан скінченних і нескінченних циліндричних тіл при статичному навантаженні вивчений достатньо, але робот з аналізу напруженого стану в умовах динамічного навантаження значно менше.

У цій роботі був використаний модифікований метод скінченних різниць [1]. За допомогою цього методу розв'язана задача визначення КІН в околі зовнішньої кільцевої тріщини в кінцевому циліндрі при крутному навантаженні.

**2. Постановка задачі.** Розглядається скінченний циліндр з ізотропного матеріалу висотою $a$ і радіусом $r_0$. З циліндром пов'язана циліндрична система координат, центр якої співпадає з центром нижньої основи, а вісь $Oz$ з віссю циліндра. З верхньою основою циліндра зчеплена абсолютно жорстка накладка, товщиною $d$ і радіусом $r_0$, яка знаходиться під дією крутного моменту $M(t)$. На висоті $z=c$ паралельно торцям циліндра знаходиться кільцева тріщина з центром на осі циліндра $b \le r \le r_0$, $0 \le \varphi < 2\pi$. Бічна поверхня циліндра і поверхня тріщини вважаються вільними від напружень (Рис. 1).

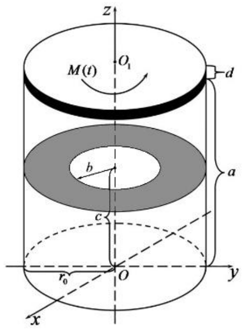



Рис. 1. Циліндр із зовнішньою кільцевою тріщиною.

За цих умов циліндр знаходиться у стані вісеметричної деформації крутіння і відмінним від 0 де лише кутове переміщення $w(\eta,\zeta,\tau)$, яке задовольняє рівнянню:

$$D_{\eta\zeta}w=\frac{\partial^2 w}{\partial\tau^2},\;\; D_{\eta\zeta}=\frac{\partial^2}{\partial\eta^2}+\frac{1}{\eta}\frac{\partial}{\partial\eta}-\frac{1}{\eta^2}+\frac{1}{\gamma^2}\frac{\partial^2}{\partial\zeta^2} \qquad (1)$$

Рівняння (1) розглядається із нульовими початковими умовами і наступними умовами на бічній поверхні та торцях циліндра:

$$\tau_{\varphi\eta}(1,\zeta,\tau)=0,\;\; w(\eta,0,\tau)=0,\;\; w(\eta,1,\tau)=\eta\alpha(\tau), \qquad (2)$$

де $\alpha(\tau)$ - невідомий кут повороту накладки, який визначається із рівняння її руху.

Для граничні умови на тріщині маємо:

$$\tau_{\varphi\zeta}(\eta,l,\tau)=\chi(\eta,\tau),\chi(\eta)\equiv 0,\;\; \beta\le\eta\le 1, \qquad (3)$$

де $\chi(\eta)$ - невідомі напруження які діють у площині тріщини.

Для розв'язання сформульованої початково-граничної задачі (1)-(3) був застосований метод який ґрунтується на різницевій апроксимації похідних за часом і детально викладений у [1]. Цей метод дозволив звести задачу до сукупності послідовно розв'язуваних граничних задач для однорідного рівняння Гельмгольца:

$$D_{\eta\zeta}U_\nu-\text{щ}_\nu^2U_\nu=0,\;\; \nu=1,\,2,\,3,\text{K}\,,\;\; \text{щ}_\nu=h_\nu^{-1}. \qquad (4)$$

Граничні умови на бічній поверхні і на торцях циліндра набудуть наступного вигляду:

$$\tau_{\varphi\eta\nu}(1,\zeta)=0,\;\; 0<\zeta<1,\;\; U_\nu(\eta,0)=0,\;\; U_\nu(\eta,1)=\eta A_\nu,\;\; 0<\eta<1. \qquad (5)$$

А умови на поверхні тріщини можна записати наступним чином:

$$\tau_{\varphi\zeta\nu}(\eta,l)=\chi_\nu(\eta),\;\; 0\le\eta\le 1,\;\; \chi_\nu(\eta)\equiv 0,\;\; \beta\le\eta\le 1. \qquad (6)$$

**3. Зведення задачі до інтегрального рівняння і його розв'язок.** Розв'язок задачі (4) - (6) будемо шукати у вигляді суми:

$$U_\nu(\eta,\zeta)=U_\nu^0(\eta,\zeta)+U_\nu^*(\eta,\zeta). \qquad (7)$$

Перший доданок визначається формулою:

$$U_\nu^0(\eta,\zeta)=A_\nu\eta\frac{\operatorname{sh}(\gamma\zeta\text{щ}_\nu)}{\operatorname{sh}(\gamma\text{щ}_\nu)}.$$

А другий є розв'язком задачі з нульовими умовам на торцях і бічній поверхні, а на поверхні тріщини задовольняє умові:

$$\tau_{\varphi\zeta\nu}^*(\eta,0)=\chi_\nu(\eta)-\tau_{\varphi\zeta\nu}^0(\eta,0),\;\; \beta<\eta<1.$$

Розв'язок цієї граничної задачі був побудований методом інтегральних перетворень аналогічно до [2–4].

Цей розв'язок містить невідому функцію $\chi_\nu(\xi)$. Для її визначення скористаємось умовою неперервності кутових переміщень у площині розташування тріщини в області поза нею і отримаємо інтегральне рівняння:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$\int_0^\beta \xi\chi_\nu(\xi)\left\{F_0^-(\xi,\eta)+F_0^+(\xi,\eta)\right\}d\xi=\frac{A_\nu\eta}{\mathrm{ch}\left(\gamma щ_\nu(1-l)\right)},\tag{8}$$

де $F_0^\pm(\xi,\eta)=F^\pm(\xi,\eta,l)$,

$$F^-(\xi,\eta,\zeta)=\frac{2}{l\gamma}\sum_{j=1}^\infty B_{j\nu}^-\cdot\sin\lambda_j^- l\cdot\sin\lambda_j^-\zeta,\ \ F^+(\xi,\eta,\zeta)=-\frac{2}{\gamma(1-l)}\sum_{j=1}^\infty B_{j\nu}^+\cdot\cos\lambda_j^+(\zeta-l),$$

$$B_{j\nu}^\pm=g_{j\nu}^\pm(\xi,\eta)+\frac{K_2\left(q_{j\nu}^\pm\right)}{I_2\left(q_{j\nu}^\pm\right)}I_1\left(q_{j\nu}^\pm\xi\right)I_1\left(q_{j\nu}^\pm\eta\right),\ q_{j\nu}^\pm=\sqrt{\left(\lambda_j^\pm\right)^2\gamma^{-2}+щ_\nu^2},\ \lambda_j^-=\frac{\pi(2j-1)}{2l},\ \lambda_j^+=\frac{\pi(2j-1)}{2(1-l)},$$

$$g_{j\nu}^\pm(\xi,\eta)=-\int_0^\infty\frac{t}{t^2+\left(q_{j\nu}^\pm\right)^2}J_1(\eta t)J_1(\xi t)\,dt=\begin{cases}I_1\left(q_{j\nu}^\pm\xi\right)K_1\left(q_{j\nu}^\pm\eta\right), & 0\le\xi<\eta\\ I_1\left(q_{j\nu}^\pm\eta\right)K_1\left(q_{j\nu}^\pm\xi\right), & \eta<\xi\le1\end{cases}.$$

Для розв’язання інтегрального рівняння (8) зведемо його до рівняння Фредгольма другого роду. Для цього вводимо нову невідому функцію

$$\varphi_\nu(\tau)=\int_\tau^\beta\frac{\tau\cdot\chi_\nu(\xi)}{\sqrt{\xi^2-\tau^2}}d\xi,\ \chi_\nu(\xi)=-\frac{2}{\pi}\frac{d}{d\xi}\int_\xi^\beta\frac{\varphi_\nu(\tau)}{\sqrt{\tau^2-\xi^2}}d\tau,\ \varphi(\tau)\equiv0,\ \tau>\beta$$

і застосовуємо оператор

$$D_1[f]=\frac{d^2}{dx^2}\int_0^x\frac{ydy}{\sqrt{x^2-y^2}}\int_0^y f(\eta)\,d\eta.$$

В наслідок цих перетворень, введення позначень

$$\lambda=uщ_\nu,\ \sqrt{u^2+1}=p,\ \tau=\beta y,\ \varphi_\nu(\tau)=\varphi_\nu(\beta y)=\beta g_\nu(y),\ y\in[0,1],\ x=\beta s,\ s\in[0,1]$$

і непарного продовження функції $g_\nu(y)$ на $[-1,1]$, рівняння (8) було зведено до наступного рівняння Фредгольма 2-го роду:

$$g_\nu(s)+\frac{1}{2\pi}\int_{-1}^1 g_\nu(y)\left\{A(y-s)+Q(y-s)\right\}dy=\frac{A_\nu s}{\mathrm{ch}\left(\gamma щ_\nu(1-l)\right)},\tag{9}$$

де $A(Y)$ та $Q(Y)$ подаються рівномірно збіжними інтегралами і рядами.

Наближений розв’язок рівняння (9) шукаємо у вигляді інтерполяційного полінома. Інтеграли у (9) наближаємо за квадратурною формулою Гаусса-Лежандра і отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно значень невідомої функції у вузлах інтерполяції. Після розв’язання системи невідома функція апроксимується інтерполяційним поліномом.

$$g_\nu(y)\approx g_\nu^n(y)=\sum_{m=1}^n g_{\nu m}\frac{P_n(y)}{(y-y_m)P_n'(y_m)},\ \ g_{\nu m}=g_\nu(y_m),\ m=1,2,3,\ldots,n,$$

де $P_n(y)$ поліном Лежандра n-го степеню, а $y_m$ – його корінь.

**5. Результати числових досліджень.** Серед критеріїв руйнування, важливу роль грає коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН). Безрозмірний КІН може бути обчислений за формулою:

$$K(\tau_k)=\frac{\tilde{K}(t_k)}{G\sqrt{b}},\ K(\tau_k)=\sum_{\nu=1}^k C_{k\nu}K_\nu,\ K_\nu=\frac{\sqrt{2}}{\pi}g_\nu(1).\tag{10}$$

За допомогою формули (10), було проведено числове дослідження залежності безрозмірного КІН від безрозмірного часу $\tau = c_2 t / r_0$. Часова сітка була згущена біля точки $\tau = 0$. При обчисленнях вважали, що безрозмірна товщина накладки $\delta = d/a = 0.1$, а безрозмірний внутрішній радіус кільцевої тріщини $\beta = b/r_0 = 0.5$.

Досліджувався вплив виду навантаження і маси накладки на почасову залежність КІН. Результати розрахунків наведені на рисунках 2 і 3 у вигляді графіків почасових залежностей безрозмірних КІН. При цих розрахунках відносна довжина циліндра була прийнята рівною $\gamma = a/r_0 = 2$. Графіки на рис. 2 побудовані для випадку дії раптово прикладеного постійного крутного моменту $M_0(\tau) = H(\tau)$, $H(\tau)$ - функція Хевисайда, а на рис. 3 криві описують випадок, коли момент заданий одиничним імпульсом $M_0(\tau) = H(\tau) - H(\tau - 1)$. На рис. 2 і 3 різним значенням відносної густини $\bar{\rho} = \rho_n / \rho_c$ :0.1; 0.25; 1; 4, відповідають криві 1 – 4.

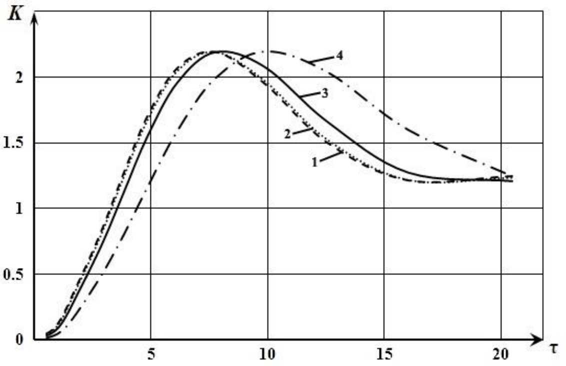



Рисунок 2 – Почасові залежності безрозмірного КІН при $M_0(\tau) = H(\tau)$

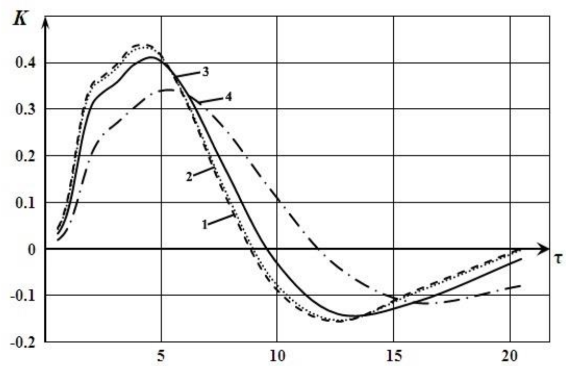



Рисунок 3 – Почасові залежності безрозмірного КІН при $M_0(\tau) = H(\tau) - H(\tau - 1)$

Графіки на рис. 2 - 3 демонструють той факт, що максимум значення КІН спостерігається під час перехідного процесу і цей максимум перевищує значення КІН в усталеному режимі. А отже, руйнування наймовірніше буде мати місце саме під час перехідного процесу.

**Висновки.** У статті запропоновано метод розв'язання задачі визначення напружено-деформованого стану пружного скінченного циліндричного тіла, що знаходиться під дією крутного навантаження. Ця методика заснована на різницевому наближенні похідної за часом та використанні часової сітки зі спеціально підібраними вузлами. Числові результати демонструють ефективність такого підходу при дослідженні перехідних процесів, що відбуваються відразу після прикладення навантаження.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Savruk M. P. New method for the solution of dynamic problems of the theory of elasticity and fracture mechanics / M. P. Savruk // Materials Science. — 2003. — Vol. 39, No. 4. — P. 465–471.

2. Popov V. H. Torsional oscillations of a finite elastic cylinder containing an outer circular crack / V. H. Popov // Materials Science. — 2012. — Vol. 47, No. 6. — P. 746–756.

3. Демидов О. В. Нестационарний закрут скінченного циліндру з круговою тріщиною / О. В.

Демидов, В. Г. Попов // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. — 2017. — No. 1. — С. 131–142.

4. Попов В. Г. Напряженное состояние конечного упругого цилиндра с круговой трещиной при крутильных колебаниях / В. Г. Попов // Прикладная Механика. — 2012. — Т. 48, Вип. 4. — С. 86–93.

УДК 656.61.052

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОФШОРНОГО СУДНА

**К.В. Тимофеєв,** к.т.н., доцент
**І.Б. Бутаков,** аспірант,
**М.І. Козловський,** аспірант
Херсонська державна морська академія

***Анотація:*** *Розглядаються питання моделювання системи динамічного позиціонування морського офшорного судна. З огляду на змінні значення зовнішніх збурень, які впливають на якість управління об'єктом, істотну роль в управлінні системою DP відіграють точність прогнозів і швидкість оновлення моделі. Результати моделювання дозволяють описати офшорне судно як точку маси, з огляду на три ступені свободи, і використовувати для аналізу управління курсом систему динамічного позиціонування DP.*

***Ключові слова***: *офшорне судно, моделювання, система динамічного позиціонування, збурення, ступінь свободи, координати, курс.*

## RESEARCH OF DYNAMIC POSITIONING SYSTEM OF AN OFFSHORE SHIP

**K.Tymofeiev,** Associate Professor
**I.Butakov,** Postgraduate student
**M.Kozlovskyi,** Postgraduate student
Kherson State Maritime Academy

***Abstract:*** *Issues are considered the modeling of the dynamic positioning system of a marine offshore ship. Given the variable values of external perturbations that affect the quality of control of an object, a significant role in controlling the DP system is played by the accuracy of forecasts and the speed of model updating. The simulation results allow us to describe an offshore vessel as a point of mass, taking into account three degrees of freedom, and we used the DP dynamic positioning system for heading analysis.*

***Keywords:*** *offshore ship, modeling, dynamic positioning system, disturbance, degree of freedom, coordinates, course.*

**Вступ.** При роботі систем DP виникає необхідність в точної стабілізації плавучого об'єкта (судна) в статичному і динамічному режимах щодо заданої позиції або іншого об'єкта. При цьому параметри об'єкта, щодо якого здійснюється управління судном, теж можуть змінюватися, а на судно діють зовнішні збурення (вітер, хвилювання, течії).

**Актуальність.** Процес і алгоритми управління судном мають певні неточності, джерелом яких є: змінюються умови навколишнього середовища; неточності вимірювальних засобів і математичних моделей, що описують об'єкт і його функції; інерційність і транспортне запізнювання управління, включаючи виконавчі органи - рушії, керма та їх приводи [1].

**Основна частина.** Диференціальна модель динаміки судна (1) може бути приведена до різницевого вигляду таким чином. Позначимо вектор стану руху судна через $\mathbf{Y}$, його похідну як $\mathbf{dY/dt}$, вектор управління – $\mathbf{U}$, вектор збурень - $\mathbf{Q}$:

$$\mathbf{Y}=\begin{pmatrix} V_L \\ V_B \\ \omega \\ \eta \\ \Omega \end{pmatrix}; \qquad \frac{\mathbf{dY}}{dt}=\begin{pmatrix} \dot{V}_L \\ \dot{V}_B \\ \dot{\omega} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\Omega} \end{pmatrix}; \qquad \mathbf{U}=\begin{pmatrix} \beta_3 \\ n_3 \end{pmatrix}; \qquad \mathbf{Q}=\begin{pmatrix} K_a \\ \nu_a \\ K_w \\ B_w \end{pmatrix}; \tag{1}$$

Всі компоненти цих векторів залежать від часу. Сили і моменти в правій частині (1) є функціями елементів векторів **Y**, **U**, **Q**. Тому система (1) в матричному вигляді може бути представлена як

$$\frac{\mathbf{dY}}{dt}=\Phi\{\mathbf{Y}(t),\mathbf{U}(t),\mathbf{Q}(t)\}. \tag{2}$$

Оберемо досить малий інтервал часу $\Delta t$, при якому можна вважати $\frac{\mathbf{dY}}{dt}\approx\frac{\Delta\mathbf{Y}}{\Delta t}$. Позначивши моменти часу, наступні через інтервал часу $\Delta t$, як: 0, 1, 2,., J-1, J, J+1. Представимо $\Delta\mathbf{Y}$ у вигляді: $\Delta\mathbf{Y}=\mathbf{Y}_{J+1}-\mathbf{Y}_{J}$, а значення векторів $\mathbf{Y}(t),\mathbf{U}(t),\mathbf{Q}(t)$ у момент часу J – як $\mathbf{Y}_J, \mathbf{U}_J, \mathbf{Q}_J$.

Значення параметрів руху судна, керуючих сигналів, впливів, що обурюють, значення сил і моментів визначають за виразом (3), і далі розраховують кінематичні параметри судна в наступний момент часу J+1:

$$\mathbf{Y}_{J+1}=\mathbf{Y}_J+\Phi(\mathbf{Y}_J,\mathbf{U}_J,\mathbf{Q}_J)\Delta t, \tag{3}$$

На рис. 1 показана модель судна, де вказані умовні позначення і параметри системи координат для опису руху судна.

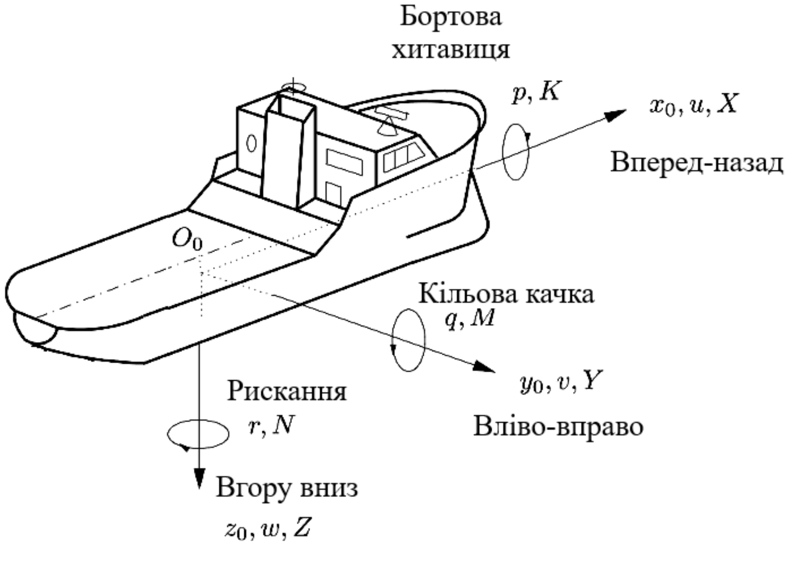



Рисунок 1 – Умовні позначення і параметри для опису руху офшорного судна

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Визначаємо силу течії.

$$F_c = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}\rho V_c^{\,2} C_{Xc}(\alpha_c) A_{TS} \\ \frac{1}{2}\rho V_c^{\,2} C_{Yc}(\alpha_c) A_{LS} \end{pmatrix}, \quad M_c = \frac{1}{2}\rho V_c 2 C_{Mc}(\alpha_c) A_{LS} L\ , \tag{4}$$

де $\rho$ - щільність води; $V_c$ - швидкість водотоку; $\alpha_c$ - напрям водотоку; $A_{TS}$ - занурена поперечна область корпусу судна, $A_{LS}$ - занурена подовжня область корпусу судна, $L$ - довжина судна, $C_{*c}(\alpha_c)$ - поточний коефіцієнт.

Визначаємо силу вітру.

$$F_w = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}\rho_{air} V_{rw}^{\;2} C_{Xw}(\alpha_{rw}) A_T \\ \frac{1}{2}\rho_{air} V_{rw}^{\;2} C_{Yw}(\alpha_{rw}) A_L \end{pmatrix}, \quad M_w = \frac{1}{2}\rho_{air} V_{rw} 2 C_{Mw}(\alpha_{rw}) A_L L\ , \tag{5}$$

де: $\rho_{air}$ - щільність повітря; $V_{rw}$ - відносна швидкість вітру; $\alpha_{rw}$ - відносний напрям вітру; $A_T$ - поперечна площа проекції вітру; $A_L$ - подовжня площа проекції вітру; $C_{*w}(\alpha_{rw})$ - поточний коефіцієнт вітру.

Визначаємо силу хвилі.

$$F_{wd} = \begin{pmatrix} C_{Xwd}(\alpha_{wd}, f_{wd})\frac{1}{8}\rho g H^2_{1/3} L \\ C_{Ywd}(\alpha_{wd}, f_{wd})\frac{1}{8}\rho g H^2_{1/3} L \end{pmatrix}, \quad M_{wd} = C_{Mwd}(\alpha_{wd}, f_{wd})\frac{1}{8}\rho g H^2_{1/3} L. \tag{6}$$

де: $\alpha_{wd}$ - напрям хвилі; $f_{wd}$ - регулярна частота коливання хвилі; $C_{*wd}(\alpha_{wd}, f_{wd})$ - коефіцієнт дрейфу судна; $g$ - коефіцієнт гравітації; $H_{1/3}$ - висота хвилі.

Зусилля, які формуються трастерами визначимо як:

$$T = C_T \rho n^2 D^4 . \tag{7}$$

Момент, що крутить:

$$Q = C_Q \rho n^2 D^5 , \tag{8}$$

де: $n$ - кількість обертів за хвилину; $D$ - діаметр гвинта; $C_T$ - коефіцієнт тяги; $C_Q$ - момент, що крутить.

Розрахунок необхідних сил двигуна виконаємо наступним чином:

сили в напрямі $x$: $F_x = F_{x_{demand}} - F_{x_{wind}} - F_{x_{current}} - F_{x_{wave}}$;

сили в напрямі $y$: $F_y = F_{y_{demand}} - F_{y_{wind}} - F_{y_{current}} - F_{y_{wave}}$;

Момент: $M = M_{demand} - M_{wind} - M_{current} - M_{wave}$ .

Далі маємо:

$$F_x = \sum_{i=1}^{n}(F_x)_i; \quad F_y = \sum_{i=1}^{n}(F_y)_i; \quad M = \sum_{i=1}^{n}(-y_i \cdot (F_x)_i + x_i \cdot (F_y)_i) . \tag{9}$$

$$(F_x)_n = F_x - \sum_{i=1}^{n-1}(F_x)_i; \quad (F_y)_n = F_y - \sum_{i=1}^{n-1}(F_y)_i . \tag{10}$$

Замінивши $F_{x_n}$ и $F_{y_n}$, отримаємо

$$(F_y)_{n-1} = \frac{M + y_n \cdot F_x - x_n \cdot F_y}{x_{n-1} - x_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{y_i - y_n}{x_{n-1} - x_n} \cdot (F_x)_i \right) + \sum_{i=1}^{n-2} \left( \frac{x_n - x_i}{x_{n-1} - x_n} \cdot (F_y)_i \right). \tag{11}$$

Визначимо повну потужність:

$$g((F_x)_1, \dots, (F_x)_{n-1}, (F_y)_1, \dots, (F_y)_{n-2} = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(F_x)_i^2 + (F_y)_i^2} \;. \tag{12}$$

Схеми моделювання системи динамічного позиціонування офшорного судна показано на рис. 2.

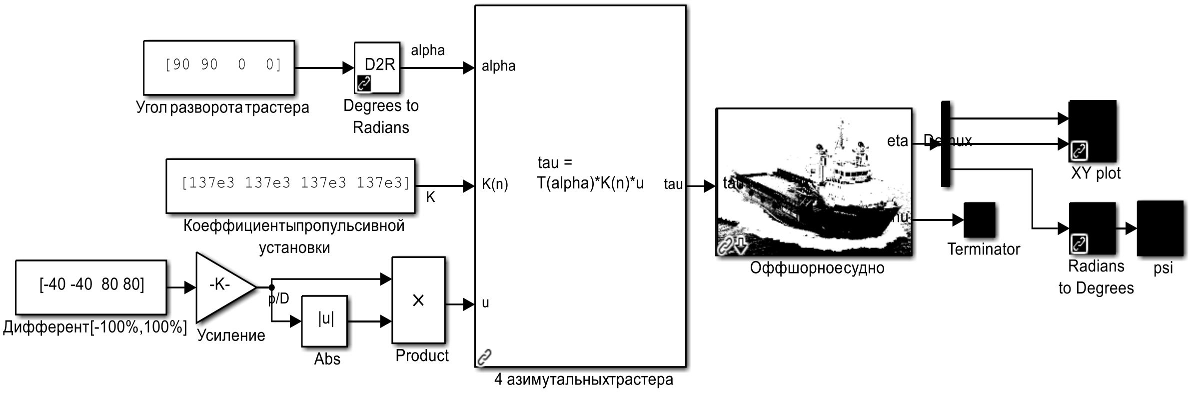



Рисунок 2 – Схема моделювання системи динамічного позиціонування офшорного судна

**Висновки**. При моделюванні офшорного судна в роботі показана принципова можливість використання моделі, яка може бути представлена як матеріальна точка з 3-ма ступенями свободи. Аналіз траєкторії офшорного судна при моделюванні системи динамічного позиціонування дозволив визначити мінімальну потужність суднової електроенергетичної системи (СЕЕС), необхідну для управління. У перспективі для моделювання управління офшорним судном з системою динамічного позиціонування слід застосовувати модифіковані моделі, де використовуються більше чотирьох рушіїв.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Феникс, 2007. – 328 с.
2. Рожков С.О. Моделювання системи динамічного позиціювання судна-постачальника типу PSV / С.О. Рожков // Вестник Херсонского национального технического университета. – №04(55). – 2015. – С. 159–166.
3. Thor I. Fossen  Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2011. –575 p

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

## Секція 6. **РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ ТА ЗВ'ЯЗОК**

УДК 621.396.6 : 621.1.016.7

# ПРОЕКТУВАННЯ ТЕРМОСТІЙКИХ РЕЗ ПІДВИЩЕНОГО СТУПЕНЯ ІНТЕГРАЦІЇ

**М.І.Ковальов,** к.т.н., доцент
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація.*** *Розглянуті особливості обчислювального експерименту по дослідженню і аналізу термофункціональних властивостей проектованих РЕЗ на основі термомакромоделей окремих електронних елементів та вузлів.*
***Ключові слова:*** *термомакромодель, РЕЗ(радіоелектронний засіб), температурний режим.*

# DESIGN OF HEAT-RESISTANT RED INCREASED DEGREE OF INTEGRATION

**N.I.Kovaliov,** PhD, Assistant professor
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *The features of the computational experiment on research and the analysis of thermofunctional properties of the designed RED on the basis of thermomacromodels of separate electronic elements and device are considered.*
***Key words:*** *thermomacromodel, RED(radioelectronic device), temperature regime.*

Обліку впливу дії температури на елементи РЕЗ (радіоелектронних засобів) підвищеного ступеня інтеграції приділяється при конструюванні особлива увага, оскільки значення їх експлуатаційних параметрів і характеристик (надійність функціонування, стабільність вихідних параметрів і ін.) залежить від температури елементів. Тому своєчасне виявлення ефекту впливу температури на фукціональні характеристики елементів РЕЗ є вкрай необхідним. У даний час оцінку впливу температури на функціональні характеристики елементів РЕЗ аналітичним методом не проводять через його високу складність. На практиці облік цього впливу здійснюють інтуїтивно або експериментально на виготовленому зразку апаратури. При цьому на завершальній стадії експериментального дослідження розробники методом евристичного пошуку намагаються провести кількісну оцінку впливу температури на найважливіші функціональні характеристики РЕЗ, а також визначити засіб температурної стабілізації вказаних характеристик. Вибір номінальної температури експлуатації РЕЗ є складною і відповідальною задачею, оскільки прийняття заниженої температури значно посилює вимоги в системі терморегулювання, викликаючи збільшення її габаритів, маси і споживаної енергії. Прийняття підвищеної температури може привести до зміни функціональних характеристик РЕЗ і, зрештою, до відмови апаратури.

У зв'язку з вищевикладеним актуальною є задача машинного моделювання функціональних властивостей елементів і пристроїв РЕЗ з метою аналізу впливу температури на їх характеристики. Це дозволяє уникнути традиційного натурного експерименту, скоротити терміни розробки, а також ліквідувати конструкторську надмірність, пов'язану з низькою температурою експлуатації, що призначається свідомо, високою точністю підтримки цієї температури і додатковими схемними рішеннями по температурній стабілізації.

Для проведення обчислювального експерименту по аналізу термофункціональних властивостей РЕЗ доцільно використовувати термомакромоделі (ТМ) електронних елементів і пристроїв [1], що входять до складу РЕЗ. При термофункціональному макромоделюванні РЕЗ подається набором універсальних елементів моделювання - термофункціонаних генераторів, що керуються у афінному просторі електричних та дестабілізуючих параметрів навколишнього середовища. Ці генератори моделюють перехідні реакції фрагментів РЕЗ по зовнішнім полюсам. Генератори об’єднуються до конкретної топологічної структури та утворюють ТМ, яка моделює властивості РЕЗ у заданому класі електричних впливів та температури і описується аналітичними виразами [2].

Обчислювальний експеримент на ПК по дослідженню і аналізу термофункціональних властивостей проектованих РЕЗ проводиться відповідно до розробленого алгоритму і містить наступні основні етапи:

1. Введення до ПК основних електричних параметрів і характеристик РЕЗ, регламентованих технічним завданням, а також - ТМ елементів і пристроїв.

2. Використовування схемотехнічної САПР для оцінки параметрів електричного режиму елементів та пристроїв РЕЗ.

3. Використовування теплофізичної САПР для оцінки температур елементів і пристроїв РЕЗ.

4. Проведення на ЕОМ граничних термовипробувань пристрою з кроком по температурі, що задається дослідником, і визначення температурних меж нормального функціонування РЕЗ.

5. Якщо розраховані температурні межі нормального функціонування РЕЗ не співпадають (менше) із заданим температурним інтервалом експлуатації, то у цьому випадку алгоритмом передбачений ряд дій, спрямованих на підвищення термофункціональної стійкості РЕЗ, а саме:

- попереднє визначення функцій чутливості до температури окремих ТМ і виділення найбільш термозалежних елементів і пристроїв;
- заміна виявлених термозалежних елементів на функціонально аналогічні елементи з підвищеною термостійкістю характеристик;
- термокомпенсація найбільш термозалежних елементів або пристроїв, що у ряді випадків більш економічно, ніж застосування спеціальних заходів відведення тепла.

В окремих випадках може бути розглянута доцільність використовування локального охолоджування найбільш чутливих до температури модулів РЕЗ.

Після здійснення будь-якої дії з перерахованих у п.5 алгоритму слідує повернення до п.4 для перевірки ефективності вжитих заходів. Отримані в п.4 дані про значення електричних характеристик РЕЗ у декількох десятках точок температурного інтервалу підлягають аналізу з метою вибору оптимальної температури експлуатації, на підтримку якої буде розрахована система забезпечення теплового режиму або система термостатування.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

При необхідності аналізу статистичної термостійкості проектованого РЕЗ в умовах серійного чи масового виробництва, у якості ТМ елементів використовуються статистичні ТМ, а блок гранічних термовипробувань (п.4) повинен бути організований за методом Монте-Карло.

### ЛІТЕРАТУРА

1.Ковалев Н.И. Алгоритм проектирования термоустойчивых РЭС // Труды пятой междун. научно-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии", 17-21 мая 2004, г.Одесса, Украина. - О.: Негоціант, 2004. - С.162-165.

2.Николаенко В.М., Ковалев Н.И. Аппроксимация характеристик макромоделей электронных устройств методом гладкой кривой // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2001. - № 1. - С. 13-15.

УДК 621.396

## СИНТЕЗ ПАРИ СИГНАЛ – ФІЛЬТР ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРАХ ДОПУСТИМОЇ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

**В. М. Кошевий**, д. т. н., професор
**Л. М. Джаіані**, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Розглядається процес спільної оптимізації сигналу і фільтру по критерію максимуму відношення сигналу/завада плюс шум при різних характерах допустимої амплітудної модуляції, щоб придушити завади типу «відображення, які заважають» при малих втратах у відношенні сигнал/шум. За рахунок спільної оптимізації сигналу і фільтру можна домогтися високого рівня придушення бічних пелюсток кореляційної функції, а також мінімальних втрат щодо шумів.*
***Ключові слова****: пара сигнал – фільтр, критерій максимуму відношення сигнал / завада + шум, амплітудна модуляція.*

## SYNTHESIS OF WAVEFORM-FILTER PAIR FOR DIFFERENT TYPES OF ALLOWABLE AMPLITUDE MODULATION

**V.M. Koshevyy,** Dr. of Technical Science, Professor
**L.M. Dzhaiani**, Student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *The process of joint signal and filter optimization for different types of allowable amplitude modulation in order to suppress interferences such as "interfering reflections" is considered. Due to the joint optimization of the signal and the filter, it is possible to achieve a high level of suppression of the side lobes of the correlation function, as well as the maximum quantitative indicator of the value of noise losses.*
***Key-words:*** *waveform-filter pair , maximum signal-to-clutter-plus-noise ratio, amplitude modulation.*

### *Синтез пари сигнал – фільтр для максимальних розмірів нульових зон амплітудо – немодульованих сигналів*

*а) Синтез сигналу, модулі якого дорівнюють одиниці, і відомого фільтру*

На першому етапі було синтезовано пару сигнал-фільтр без додаткових обмежень на амплітудну модуляцію сигналу. Далі з сигналу який був синтезований у такий спосіб створювався новий сигнал $\mathbf{S^{(i)}_{new0}}$, котрий складається з фаз отриманого сигналу $\mathbf{S^{(i)}_{n19}}$, а модулям сигналу приписували значення одиниці. Після чого було розраховано новий фільтр $\mathbf{W^{(i)}_{H20}}$, взаємна кореляційна функція $\mathbf{X_k^{sw}}$ сигналу $\mathbf{S^{(i)}_{new0}}$ та нового фільтру $\mathbf{W^{(i)}_{H0}}$, кількісний показник значення втрат щодо шумів **ρ**.

$S^{(i)}_{H19}$ = [1.2206 + 0.0490i 1.0049 + 0.3259i 0.7934 - 0.4550i 0.9316 - 0.0831i -0.6848 + 0.6990i -0.8598 - 0.2978i 0.8207 + 0.2759i 0.0096 - 0.9730i -0.1733 + 1.0809i];

$W^{(i)}_{H20}$ = [1.0824 + 0.1634i 0.9300 + 0.2863i 0.7665 - 0.4912i 0.8633 - 0.1836i -0.6741 + 0.6611i -0.8867 - 0.1916i 0.9255 + 0.2609i -0.0051 - 1.0564i -0.3242 + 1.1778i];

$\rho_{40}$ = 0.9867.

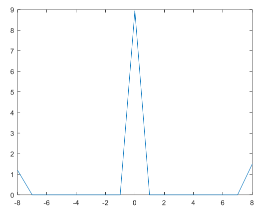


Рисунок 1 – Графік кореляційної функції сигналу $S^{(i)}_{H19}$ і фільтру $W^{(i)}_{H20}$

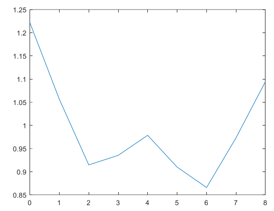


Рисунок 2 – Модуль сигналу $S^{(i)}_{H19}$

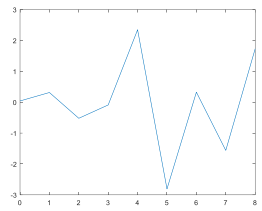


Рисунок 3 – Фаза сигналу $S^{(i)}_{H19}$

$S^{(i)}$new0=[exp(j*0.0401) exp(j*0.3136) exp(j*-0.5207) exp(j*-0.0889) exp(j*2.3459) exp(j*-2.8081) exp(j*0.3243) exp(j*-1.5609) exp(j*1.7298)];

$W^{(i)}_{H20}$=[1.0824 + 0.1634i 0.9300 + 0.2863i 0.7665 - 0.4912i 0.8633 - 0.1836i -0.6741 + 0.6611i -0.8867 - 0.1916i 0.9255 + 0.2609i -0.0051 - 1.0564i -0.3242 + 1.1778i];

ρ = 0.9828.

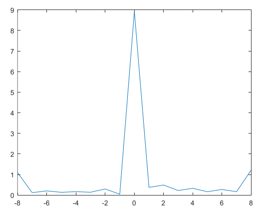


Рисунок 4 – Графік кореляційної функції сигналу $S^{(i)}$new0 і фільтру $W^{(i)}_{H20}$

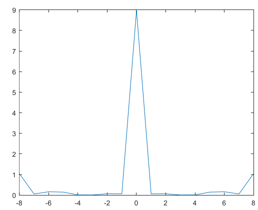


Рисунок 5 – Графік кореляційної функції сигналу $S^{(i)}_{new\_0}$ і фільтру $W^{(i)}_{H\_0}$

*б) Знаходження фільтру для сигналу, модулі якого дорівнюють одиниці*

$S^{(i)}_{new0}$=[exp(j*0.0401) exp(j*0.3136) exp(j*-0.5207) exp(j*-0.0889) exp(j*2.3459) exp(j*-2.8081) exp(j*0.3243) exp(j*-1.5609) exp(j*1.7298)];

$W^{(i)}_{H0}$=[1.0321 + 0.1556i 0.9671 + 0.2600i 0.8879 - 0.4798i 0.9781 - 0.1852i -0.6373 + 0.6245i -0.9681 - 0.2320i 0.9482 + 0.3454i -0.0409 - 1.0005i -0.2769 + 1.0064i];

ρ = 0.9926.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*Синтез пари сигнал – фільтр при фіксованих амплітудних модуляціях сигналів*

Максимальне співвідношення для сигналу и фильтру $\sum = \frac{A^2|W^*S|^2}{W^*[\nu I+N_0 R]W}$ (*).

На першому кроці обираємо довільний початковий вектор фаз сигналу $\Phi^{(0)} = \{\varphi_1^0, \varphi_2^0, \ldots, \varphi_N^0\}$. Цей вектор фаз приписується заданим амплітудам, і для отриманого сигналу знаходиться вектор фільтру, який максимізує (*) $W^{(0)} = [\nu I + N_0 R^{(0)}]^{-1} S^{(0)}$, де $S^{(0)} = \{S_1 e^{i\varphi_1^0}, S_2 e^{i\varphi_2^0}, \ldots, S_N e^{i\varphi_N^0}\}$.

Отримав таким чином вектор фільтру підставляємо в (*) і отримуємо $\sum( W^{(0)}, S^{(0)}) = \sum_0( S^{(0)})$.

Знаходимо новий вектор фаз сигналу $\Phi^{(1)} = \Phi^{(0)} + \lambda_0 \operatorname{grad}\sum_0(\Phi^{(0)})$, де

$$\operatorname{grad} \sum_0(\Phi^{(0)}) = \frac{\partial \sum_0(\Phi)}{\partial \varphi_1}, \frac{\partial \sum_0(\Phi)}{\partial \varphi_2}, \ldots, \frac{\partial \sum_0(\Phi)}{\partial \varphi_{N\Phi=\Phi^{(0)}}};$$

$$\frac{\partial \sum_0(\Phi)}{\partial \varphi_n} = \frac{W^*[\nu I+R^{(0)}]W\{|W^*S|^2\}'_{\varphi_n} - |W^* S|^2 (W^*[\nu I+ R^{(0)}]W)'_{\varphi_n}}{(W^*[\nu I+ N_0 R]W)^2}.$$

Сталу $\lambda_0$ обираємо таким чином, щоб $\sum_0(\Phi^{(1)}) \geq \sum_0(\Phi^{(0)})$.

Отриманий вектор фаз ($\Phi^{(1)}$) знов приписуємо заданим амплітудам сигналу і на наступному кроці для отриманого сигналу знаходимо новий вектор фільтру $W^{(1)} = [\nu I + N_0 R^{(1)}]^{-1} S^{(1)}$, $\sum( W^{(1)}, S^{(1)}) = \sum_0( S^{(1)})$, де $S^{(1)} = \{S_1 e^{i\varphi_1^1}, S_2 e^{i\varphi_2^1}, \ldots, S_N e^{i\varphi_N^1}\}$. Отримуємо не спадаючу послідовність значень $\sum_0 \leq \sum_1 \leq \ldots \leq \sum_N$.

Якщо отримане значення $\sum_i(\Phi^{(i+1)}) < \sum_i(\Phi^{(i)})$, то значення $\lambda_i$ ділиться навпіл і цей процес продовжується до виконання умови $\sum_i(\Phi^{(i+1)}) > \sum_i(\Phi^{(i)})$.

$S^{(0)}$ =[1 1 1 1 exp(j*(2*pi/3)) exp(j*(4*pi/3)) 1 exp(j*(4*pi/3)) exp(j*(8*pi/3))]

$W^{(0)}_H$ =[0.7934 + 0.0324i 0.9032 + 0.0598i 0.7625 - 0.2510i 0.9047 + 0.0924i -0.6520 + 0.9149i -0.5511 - 0.5315i 1.3385 + 0.0599i -0.5034 - 0.9667i -0.6123 + 0.9340i]

$\Phi^{(0)}$ = [0 0.0201 -0.7569 -0.5028 1.9792 -3.2462 0.0024 -1.9731 1.4989]

$\sum_0(\Phi^{(0)}) = 0.9086$

$\rho_0 = 0.9475$

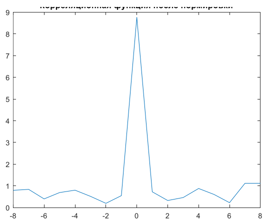


Рисунок 6 – Графік кореляційної функції сигналу $S^{(0)}$ і фільтру $W^{(0)}_H$

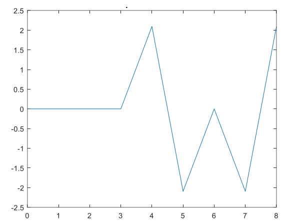


Рисунок 7 – Фаза сигналу $S^{(0)}$

$s^{(6)}$ =[1.0000 + 0.0000i 0.9953 + 0.0972i 0.8098 - 0.5867i 0.9468 - 0.3218i -0.5245 + 0.8514i -0.9958 - 0.0913i 0.9761 + 0.2175i -0.2009 - 0.9796i -0.0939 + 0.9956i]

$W^{(6)}_H$ =[0.9273 - 0.0479i 1.0146 + 0.1098i 0.7942 - 0.5982i 1.0194 - 0.2985i -0.5361 + 0.8233i -1.0505 - 0.1403i 0.9742 + 0.1955i -0.2082 - 1.0027i -0.0524 + 0.9232i]

$\Phi^{(6)}$ = [0    0.0973    -0.6270    -0.3276    2.1229    -3.0502    0.2192    -1.7731    1.6649]

$\sum_6(\Phi^{(6)}) = 0.9760$

$\rho_6 = 0.9968$

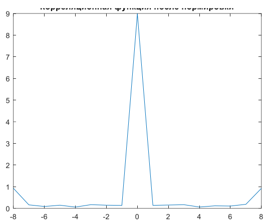


Рисунок 8 – Графік кореляційної функції сигналу $S^{(6)}$ і фільтру $W^{(6)}_H$

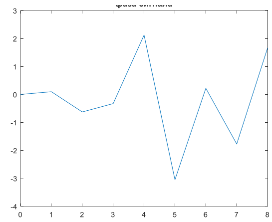


Рисунок 9 – Фаза сигналу $S^{(6)}$

**Висновки.** Незалежно від виду початкового наближення, досягається максимальне придушення бічних пелюсток, а також мінімум втрат в відношенні сигнал/шум.

**ЛІТЕРАТУРА**

1.W.D. Rummler. Clutter Suppression by Comlex Weighting of Coherent Pulse Trains. ”IEEETrans. on AES. Vol. AES-2. No.6. pp. 810-818. Nov.1966.

2. W.D. Rummler. “A Technique for Improving the Clutter Performance of Coherent Pulse Train Signals. ”IEEETrans. on AES. Vol. AES-3. No.6. pp. 898-906. Nov. 1967.

3. D.F. Delong. Jr. and E.M. Hofstetter. ‘ On the Design of Optimum Radar Waveforms for Clutter rejection. ” IEEE Trans. on IT. Vol. IT-13. No.3. pp. 454-463. July 1967.

4. L.J. Spafford. ”Optimum Radar Signal Processing in Clutter. ” IEEE Trans. on IT. Vol. IT-14. No.5. pp. 734-743. Sept. 1968.

5. C.A. Statt and L.J. Spafford. “A Best Mismatched Filter Response for Radar Clutter Discrimination .” IEEE Trans. on IT. Vol. IT-14. No. 2. pp. 280-287. Mar. 1968.

6. V.T. Dolgochub and M.B. Sverdlik. “ Generalized v -filters.” Radio Engeneering and Electronic Physics. Vol. 15. pp.147-150. January 1970.

7. Y.I. Abramovich and Sverdlik. “Synthesis of a filter which maximizes the signsl-to-noise ratios under additional quadratic constraints.” Radio Engeneering and Electronic Physics. Vol. 15. pp. 1977-1984. Nov. 1970.

8. P. Stoica, J. Li, M. Xue. “Transmit Codes and Receive Filters for Pulse Compression Radar Systems.» IEEE Signal Processing Mag. Vol. 25. no. 6. pp.815-845. Nov. 2008.

9. Кошевой В. М., Свердлик М. В. Предельные нулевые зоны для сигналов. Радиотехника и электроника, Том 9, 1974.

10. V.M. Koshevyy, M.B Sverdlik. “Synthesis of Signal – Filer pair under additional constraints”. Radio Engeneering and Electronics. Vol 21. no.6. pp. 1227-1234. June 1976.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Секція 7. **МОРСЬКА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА**

УДК 355.40
УДК 527+659+004.9

# МОДЕЛЬ КИБЕРЗАЩИЩЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ АВТОНОМНОГО СУДНА

**Н.С. Михайлов**, аспирант
**Р.Н. Лукьяненко**, курсант
Национальный Университет «Одесская Морская Академия»

***Аннотация.*** *В данном исследовании рассматривается задача оптимизации систем управления курсом автономного судна. Проанализированы недостатки в существующих подходах к решению данной задачи. Проведено моделирование работы системы автоматизированного управления курсом судна (САУКС).*
***Ключевые слова.*** *Гирокомпас, курс, автономное судно, авторулевой, автоматизированная система, модель, микропроцессор, информационная безопасность.*

# CYBERSECURITY MODEL OF AUTOMATIC CONTROL COURSE SYSTEM FOR AUTONOMOUS SHIP

**S. A. Mikhailov,** Doctor of technical Sciences, Professor
**R. M. Lukyanenko,** cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

***Annotation.*** *This study addresses the challenge of streamlining ship control systems. The shortcomings of the existing approaches to solving this problem are analyzed. The simulation of an automated course management system was carried out.*
***Keywords.*** *Gyrocompass, course, autonomous ship, autopilot, automated system, model, microprocessor, cybersecurity.*

Важной особенностью большинства управляемых процессов является обратная связь. Понятие обратной связи можно легко проиллюстрировать с помощью простых примеров действий моряка, который управляет судном с помощью рулевого колеса-штурвала. Рулевой матрос выдерживает курс судна в соответствии с заданными командами. Так, при изменении характеристик привода - исполнительного механизма, изменяется положение руля и судно будет сбиваться с курса, если рулевой не имеет никакой информации о действительном направление движения [1].

Можно заметить, что действия по выявлению и коррекции ошибки, а также по управлению показаны как обратная связь от управляемой величины к управляющей. В такой системе фигурирует не только направление движения судна, которое задается положением штурвала, но и само положение штурвала зависит от этого направления. Взаимозависимость двух величин - положение штурвала и курса судна - определяет концепцию, называемую в инженерной среде обратной связью, а термин «автоматические системы управления автономным судном» обычно относятся к автоматическим системам, построенным на этой концепции [2].

Все новые суда морского транспортного флота в настоящее время оборудуются системами автоматического управления (САУ) курсом. САУ курсом судна состоит из прибора управления (ПУ), который обычно называется авторулевым, рулевого привода (РП) с органом, управляющим - рулем, судна как объекта регулирования (ОР), а также внутренней (ОС1) и внешней (ОС2) обратных связей (рис. 1).

Прибор управления системы является вычислительным устройством, построенным на электромеханических и электронных элементах и производящим сигналы управления, пропорциональные по величине углу и угловой скорости отклонения судна от заданного курса.

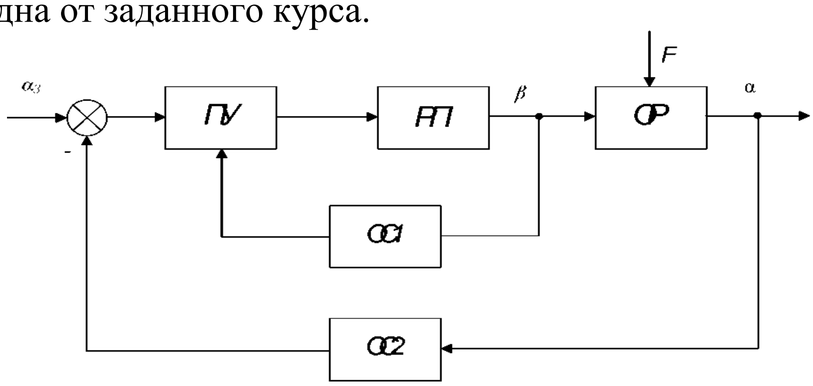



Рисунок 1 - Структурная схема системы автоматического управления курсом автономного судна:
*$a_з$ - заданный курс судна; в - угол перекладки руля; F - внешние силы, Действующие на судно; а - мгновенное значение курса.*

Внутренняя обратная связь в системе осуществляется с помощью устройства, механически связанного с баллером руля и вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный углу поворота руля.

Внешняя обратная связь обеспечивается гирокомпасом, который превратит изменение курса судна в угол поворота сельсина-датчика курса, связанного с сельсином-приемником в авторулевом [3].

Системы автоматического управления курсом удерживают судно на прямом заданном курсе в любую погоду при скорости хода более 5 узлов, а также позволяют изменять заданный курс при введении градусной поправки. При одновременном включении насосов левого и правого бортов скорость перекладки руля увеличивается до 5 град / сек, что положительно влияет на управляемость судна, особенно на малом ходу.

Судно, как объект управления курсом, можно упрощенно представить инерционным звеном 1 порядка, которое имеет уравнение динамики:

$$\mathrm{T}\frac{dw}{dt} + \mathrm{W} = \mathrm{k}\delta \cdot \delta, \qquad (1)$$

где, w - угловая скорость;

$\delta$ - угол перекладки руля;

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

T - постоянная времени, характеризующая инерционность судна;

$k\delta$ - коэффициент управляемости, равный отношению угловой скорости на постоянной циркуляции в соответствующий угла перекладки руля.

В типичных авторулевых применяются пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы, выходной сигнал которых описывается следующим выражением:

$$U = k1\ \Psi + \mathrm{k2}\frac{d\Psi}{dt} + \mathrm{k2}\int \Psi \mathrm{dt}\,, \tag{2}$$

где, $\psi = k_{зад} - K_t$ - угол рыскания;

$k_{зад}$ - заданное значение курса;

$K_t$ - фактическое значение курса;

$k_1\ k_2\ k_3$ - коэффициенты закона управления.

Уравнения динамики регулятора преобразуем к виду, более удобному для реализации в ЭВМ, с учетом следующих замечаний:

а) поскольку исполнительные органы обеспечивают преобразование сигнала регулятора в пропорциональный угол кладки руля, то можно считать U заданным углом кладки руля $\delta_{зад}$.

б)сигнал производной угла рыскания заменим угловой скоростью:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{\mathrm{d}(\text{Кзад} - \text{К}t)}{dt} = -w\,, \tag{3}$$

в) вместо интеграла от угла рыскания введем новую переменную S.

С учетом этих трех замечаний уравнения регулятора (1) заменим на два уравнения:

$$\delta\text{зад} = k1 \cdot (\text{Кзад} - \text{К}t) - k2 \cdot w + k3 \cdot S\,, \tag{4}$$

Для решения данной системы уравнений используется метод численной интеграции - метод Эйлера [4]. Согласно этому методу, в правые части уравнений подставляют значения переменных в начальный момент времени и находят значения производных в начальный момент времени. Далее находят значения переменных в начале второго шага интеграции, суммируя полученные приросты с начальными значениями переменных. На втором шаге интеграции в правые части уравнений системы подставляют значения переменных в начале второго шага и находят значения производных в начале второго шага. Далее определяют значение переменных в начале третьего шага интеграции, суммируя приросты со значениями переменных в начале второго шага и т.д. до конца процесса. Качество переходных процессов в режиме маневрирования оценивается с помощью следующих показателей:

- перерегулирование:

$$П = \frac{Kmax - Кзад}{Кзад}\ , \qquad (6)$$

- время регулирования Тр - время, в течение которого величина динамической ошибки входит в зону заданной статической ошибки (в настоящей работе статическая ошибка принята равной 1% от $к_з$ или 0,3 град)

- интегральная оценка качества переходного процесса:

$$I1 = \int (Кзад - Кt)dt\ , \qquad (7)$$

минимум которой соответствует наилучшему переходному процессу и оптимальным настроечным параметров.

**Алгоритм синтеза управления с планировщиком перемещений**

Для синтеза алгоритмов управления БЭС (безэкипажное судно) используется метод, позволяющий единообразно решать позиционные и траекторные задачи. Для этого сформируем траекторные и скоростные многообразия и получим соответствующее выражение для позиционно-траекторного регулятора:

$$F1 = -M\left[\frac{\boldsymbol{T1} * \boldsymbol{\psi}}{(T2 + T3) * \omega^{Y} + T2 * T3 * \psi^{\wedge}}\right] - \boldsymbol{F}_{i} - \boldsymbol{F}_{г}\ , \qquad (8)$$

где, Т1, Т2, Т3 - положительные коэффициенты;

$\boldsymbol{F}_{г}$ - вектор измеряемых и не измеряемых внешних возмущений;

$\boldsymbol{\psi}$ – траекторные многообразие;

М – (3×3)-матрица массо-инерционных параметров;

$\psi^{\wedge}$ - скоростные многообразия;

F1 - вектор управляющих сил и моментов;

$\boldsymbol{F}_{г}$ - вектор нелинейных элементов динамики;

$\omega^{Y}$ - угловая скорость корабля относительно своей вертикальной оси;

Для исследования предлагаемого регулятора будем использовать математическую модель надводного мини-катера «Нептун»

В ходе моделирования безэкипажное судно должно двигаться из точки (0;0) в точку (150;150) со скоростью 15 м/с. На пути следования БЭС встречаются неподвижные препятствия размерами в 50 м.

Траектория движения БЭС в среде с тремя препятствиями по результатам моделирования в MATLAB приведена на рис. 2 .

На рис. 3 приведены изменения скорости движения и курса БЭС, а также значения управляющих величины – силы тяги и угла поворота рулевой колонки, полученные в результате моделирования.

В алгоритме синтеза управления с планировщиком перемещений предлагается метод обхода препятствия, при котором неустойчивый режим реализуется в отдельном динамическом звене, выход которого корректирует задающие воздействия по курсу БЭС. Это позволяет задавать неустойчивые траектории движения только на уровне планирования, а на регуляторном уровне функционировать в устойчивом режиме.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

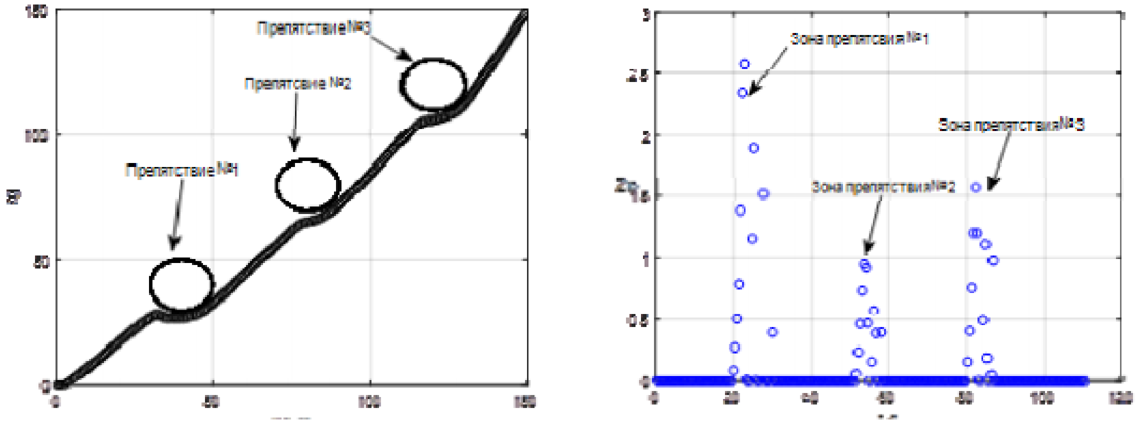


Рисунок 2 – Траектория движения БЭК (слева) и значение дополнительной переменной z (справа)

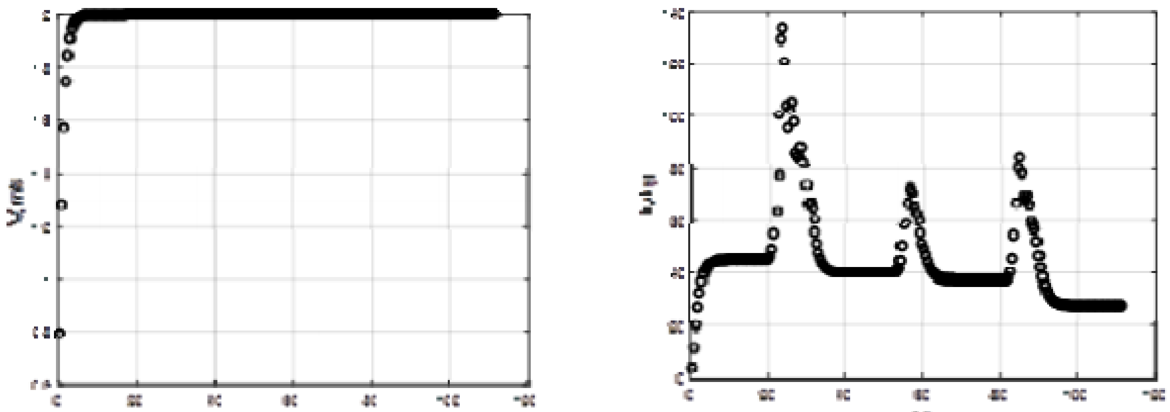


Рисунок 3 – Изменение скорости движения БЭС (слева) и курсового угла (справа)

Не менее важным аспектом является и киберзащищенность авторулевого. Проекты автономных судов находятся на стадии создания, но уже сейчас нужно обеспечить информационную безопасность судна. Развивается автоматизация судоходной отрасли и все подвластно кибератакам. Поэтому нужно уделять внимание и киберзащите, чтобы хакеры или информационные пираты не могли поменять курс судна и внедриться в работу его систем.

**Заключение**. В работе рассмотрены математические модели работы систем автоматического управления курсом автономного судна и оценки качества управления в разных режимах работы судна.

### ЛИТЕРАТУРА


1. Шибаев, А. Г. Обобщение и развитие моделей оптимальной расстановки флота морской судоходной компании / А. Г. Шибаев // Весник Одесского государственного морского университета. - Одеса: ОДМУ, Астропринт, 1998. - № 2. - С. 66 -72.
2. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology [Text] / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Energy Procedia. - 2015. - Vol. 100. - P. 1247-1252. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.490.
3. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. - 3-е изд., перераб. и доп. - Одесса: Фенікс, - 2007. - 328 с.
4. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Одесса: Латстар, - 2002. - 310 с.

УДК 681.518

# ЗАЩИТА ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В БЕРЕГОВОМ СЕГМЕНТЕ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

**Ю.С. Шевцов**, к.т.н., доцент,
**Н.С. Михайлов**, аспірант,
**И.И. Исарев**, курсант
Национальный Университет «Одесская Морская Академия»

***Аннотация.*** *Морской транспорт имеет решающее значение для мировой экономики. В конкурентной среде, отрасль постоянно стремится к экономии за счет масштаба и эффективности. Это привело к появлению более крупных судов и расширению использования ИТ для достижения большей автоматизации как в портах, так и на море. Используемые технологии уязвимы.*

***Ключевые слова:*** *ИТ, флот, судно, безопасность, система, киберсреда, кибербезопасность, технологии.*

# DIGITAL DATA PROTECTION IN THE SHORE SEGMENT OF SEA TRANSPORTATION

**Y.S. Shevtsov**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor,
**N.S. Mikhailov**, graduate student,
**I.I. Isariev**, cadet
National University "Odessa Maritime Academy"

***Annotation***. *Shipping is critical to the global economy. In a competitive environment, the industry is constantly striving for economies of scale and efficiency. This has led to the emergence of larger vessels and increased use of IT to achieve greater automation both in ports and at sea. The technologies used are vulnerable.*

***Keywords****: IT, fleet, ship, security, system, cyber environment, cyber security, technology*.

Общество сильно зависит от надежных и безопасных морских перевозок товаров и сырья. Морской транспорт отвечает за обработку более 80% объема мировой торговли и составляет более 70% ее стоимости. Мировой судоходный флот продолжает расширяться, за последние годы объём увеличился более чем на 37%. Отражая этот рост объемов торговли и грузоперевозок, пропускная способность мировых контейнерных портов увеличилась примерно на 12,6% в 2020 году, а дальнейший двузначный рост прогнозируется на 2021 и 2022 годы.

Морские перевозки также широко используются как паромными, так и круизными компаниями. Наряду с этим расширением торговли, судовладельцы и операторы использовали преимущества технологических достижений, чтобы получить выгоду от операционной экономии от масштаба, например, за счет строительства все более крупных судов.

## Использование ИТ в морском транспорте

С точки зрения ИТ, морской транспорт можно рассматривать как включающий в себя две связанные, но разные области: береговые технологии, связанные с работой портов, и морские элементы, связанные с работой судов.

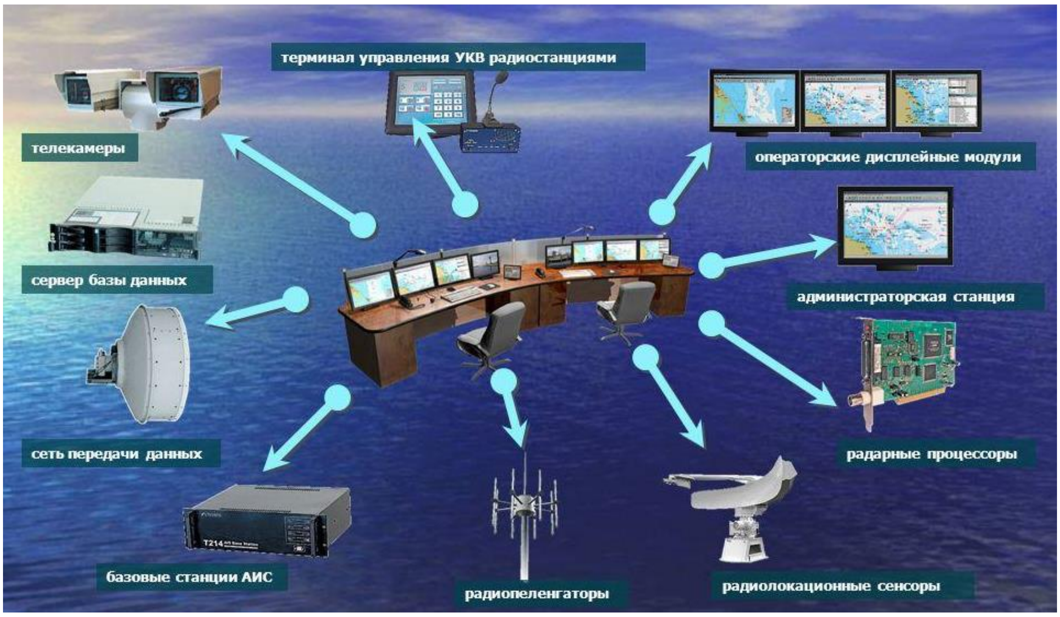
ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

**Рассмотрим использование ИТ в портах**

Использование ИТ в портах эффективно помогает справляться с растущими объемами пассажиропотоков и торговли, а также обеспечивать надлежащую безопасность границ. Порты широко используют ИТ, системы используемые в порту, могут включать:

- Системы безопасности - например, контроль доступа с использованием систем безопасности или удостоверений личности для контроля доступа в чувствительные, или закрытые зоны через двери, или ворота для персонала. Использование видеонаблюдения для наблюдения за периметрами и доступом в чувствительные зоны. Использование автоматического распознавания номерных знаков (ANPR) для управления доступом к сайту автомобилей и автотранспортных средств. Системы контроля доступа могут также использоваться сотрудниками таможни и пограничной службы безопасности там, где порт обрабатывает пассажирские перевозки, например для круизных лайнеров.
- Системы связи - варьируется от мобильного радио, электронной почты и веб-сайтов до специальных сообщений, касающихся грузов, для поддержки отслеживания грузов и таможенного оформления. Некоторые средства связи могут использовать фиксированные кабельные сети, но все чаще используются беспроводные сетевые технологии для обеспечения большей гибкости.
- Бизнес-системы, в том числе - Terminal OperationSystem (TOS), Container Terminal Management System (CTMS) и традиционные вспомогательные системы, такие как системы управления персоналом.
- Системы автоматизации терминалов, в том числе программное обеспечение для планирования работы судов, оборудование верфей и техническое обслуживание. Эти системы могут использоваться для оптимизации использования причалов, кранов и верфей, чтобы обеспечить эффективный и своевременный оборот судов.
- В портах также широко используются системы управления подъемными кранами, портовым оборудованием, удаленным мониторингом оборудования, управлением зданиями, а также для контроля ворот и доступа в здания. В некоторых портах сейчас используются краны без оператора и другие транспортные средства для обеспечения автоматизированной обработки контейнеров.

Эти портовые системы все чаще используются в интегрированном виде. Например, чтобы включить автоматический вход в контейнерный терминал, когда система ANPR считывает номерной знак транспортного средства, а оптическое распознавание символов (OCR) используется для чтения номера контейнера. Система проверяет идентификационные данные транспортных средств и контейнеров по заранее забронированным графикам доставки и обеспечивает доступ к месту утвержденных транспортных средств и контейнеров. Системы визуализации также могут использоваться для обнаружения повреждения контейнера до его поступления в терминал. Если обнаружено какое-либо повреждение, система может предупредить персонал терминала о необходимости расследования до дальнейшей обработки контейнера.




**Конвергенция технологий**

Использование электроники для навигации, связи и управления не ново. Судовой морской радар был разработан после Второй мировой войны, а морское радио использовалось до этого ещё ранее. Электрические и электронные системы управления - это хорошо зарекомендовавшие себя технологии, и системы часто разрабатывались или настраивались для конкретных применений и судов. Тем не менее, был сделан шаг к использованию коммерчески доступных технологий связи и систем управления, а не к индивидуальным разработкам. Это дает преимущество в сокращении времени и затрат на разработку, но в результате системы основаны на технологиях и операционных системах, аналогичных тем, которые используются в наших личных и офисных ИТ-системах.

**Кибербезопасность берегового сегмента**

Некоторые средства массовой информации создают впечатление, что на кибербезопасность берегового сегмента в первую очередь влияет Интернет. Важно понимать, что кибербезопасность влияет больше, чем сети на основе IP. Согласованное на международном уровне определение, которое признает эту более широкую сферу кибербезопасности, - это набор инструментов, политик, концепций безопасности, мер безопасности, руководящих принципов, подходов к управлению рисками, действий, обучения, передовых методов, гарантий и технологий, которые могут использоваться для защиты киберсреды. Это определение относится к «киберсреде» (также известной как киберпространство), которая фактически включает в себя взаимосвязанные сети электронных, компьютерных и беспроводных систем. Это определение также относится к «активам организации и пользователя», которые фактически включают все подключенные вычислительные устройства, персонал, инфраструктуру, приложения, услуги, телекоммуникационные системы и совокупность передаваемых, обрабатываемых и/или хранимых данных и информации в киберсреде. Важно понимать, что кибербезопасность охватывает не только технологии, но и аспекты

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

людей и процессов. Поведение отдельных пользователей системы, внедрение некачественных процессов и несоблюдение стандартных операционных процедур - все это может ослабить систему и создать уязвимости кибербезопасности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. United Nations: 'World Economic Situation and Prospects 2012 (United Nations, NewYork, 2012). e-ISBN: 978-92-1-055103-8. Chapter 2, p. 44. Available online at: http://www.un.org/en/development/desa/policy/wesp/wesp_archive/2012chap2.pdf. Last accessed:16 September 2020
2. UNCTAD: 'Review of Marine Transport'. United Nations Conference on Trade and Development, Geneva, 2012. e-ISBN: 978-92-1-055950-8, Available online at: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2012_en.pdf.Last accessed: 16 September 2020
3. United Nations: 'World Economic Situation and Prospects 2012', 2012, Chapter 2, p. 46
4. MCCARTHY C.: 'Department of Homeland Security Control Systems Security Program – Transportation Sector'. Available online at: http://www.cruising.org/sites/default/files/leadershipforum2012/Trends%20p2%20Ben%20Shore%20CLIA%2014%20Nov.pdf. Last accessed:16 September 2020, (2012)

УДК 681.518

## ЗАХИСТ ЦИФРОВИХ ДАНИХ В СУДНОВОМУ СЕГМЕНТІ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

**Ю.С. Шевцов**, к.т.н., доцент
**Н.С. Михайлов**, аспірант
**Д.Д. Дмухайлов**, курсант
Національний Університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *IT-технології повсюдно застосовуються для автоматизації процесів управління як в береговому портовому секторі, так і на морі. Технології, що використовуються також уразливі для погроз кібербезпеки, як і в інших секторах, які зачіпають комерційну, виробничу і урядову системи. Розглянемо загрози в морському середовищі і досліджуємо необхідність підвищення обізнаності та захисту того, що насправді є системами морського промислового контролю.*
***Ключові слова:*** *IT-технології, автоматизація, морські системи, інтернет, кіберфізіческіе системи, кібербезпека, морський транспорт.*

## DIGITAL DATA PROTECTION IN THE SHIP SEGMENT OF MARINE INFRASTRUCTURE

**Y.S. Shevtsov**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor
**N.S. Mikhailov**, graduate student
**D.D. Dmukhailov**, cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

***Annotation:*** *IT- technologies are widely used to automate management processes both in the port sector and at sea. The technologies used are also vulnerable to cybersecurity threats as they are in other sectors affecting commercial, manufacturing and government systems. Consider threats in the marine environment and explore the need to raise awareness and protect what are actually maritime industrial control systems.*
***Keywords:*** *IT- technologies, automation, maritime systems, internet, cyber-physical systems, cyber security, maritime transport.*

Великі судна вимагають високої ефективності як при експлуатації в море, так і при управлінні портовими послугами. Це стимулювало більш широке використання автоматизації і інформаційних технологій (ІТ) як на суднах, так і на березі. Аналіз виявив низький рівень обізнаності про кібербезпеку в морському секторі і що поточні морські правила і політика в першу чергу зосереджені на фізичних аспектах безпеки і охорони. Проведемо дослідження ІТ-систем, що використовуються в даний час в морських перевезеннях, як на судах, так і в портах і на вантажних терміналах. Досліджуємо деякі потенційні наслідки інцидентів кібербезпеки, які можуть включати загибель людей, пошкодження або знищення судів і їх вантажів, економічний або екологічний збиток і серйозні збої в ланцюжках морських поставок. Розглянемо необхідність поліпшення морської кібербезпеки і кроки, які можуть бути зроблені для зниження ризиків кібербезпеки.

**Використання ІТ в морському транспорті**

З точки зору ІТ, морський транспорт можна розглядати як включає в себе дві пов'язані, але різні області: берегові технології, пов'язані з роботою портів, і морські елементи, пов'язані з роботою суднів.

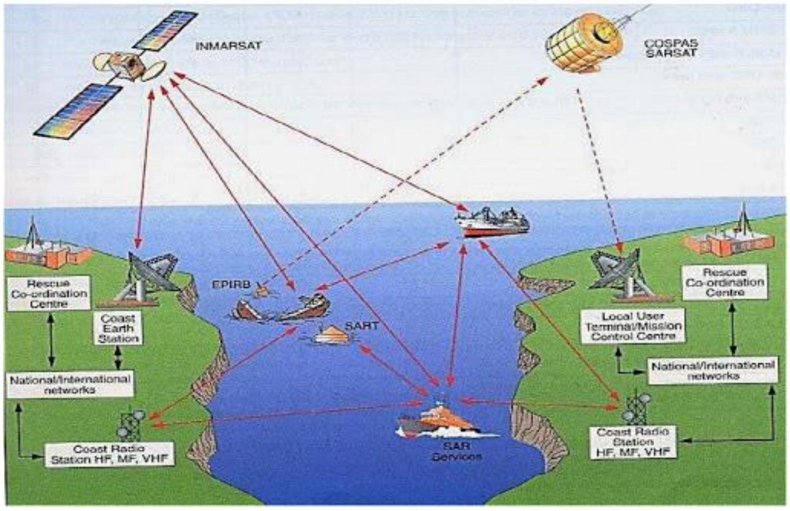
**Розглянемо використання ІТ на судах**

Інформаційні технології широко використовуються на судах. Наприклад, в круїзної індустрії судна класу CarnivalCruise Line OASIS оснащені 900+ точками бездротового доступу, 30000+ IP-портами і 1200 бездротовими телефонами, з'єднаними 600000 м волоконно-оптичного кабелю і 44 точками комутації мереж. У загальному плані для підтримки автоматизації судів широко використовуються морські системи на базі ІТ, включаючи :

- Навігаційні системи, вони можуть включати електронні карти (ECDIS), глобальні системи позиціонування (GPS), системи позиціонування, радар і систему автоматичної ідентифікації (AIS).
- Системи зв'язку, включаючи радіо (наземні і супутникові), і передачу даних (широкосмуговий, доступ в Інтернет, електронна пошта).
- Інтегрований місток з комп'ютерними консолями і всіма системами, інтегровано з'єднаними між собою.
- Системи для управління та експлуатації широкого спектра електромеханічних систем, наприклад, головного двигуна, генераторів. баластні цистерни, життєзабезпечення, паливні та масляні насоси, водонепроникні двері, пожежна сигналізація і управління, вентилятори вантажних трюмів і контроль навколишнього середовища.

Як бачимо з цього діапазону систем, багато кораблів стали складними платформами з комп'ютерним управлінням, де оператори мають обмежений фізичний контроль. Використання цифрових комунікацій для зв'язку морських систем з береговими додатками означає, що судно також є частиною світу, в якому домінує Інтернет.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245




**Кіберфізичні системи**

Морські системи фактично є кіберфізичними системами. Це комп'ютерні (кібернетичні) системи, які включають в себе комбінацію датчиків, процесорів і виконавчих механізмів в реальному світі для управління або контролю конкретних результатів. Хоча є багато спільного між традиційною обробкою даних і кіберфізичними системами, але є також деякі суттєві відмінності. Два важливих відмінності:

- Кіберфізичні системи - це системи управління, що працюють в режимі реального часу і впливають на фізичні результати в реальному світі;
- Можуть бути серйозні фізичні наслідки, що виникають з відмови або несправності кіберфізичної системи, потенційно включаючи загибель людей, матеріальні збитки, забруднення та екологічної шкоди.

З огляду на зростаюче поширення кіберфізичних систем і потенційні наслідки їх збоїв, важливо, щоб вони були надійними, тобто працювали надійним і безпечним чином.

**Кібербезпека в морському транспорті**

У звіті ENISA (Агентство Європейського Союзу з питань мережевої та інформаційної безпеки, англ. European Union Agency for Network and Information Security), відомо що поінформованість про кібербезпеку в морському секторі в даний час низька або зовсім відсутня. Морським операторам пощастило, що до теперішнього часу було мало атак, спрямованих на суднові системи. Те ж саме можна сказати про портові системи, де, як стверджується, сталися атаки, що дозволили вкрасти цінний вміст з морських контейнерів. На сучасних судах критично важливими системами зазвичай є цифрові системи, що використовують технологію промислових систем управління, часто з можливістю підключення до мережі, що дозволяє в реальному часі обмінюватися інформацією з іншими судновими і береговими системами. Промислові системи управління явно є цілями для кібератак, про що свідчать два види шкідливих програм - Stuxnet і Duqu. Комбінація технологій і можливості підключення робить морські системи управління вразливими для атак цього типу. Якщо велике вантажне судно буде атаковано на море шкідливим програмним забезпеченням, яке відключить ключові системи, то наслідки цієї події можуть завдати економічної шкоди і навіть привести до втрати судна. Уразливі не тільки системи управління, а й використання GPS для навігації і позиціонування. Щодо слабкі сигнали для супутників GPS чутливі до перешкод, і в продажу є легко доступні пристрої, які можуть створювати перешкоди. Повідомляється, що спуфинг сигналів GPS успішно реалізується. Спуфинг - це метод, який включає створення хибних сигналів, в даному випадку помилкових сигналів цивільної GPS. Це дозволяє третій стороні отримати контроль над судновими GPS-приймачами не маючи прав на використання суднового навігатора. Використання комерційно доступну технологію Wi-Fi на борту суден може відкрити ще один спосіб отримання контролю або відключення систем управління. Це особливо актуально там, де Wi-Fi погано захищений і забезпечує підключення до критично важливих мереж і систем управління.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Enisa: 'Analysis of Cyber Security Aspects in theMaritime Sector'. Available online at: http://www.enisa.europa.eu/activities/Resilience-and-CIIP/critical-infrastructure-and-services/dependencies-of-maritime-transport-to-icts/cyber-security-aspects-in-the-maritime-sector-1.Lastaccessed: 16 September 2020, (2011).

2. IET Sector Insights: 'Global challenges in maritimesecurity'. Institution of Engineering and Technology.Available online at: http://www.theiet.org/sectors/transport/maritime-security.cfm. Last accessed: 16September 2020, (2013).

3. Rolls Royce: 'Positioning systems'. Available online at:http://www.rolls-royce.com/marine/ products/ automation_control/positioning_systems/index.jsp. Last accessed: 16September 2020, (2013).

4. Rolls Royce: 'Integrated bridge systems'. Availableonline at: http://www.rolls-royce.com/marine/products/ automation_control/integrated_bridge_systems/index.jsp.Last accessed: 16 September 2020, (2013).

УДК 681.518.

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

**С.А. Михайлов**, д.т.н., профессор
**А.С. Кононенко**, магистрант
Национальный университет «Одесская морская академия»

***Аннотация:*** *Методы поиска оптимальных решений представляют собой обобщение большого количества самостоятельных, в большинстве своем математических теорий с целью решения задач оптимизации. В общем случае к этой группе можно также отнести методы неформального сведения сложной задачи к формальному описанию с последующим применением формальных подходов. Комбинирование методов этих трех групп позволяет расширить возможности применения формальных теорий для проведения полноценного моделирования систем защиты.*

***Ключевые слова****: модель, кибербезопасность, методы, кибератаки, защита,, угрозы, технологии.*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# ANALYSIS OF MODELS AND ALGORITHMS FOR DETECTING COMPUTER ATTACKS

**S. Mikhaylov**, Dr. of Science, Professor
**A.Kononenko**, master
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *Methods of finding optimal solutions are a generalization of a large number of independent, mostly mathematical theories in order to solve optimization problems. In general, this group can also include methods of informal reporting of a complex task to formal description, followed by formal approaches. Combining the methods of these three groups allows to expand the possibilities of applying formal theories for carrying out full simulation of protection systems.*
***Key-words:*** *Model, cybersecurity, methods, cyberattacks, protection, threats, technology.*

**Введение.** Системы обнаружения сетевых вторжений и выявления признаков атак на информационные системы уже давно применяются как один из необходимых рубежей обороны информационных систем. Разработчиками систем защиты информации и консультантами в этой области активно применяются такие понятия, как защита по периметру, стационарная и динамическая защита, стали появляться собственные термины, например, проактивные средства защиты. На сегодня системы обнаружения вторжений и атак обычно представляют собой программные или аппаратно-программные решения, которые автоматизируют процесс контроля событий, протекающих в компьютерной системе или сети, а также самостоятельно анализируют эти события в поисках признаков проблем безопасности. Поскольку количество различных типов и способов организации несанкционированных проникновений в чужие сети за последние годы значительно увеличилось, системы обнаружения атак (СОА) стали необходимым компонентом инфраструктуры безопасности большинства организаций. Современные системы обнаружения вторжений имеют различную архитектуру.

Классификации СОА следует уделить отдельное внимание, поскольку зачастую, используя общепринятую классификацию СОА, специалисты принимают решение о том, какой из программных продуктов применить в той или иной ситуации. На данный момент можно разделить все системы на сетевые и локальные. Сетевые системы обычно устанавливаются на выделенных для этих целей компьютерах и анализируют трафик, циркулирующий в локальной вычислительной сети. Системные СОА размещаются на отдельных компьютерах, нуждающихся в защите, и анализируют различные события (действия пользователя или программные вызовы). Также различают методики обнаружения аномального поведения и обнаружения злоумышленного поведения пользователей [2].

Все информационные активы предприятия подвержены рискам реализации угроз кибербезопасности посредством эксплуатации злоумышленниками некоторых известных уязвимостей. Для решения задачи снижения финансовых убытков от подобных инцидентов необходимы инвестиции в правильно отобранные процессы и технологии, обеспечивающие предупреждение и обнаружение рисков безопасности, защиту от их воздействия и реагирование на них. Следует понимать, что защита информации в общем случае сочетает применение технических средств и проведение организационных мероприятий. Далее в статье пойдет речь о теории построения системы защиты информационной инфраструктуры предприятия и его информационных активов. В процессе проектирования сложных систем, таких как комплексные и интегрированные средства защиты информации (СЗИ) информационных систем (ИС), в большинстве случаев прибегают к моделированию основных процессов, происходящих внутри системы и на стыке среда-система. Кроме того, модели могут использоваться для проведения мониторинга и аудита безопасности на этапах эксплуатации и сопровождения ИС. Под моделированием здесь понимаются математическое моделирование, позволяющее получить формальное описание системы и производить в дальнейшем количественные и качественные оценки ее показателей. Выделим следующие теории, которые могут быть положены в основу моделей СЗИ:

– теории вероятностей и случайных процессов;
– теории графов, автоматов и сетей Петри;
– теория нечетких множеств;
– теории игр и конфликтов;
– теория катастроф;
– эволюционное моделирование;
– формально-эвристический подход;
– энтропийный подход.

Отличия большинства моделей заключаются в том, какие параметры они используют в качестве входных, а какие — представляют в виде выходных после проведения расчетов. Кроме того, в последнее время широкое распространение получают методы моделирования, основанные на неформальной теории систем: методы структурирования, методы оценивания и методы поиска оптимальных решений. Методы структурирования являются развитием формального описания, распространяющимся на организационно-технические системы. Использование этих методов позволяет представить архитектуру и процессы функционирования сложной системы в виде, удовлетворяющем следующим условиям:

-полнота отражения основных элементов и их взаимосвязей;
-простота организации элементов и их взаимосвязей;
-гибкость — простота внесения изменений в структуру и т. д.

Методы оценивания позволяют определить значения характеристик системы, которые не могут быть измерены или получены с использованием аналитических выражений, либо в процессе статистического анализа, — вероятности реализации угроз, эффективность элемента системы защиты и др. В основу таких методов положено экспертное оценивание — подход, заключающийся в привлечении специалистов в соответствующих областях знаний для получения значений некоторых характеристик. Методы поиска оптимальных решений представляют собой обобщение большого количества самостоятельных, в

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

большинстве своем математических теорий с целью решения задач оптимизации. В общем случае к этой группе можно также отнести методы неформального сведения сложной задачи к формальному описанию с последующим применением формальных подходов. Комбинирование методов этих трех групп позволяет расширить возможности применения формальных теорий для проведения полноценного моделирования систем защиты [1].

Благодаря большому опыту в сфере защиты данных, Американское бюро судоходства (АБС) поддерживает морские и оффшорные сообщества, разрабатывая стандарты морской и оффшорной кибербезопасности, разрабатывая новые методы и ведущие отрасли с лучшими практиками в приверженности безопасности и сохранности жизни и имущества, и сохранению окружающей среды.

Кибербезопасность относится к безопасности информационных сетей и систем управления, а также оборудования и систем, которые обмениваются данными, хранят их и действуют на них. Кибербезопасность охватывает системы, корабли и оффшорные активы, но включает в себя третьи стороны - субподрядчиков, техников, поставщиков - и внешние компоненты, такие как датчики и аналитические системы, которые взаимодействуют с сетями и системами данных. Это включает в себя человеческое взаимодействие экипажей и другого персонала компании, клиентов и потенциальных игроков угрозы. В такой динамичной системе кибербезопасность представляет собой развивающийся набор возможностей внутри компании, который развивается и адаптируется по мере развития технологий и угроз[3].

АБС применяет комплексный подход к управлению рисками в морской отрасли и представляет свою «модель возможностей» (Рис.1) по внедрению кибербезопасности в морскую отрасль.


Рисунок 1 – Модель возможностей

Благодаря опыту в исследовании традиционных угроз (Рис.2), а также реальных инцидентов, АБС создало Программное обеспечение Nautical Systems Fleet Management Software с рядом приложений (NS Cloud, NS Workboat, NS Superintendent, NS Vessel Mobile, NS Inspection и др), которые минимизируют риски и помогут обеспечить безопасную транспортировку.


Рисунок 2 – Традиционные угрозы кибербезопасности

Комплексные решения АБС по кибербезопасности включают в себя:

- Возможности информационных технологий (ИТ) и операционных технологий (ОТ) на каждом этапе защиты;
- Оценка кибербезопасности с использованием отмеченной наградами модели FCI Cyber Risk ™;
- Тренинг по ознакомлению с программой кибербезопасности;
- ОТ Cyber Security Office Управление и реагирование на инциденты;
- ОТ Система документации и управления изменениями.

**Заключение.** Управление рисками для судовых и морских активов и систем должно сосредоточиться на:

1. Функциональном обеспечении в значительной степени автоматизированных и интегрированных систем.
2. Продуманном проектировании систем данных и управления, включая оценку рисков по всем функциональным и операционным зонам безопасности.
3. Тщательном тестировании аппаратного, программного и интеграционного интерфейсов.
4. Мониторинге производительности с использованием показателей целостности и безопасности.
5. Измеримом восприятии безопасности и соответствии с использованием комбинированной ситуационной осведомленности и поддержки принятия решений.

Риски могут быть незначительными, но могут быть каскадными, а тщательная разработка системы - лучшая защита от непредвиденных последствий.

## ЛИТЕРАТУРА

1.Курилов Ф. М. Моделирование систем защиты информации. Приложение теории графов [Текст] // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. — С. 6-9. — URL https://moluch.ru/conf/tech/archive/165/9766/.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

2. Ганиев А. А., Касимова Г. И. Анализ моделей и алгоритмов обнаружения компьютерных атак на основе положений политики безопасности // Молодой ученый. — 2016. — №9. — С. 54-57. — URL https://moluch.ru/archive/113/29266/.

3. ABS CyberSafety™, 27 July 2016 SOCP Webinar, John Jorgensen Director, Cyber and Software American Bureau of Shipping

УДК 005.93:005.8:001.891

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ КОНФІДЕНЦІЙНИХ ДАНИХ СУДНОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

**С.А. Михайлов**, д.т.н., проф.,
**Р. Ю. Харченко**, к.т.н.
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Для захисту суднових інформаційних мереж регулярно вживають заходи для забезпечення безпеки своїх кораблів і морських активів. Комерційні судна зазвичай застосовують спеціальні заходи безпеки при певних обставинах для запобігання крадіжок, піратства, контрабанди або затримок. Ці злочини зазвичай економічно мотивовані, де руйнування не є метою, а офшорні активи є головними цілями. Для злочинних цілей стали використовувати кібератаки. Схильність цим загрозам стала розповсюдженою через експоненціальне зростання методів автоматизації і все більшу автономність, яка проникла майже в усі аспекти суднових і офшорних систем активів.*
***Ключові слова****: кібербезпека, кібератака, інформаційна мережа, стандарт, актив.*

## IMPROVING THE LEVEL OF INFORMATION SECURITY OF CONFIDENTIAL DATA ON SHIP'S INFORMATION NETWORKS

**S. A. Mikhailov**, Dr. of Science, Professor
**R. Yu. Kharchenko**, Ph.D
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *To protect ships' information networks, they regularly take steps to ensure the safety of their ships and offshore assets. Commercial ships usually apply special security measures under certain circumstances to prevent theft, piracy, smuggling or delay. These crimes are usually economically motivated, where destruction is not the target and offshore assets are the main targets. Cyberattacks began to be used for criminal purposes. The propensity for these threats has become pervasive through the exponential growth of automation techniques and the increasing autonomy that has permeated almost every aspect of ship and offshore asset systems.*
***Key-words:*** *cybersecurity, cyber attack, information network, standard, asset.*

Кібербезпека відноситься до безпеки інформаційних мереж і систем управління, а також обладнання і систем, які обмінюються даними, зберігають їх і діють на них. Кібербезпека охоплює системи, кораблі і офшорні активи, але включає в себе треті сторони - субпідрядників, техніків, постачальників - і зовнішні компоненти, такі як датчики і аналітичні системи, які взаємодіють з мережами і системами даних. Це включає в себе людську взаємодію екіпажів та іншого персоналу компаній, клієнтів і потенційних гравців загрози. У такій динамічній системі кібербезпека є набір можливостей всередині компанії, що розвивається і адаптується в міру розвитку технологій і загроз [1].

Сьогодні власники і оператори в морській і офшорної галузях стикаються з великими проблемами, ніж будь-коли: змінюється робоча сила, постійно змінюється нормативно-правове середовище і економічні перспективи [2].

Щоб краще зрозуміти від яких кіберзагроз потрібно захищати судна та морські активи, оператору повинна надаватися можливість перегляду інформації, що зберігається з метою її аналізу [3].

Результати моніторингу можуть використовуватися для вирішення різних завдань: для ознайомлення з поточними значеннями параметрів роботи обладнання, для аналізу функціонування систем і механізмів за певний час, для визначення причини виниклої несправності тощо. Ефективність вирішення цих завдань істотно залежить від наявності в інформаційного фільтру. Тільки надання оператору можливості викликати важливу для розглядання задачі інформацію і отримувати її в концентрованій легко зрозумілій формі забезпечує ефективне вирішення завдань на основі даних моніторингу. Запропонований процес прийняття рішень про активи має наступний вигляд (рис. 1):

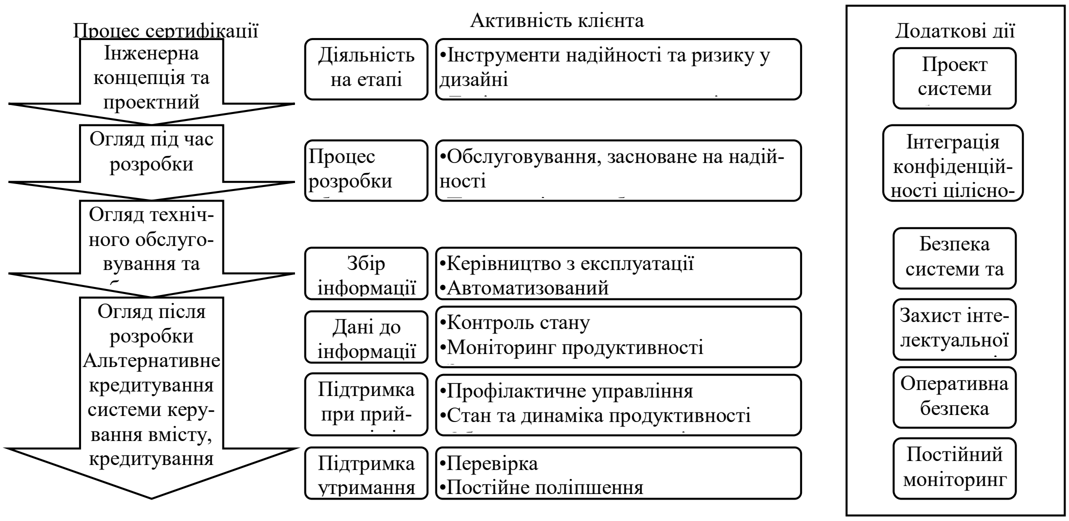



Рисунок 1 – Структура взаємодії процесів прийняття рішень про активи

**Висновки.** Запропонована структура взаємодії процесів прийняття рішень про активи дозволить істотно підвищити рівень інформаційної безпеки конфіденційних даних учасників і забезпечити захист інформації в суднових електронних навігаційних системах і інформаційних мережах в цілому.

**ЛІТЕРАТУРА**

**1.** С. А. Михайлов Методи аналізу рівня експлуатаційної кібербезпекі суднових інформаційних систем / С. А Михайлов, Ю.С. Шевцов // Судовождение: Сб. науч. трудов / НУ “ОМА”, - Вып. 26. – Одесса: ВидавІнформ, 2016. – с. 166-176.

**2**. Михайлов С. А., Шевцов Ю.С. Структура защиты информации в Международной гидрографической организации. - В кн.: Информационные управляющие системы и технологии, Проблемы и решения. - Одесса: изд-во "Экология". - 2019. - 244 с. (С. 86-99).

**3**. Михайлов С. А. Міжнародні вимоги американського бюро судноплавства до стандартів кібербезпеки морських автоматизованих систем / Михайлов С. А., Шевцов Ю.С., Харченко Р. Ю. // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» 24 - 26 вересня 2020, – Одеса: ОНМУ, 2020. С. 82-84.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# Секція 9. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

УДК 681.51:621.316.79

## ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВИПУСКНИМ КЛАПАНОМ СУДНОВОГО МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

**В.В. Нікольський,** д.т.н., професор
**Є.М. Оженко**, к.т.н., доцент кафедри АСЕУ
**С.О. Вовкович**, здобувач другого рівня освіти
**Р.І. Кукузей**, здобувач другого рівня освіти
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Розглянуто систему управління випускним клапаном суднового малообертового двигуна з електронним управлінням та можливість використання п'єзоелектричного приводу для повного усунення допоміжної гідравлічної системи. Також показано можливість зменшення кількості аварійних зупинок за рахунок заміни електро-гідравлічних пропорційних клапанів та електромагнітний клапанів на клапани з п'єзоелектричним приводом.*
***Ключові слова****: управління випускним клапаном, п'єзоелектричні перетворювачі, п'єзоелектричні складальні стовпи.*

## EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING A PIEZOELECTRIC DRIVE TO CONTROL MARINE SLOW SPEED ENGINE'S EXHAUST VALVE

**V.V. Nykolskyi,** doctor of technical science, professor
**Y.M.Ozhenko**, PhD, associate professor of Ship's Power Plant Automation Department
**S.O. Vovkovych**, applicant of the second level of education
**R.I. Kukuzei**, applicant of the second level of education
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *The marine low-speed engine with electronic control exhaust valve control system and the possibility of using a piezoelectric drive to completely eliminate the auxiliary hydraulic system are considered. The possibility of reducing the number of emergency stops by replacing electro-hydraulic proportional valves and solenoid valves with piezoelectric actuators is also shown.*
***Key-words:*** *exhaust valve control, piezoelectric transducers, piezo stack.*

Постійно діючою вимогою операторів судна є отримання мінімальних загальних експлуатаційних витрат, і особливо мінімально можливої питомої витрати палива при будь-якому навантаженні і в даних умовах експлуатації.

Однак малообертові двотактні головні двигуни «традиційного» типу з розподільним валом з ланцюговим приводом мають дуже обмежену гнучкість щодо упорскування палива і управлінні випускним клапаном, які є двома найбільш важливими вузлами при налаштуванні двигуна для відповідності поточним умовам експлуатації [1, 2].

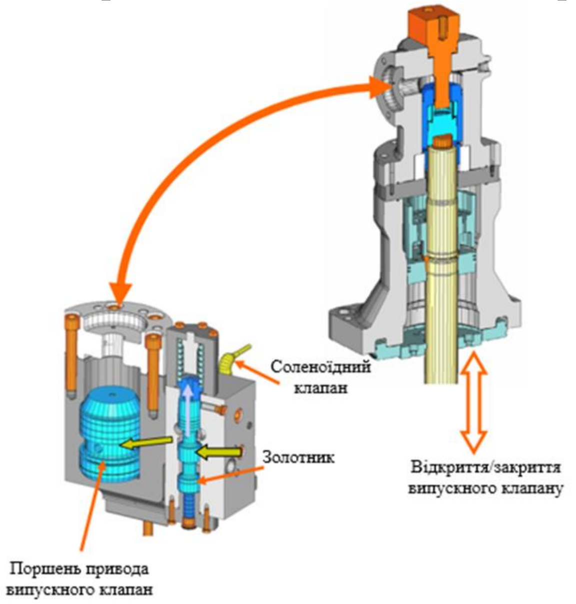
Система з електронним управлінням гідравлічної активації забезпечує необхідну гнучкість, і такі системи становлять основу системи управління двигунів з електронним управлінням.

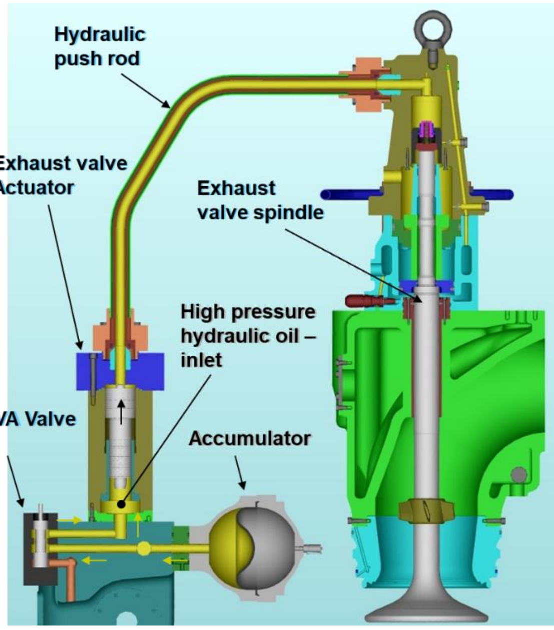
Концепція двигуна з електронним управлінням складається з гідравлічно-механічної системи для активації уприскування палива і випускних клапанів.

Приводи управляються електронним способом за допомогою ряду блоків управління, що утворюють повну систему управління двигуном.

Як було показано у [3, 4, 5, 6] витрати енергії двигуна на привід насосів, що підтримують тиск у акумуляторі мастила, можна скоротити за рахунок використання виконавчих механізмів на базі п’єзоелектричних перетворювачів та виключення гідравлічної системи, але не дозволяє усунути її повністю, тому що вона також забезпечує переміщення випускного клапана. Для повного усунення гідравлічної системи та, як наслідок, підвищення енергетичної ефективності двигуна необхідно розробити привід випускного клапана, що дозволить забезпечити необхідні зусилля та переміщення без гідравлічної системи. Одним з найбільш перспективних типів приводу, як показано в [3] є п’єзоелектричний.

В сучасних суднових двигунах управління випускним клапаном здійснюється мікроконтролером, що подає сигнал на електро-гідравлічний пропорційний клапан [7] або електромагнітний клапан [8], які відкривають прохід мастила під тиском до привода випускного клапана (рис.1). Мастило переміщує гідравлічний поршень, що забезпечує відкриття випускного клапана. Закривається клапан традиційно «пневматичною пружиною».




*а*) *б*)

Рисунок 1 – Приводи випускних клапанів сучасних суднових дизелів: *а* – Wartsila RT-Flex, *б* – MAN-B&W ME

Привід випускного клапану суднового малообертового двигуна повинен забезпечувати його переміщення на відстань від 70 до 150 мм, залежно від моделі двигуна, за 25-30$^{o}$ повороту колінчатого валу та розвивати значне зусилля [7].

Відомо, що складальні стовпи забезпечують високі зусилля та швидкодію, але переміщення на 3-4 порядки нижче за необхідне. Тому вони потребують використання дуже громіздких пристроїв (важіль, система гідравлічних циліндрів, тощо), що збільшують переміщення. Лінійні двигуни забезпечують необ-

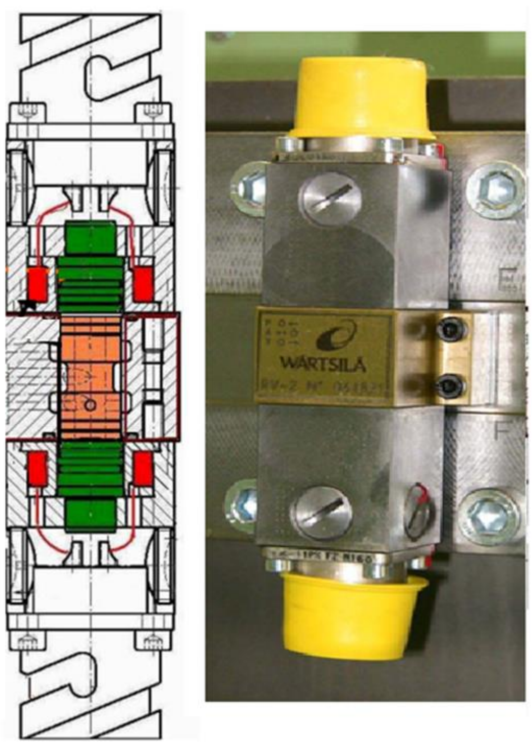
ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

хідні швидкодію та переміщення, але існуючі зразки розвивають зусилля до 100 Н, що не дозволить перемістити клапан. Роторні п'єзодвигуни можуть забезпечити необхідні швидкодію, відстань та зусилля, але потребують пристрої перетворення обертального руху в поступальний (шнекова передача, кривошипно-шатунний механізм, тощо). Тому, на даний час, використання п'єзоприводу для безпосереднього приводу випускного клапана є ускладненим.

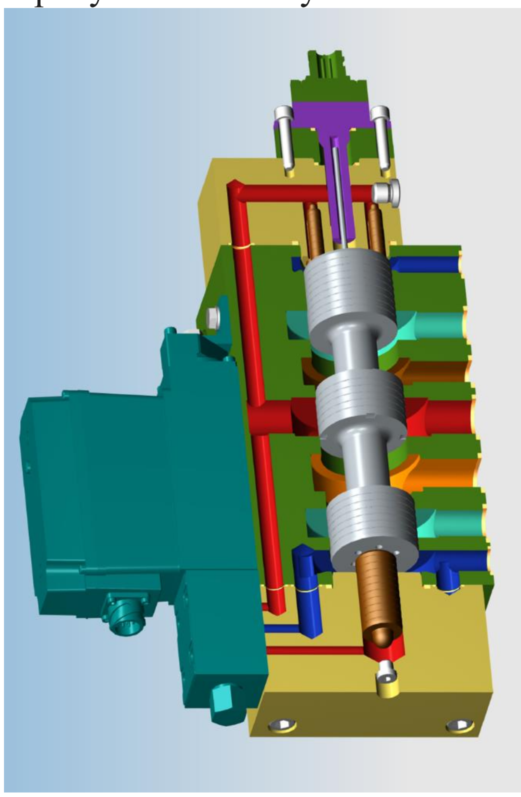
Однак, як вже було зазначено, в гідравлічній системі використовуються електро-гідравлічний пропорційний клапан або електромагнітний клапан, що відкривають або закривають прохід мастила під тиском. З досвіду авторів відомо, що ці клапани часто виходять з ладу, що призводить до вимикання циліндру двигуна, що може привести до важких наслідків.

Електромагнітний клапан двигуна Wartsila RT-Flex (рис.2 а) має переміщення 0,3 мм та не потребує значних зусиль. Тому може бути приведений в дію за допомогою п'єзоелектричних складальних стовпів [9] або лінійних двигунів[10].

Електро-гідравлічний пропорційний клапан фірми MAN-B&W двигунів типу ME (рис.2 б) має переміщення 10 мм, що може бути забезпечено за допомогою п'єзоелектричних лінійних двигунів або складальних стовпів з пристроєм що збільшує переміщення, і також не потребує значного зусилля.




*а*)



*б*)

Рисунок 2 – Управляючі клапани сучасних суднових дизелів: *а* – електромагнітний клапан Wartsila RT-Flex, *б* – електро-гідравлічний пропорційний клапан MAN-B&W ME

**Висновки.** Таким чином, на даному етапі розвитку п'єзоелектричних приводів, повне виключення гідравлічної системи є дуже ускладненою задачею.

Але використання п'єзоелектричних складальних стовпів та лінійних двигунів, в якості приводів управляючих клапанів існуючих електро-гідравлічних систем управління дозволить підвищити їх надійність та зменшити кількість аварійних зупинок судна.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Миюсов М.В., Ланчуковский В.И., Оженко Е.М. Электронные системы управления главными судовыми двигателями: учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2013. – 99 с.

2. С.А. Карьянський, Є.М. Оженко, Ю.В. Лавручено Двигуни WinGD типу RT-Flex/X з електронним управлінням / Electronically controlled WinGD RT-Flex/X engines: навчальний посібник, українська-англійська. – Одеса: НУ«ОМА», 2020. – 62 с. ISBN 978-966-7591-97-7.

3. Оженко Є. М. Моделі, методи та засоби покращення системи подачі палива суднового дизеля на базі п'єзоелектричних перетворювачів. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. / ЧНУ ім. Петра Могили. Миколаїв. 2018. 166 с.

4. Никольський В. В. Использование пьезопривода в судовой энергетике / В. В. Никольский, Е. М. Оженко, В. Е. Лысенко, М. В. Никольский, К. Ю. Бережной // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: «Комп'ютерні технології». – Вип. 295. – Т. 307. – Миколаїв, 2017. – С. 82–91.

5. Нікольський В. В., Лисенко В. Є., Нікольський М. В. Використання п'єзоприводу для клапана подачі газу двохпаливного двигуна внутрішнього згоряння // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2017. – Вып. 23. Одесса: НУ "ОМА". – С. 65–69

6. Nikolskyi V. Fuzzy logic positioning system of ship's diesel generators actuating mechanisms // Vitalii Nikolskyi, Yevgen Ozhenko, Kyrilo Berezhnyi, Viktor Lisenko // Інформаційні технології та компютерне моделювання; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. ІваноФранківськ, 14-18 травня 2018 року. – Івано-Франківськ: 2018 – С. 211–215

7. MAN ME Training course. Training documentation. – Copenhagen, Denmark, 2014.

8. Wartsila RT-Flex. Training documentation. – Shanghai, China, 2015.

9. PI Piezoelectric Ceramic Products: fundamentals, characteristics and applications [Internet]. Available from: https://static.physikinstrumente.com/fileadmin/user_upload/pi_ceramic/files/catalog_CAT/PI_CAT125E_R3_Piezoelectric_Ceramic_Products.pdf.

10. LCS004 SERIES LINEAR MOTORS [Internet]. Available from: https://www.dtimotors.com/product/lcs004-series/.

УДК 621.867.2:629.5(045)

## ВДОСКОНАЛЕННЯ СУДНОВИХ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

**О.В. Дрозд,** доцент
Національний університет "Одеська морська академія"

***Анотація:*** *Розглянуто стрічкові конвеєри у складі вантажної системи перевантажувального комплексу морської індустрії. Наведено сучасні проблеми в їх експлуатації та обслуговуванні. Визначено складові конструкції стрічкового конвеєру вертикального типу та запропоновано вдосконалення елементів цієї конструкції.*

***Ключові слова****: суднові вантажні системи, стрічковий конвеєр, вертикальний конвеєр, технічна експлуатація, вдосконалення конструкції.*

## IMPROVEMENT OF SHIP BELT CONVEYORS

**O. Drozd**, Associate Professor
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** *Belt conveyors as a part of the cargo system of the transshipment complex of the maritime industry are considered. Modern problems in their operation and maintenance are given. The components of*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*the vertical conveyor belt conveyor design are determined and the improvement of the elements of this construction is proposed.*

***Key words:*** *ship cargo systems, belt conveyor, vertical conveyor, technical operation, design improvement.*

## Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

Економічна ефективність роботи перевантажувальних комплексів в морській індустрії в значній мірі визначається технічним станом, обґрунтованою стратегією технічної експлуатації та обслуговування обладнання, мінімізацією ресурсів на усунення несправностей. В даний час значну частину собівартості морських вантажоперевезень становлять витрати на проміжні перевантаження в логістичному ланцюзі "виробник-судно-споживач". В існуючих реаліях особливу актуальність набуває вирішення науково-технічної задачі пошуку резервів підвищення ефективності використання вантажопідйомних засобів, у тому числі, стрічкових конвеєрів.

Для визначення найбільш раціональних шляхів вдосконалення стрічкових конвеєрів були досліджені особливості експлуатації даного обладнання в широкому спектрі умов застосування. Серед всіх факторів, що впливають на фактичний ресурс і можуть бути загальними для всіх умов експлуатації, виділені найбільш вагомі:

1. Якість обслуговування.
2. Застосування оригінальних запасних частин і якісних мастильних матеріалів.
3. Ефективність схемотехнічного рішення конвеєра.

На практиці ж міжремонтні терміни обслуговування і ремонту плануються, виходячи з календарного часу експлуатації, не враховується фактичне напрацювання, інтенсивність навантажень. Склалася нераціональна, пов'язана зі значними трудовими і фінансовими витрат, система – ремонт проводиться без попереднього діагностичного моніторингу і в підвищеному обсязі, лише на підставі терміну служби. У гіршому випадку – конвеєр потрапляє в ремонт тільки після втрати працездатності.

Застосування оригінальних запасних частин і якісних мастильних матеріалів в достатній мірі стримується високими витратами на придбання та сервісне обслуговування [1].

## Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато розв'язування проблеми та висвітлювання нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Для оцінки ефективності існуючих схемотехнічних рішень конвеєра були проаналізовані конструкції найбільш поширених типів стрічкових конвеєрів [2 - 5]. Відомий вертикальний стрічковий конвеєр, що містить основу, приводні колеса, вантажну стрічку з бортами, несучі перегородки, які закріплені тільки на полотні стрічки наведено в [6].

Недоліки пристрою, які обумовлені застосуванням вантажної стрічки з бортами та закріплених на неї консольно несучих перегородок:

– консольним перегородкам притаманна погана стійкість при підйомі вантажу;

– надвеликі навантаження на матеріал бортів стрічки та зношування при зміні напрямку руху стрічки при контакті з приводними колесами;

– низька продуктивність конвеєру;

– значні витрати часу на ремонтні роботи при заміні стрічки.

В найбільшому ступені вільний від недоліків вертикальний стрічковий конвеєр, що містить основу, приводні колеса з конічними маточинами, вантажну стрічку з бортами, несучі перегородки, які закріплені на полотні та бортах стрічки [7, 8].

Однак, застосуванням несучих перегородок, які закріплені на полотні та бортах стрічки, суттєво обмежує можливості конвеєра, а саме:

– надвеликі навантаження на матеріал бортів стрічки та зношування при зміні напрямку руху стрічки при контакті з приводними колесами;

– велика ймовірність виникнення пошкоджень в районах меж сполучення стрічки, бортів та перегородок та викиду вантажу в морську акваторію;

– значна вартість стрічки та великі витрати часу на ремонтні роботи при заміні стрічки.

## Мета і задачі дослідження

Таким чином, задача створення нового схемотехнічного рішення стрічкового конвеєра є доцільною та актуальною. Нова конструкція повинна відповідати таким вимогам:

– можливість застосовування у суднових вантажних системах, у яких всі елементи вантажного тракту є рівної міцності;

– знижені експлуатаційні ремонтні витрати;

– збереженість простоти схемотехнічних рішень конвеєрів відомих типів.

## Виклад матеріалу дослідження і обґрунтування отриманих наукових результатів

Суть пропонованої конструкції пояснюється кресленням (рис.1), де зображено вертикальний стрічковий конвеєр, що складається з основи з вантажною стрічкою *1*, привідних колес *2*, внутрішніх півковшів *3*, зовнішніх півковшів *4* та піввісів з замками 5, та елементів основи для здійснення циклу закривання/відкривання зовнішніх півковшів *6*, які переводять зовнішні півковші у стан "замкнено/ розімкнено" та вимушують спрацьовувати замки півкошів.

Після завантаження вантажу у внутрішній півковш, він зі стрічкою рухається уздовж основи. При русі привід замку входить у контакт з відповідними елементами основи та відбувається обертання зовнішнього півковшу навколо навісів та спрацьовування замку. Поверхня зовнішнього півковшу еквідістантна

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

до поверхні внутрішнього та має ущільнення в районі контакту півкошів. Таким чином, забезпечується капсулювання вантажу у закритому об'ємі півковшів.

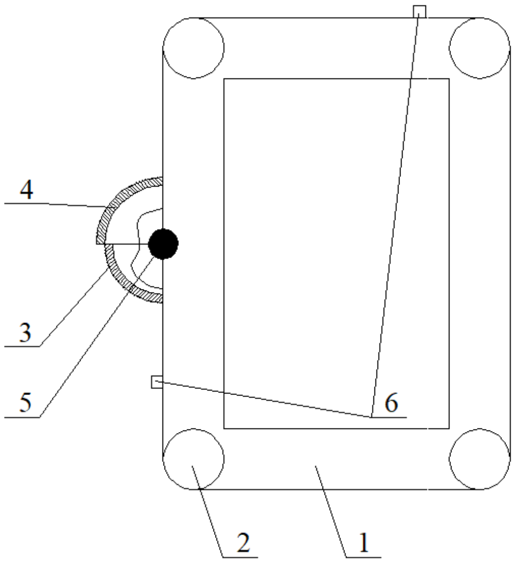



Рисунок 1 – Вертикальний стрічковий конвеєр: 1 – основа з вантажною стрічкою; 2 – привідні колеса; 3 – внутрішні півковши; 4 – зовнішні півковши; 5 – піввісі з замками; 6 – елементи основи для здійснення циклу закривання/відкривання зовнішніх півковшів.

Для здійснення перевезення на саморозвантажному балкері поширеної номенклатури крупнокускового вантажу і використання суднової вантажної системи в особливих умовах експлуатації запропоновано суднова вантажна система з вертикальним конвеєром з новими складовими, а саме, комбінацію внутрішніх та зовнішніх півковшів з замками.

У першому динамічному режимі (завантаження, транспортування) внутрішній півковш зі стрічкою рухається уздовж основи. При русі привід замку входить у контакт з відповідними елементами основи та відбувається обертання зовнішнього півковшу навколо навісів та спрацьовування замку.

У другому динамічному режимі (вивантаження), перед підходом ковшу до відповідної гілки конвеєру, привід замку входить у контакт з відповідними елементами основи та відбувається обертання зовнішнього півковшу навколо навісів у зворотному напрямку, спрацьовування замку на відкривання та фіксацію півковшу у відкритому стані. Після чого вантаж потрапляє у бункер.

Відмінністю пропонованої конструкції є те, що на вантажній стрічки шарнірно закріплені внутрішні півковши, які сполучені з зовнішніми півковшами за допомогою піввісів з замками, які взаємодіють з відповідними елементами основи для здійснення циклу закривання/відкривання зовнішніх півковшів.

**Висновки та перспектива подальшої роботи за даним напрямком**

Технічний ефект досягається завдяки тому, що комбінація внутрішніх та зовнішніх півковшів з замками забезпечує:

− відсутніх надмірної деформації та зношування вантажної стрічки;

– зменшення вірогідності забруднення морської акваторії втраченим через пошкодження вантажем;
– збільшення терміну міжремонтного періоду вантажного обладнання;
– зниження експлуатаційних та ремонтних витрат.

Таким чином, застосування пропонованої конструкції стрічкового конвеєру дозволить суттєво підвищити ефективність е роботи перевантажувальних комплексів в морській індустрії [9-11].

**ЛІТЕРАТУРА**


1. Кропотов, Ю. И., Жуков, Е. М., Лугинин, И. А., Полошков, С. И. Основные причины снижения срока эксплуатации ленточных конвейеров // Молодой учёный. – 2015. – № 23 (103). – С. 172-175.
2. Галкин, В.И., Шешко, Е.Е. Ленточные конвейеры на современном этапе развития горной техники. // Горный журнал. – 2017. – № 9. – С.85–89.
3. Jennings A, Perrone P., Cornet J. Case study: correcting control problems on Essroc’s multidrive station, horizontally curved conveyor. 472, 2013 Transactions Vol. 334, 476 Society for mining, metallurgy, and exploration.
4. Галкин, В.И. Конструктивные особенности ленточных конвейеров с пространственной трассой для транспортирования сыпучих материалов// Горная Промышленность. – №1 (137) – 2018. – С. 84 – 86.
5. Paelke J. W.: Selbstentladeschiffe der neuen Generation mit 6.000 t/h kontinuierlicher Förderleistung. Schüttgut 1 (1995), Trans Tech Publications.
6. Paelke J.W.: Progress with Continuous Steep Angle and Vertical Conveying. Bulk Solids Handling 1 (1996), Trans Tech Publications.
7. Semakin S.: Bandfarderer. Patent, DE 10356686.
8. Семакин, М.С. Вертикальный ленточный конвейер для крупнокускового насыпного материала.// Горный информационно-аналитический бюллетень. – №11 – 2013. – С. 168 – 170.
9. Дрозд О.В. Вертикальний стрічковий конвеєр. Патент України № 141710, МПК B65G 15/44(2006.01). -Заявл.22.08.2019.// Опубл.27.04.2020, бюл. №8/2020.
10. Дрозд О.В., Сандлер А.К. Проблеми технічної експлуатації суднових стрічкових транспортерів. Automation of technological and business process, 11(1), 2019, p. 24-26.
11. Дрозд О.В. Експлуатація і обслуговування суднових механічних передач: навчальний посібник. – Одеса: НУ "ОМА", 2019. – 128с.


УДК 004.942: 629.4.001.4

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЗНАКА ПОДОБИЯ ПО МАСШТАБУ ВРЕМЕНИ

**В.Ф. Миргород**, доктор технических наук, доцент
**И.М. Гвоздева**, доктор технических наук, профессор
**И.Г. Ефанов**, студент
Национальный университет «Одесская морская академия»

***Аннотация:*** *Предлагается подход к усовершенствованию судовых систем автоматического управления путем применения типовых регуляторов, характеристики которых подобны по признаку масштаба времени. Получены переходные и логарифмические частотные характеристики регуляторов с разными значениями параметра масштабности. Предложено усовершенствование типовых регуляторов для расширения функциональных возможностей на основе применения интегро-дифференциального преобразования с дробным указателем.*

***Ключевые слова:*** *система автоматического управления, типовой регулятор, масштаб времени, дробная производная.*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

# IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF REGULATORS OF MARINE AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS BY APPLYING THE SIGN OF SIMILARITY ON THE SCALE OF TIME

**V. Myrhorod**, Dr. of Science, Associate Professor
**I. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor
**I. Efanov,** student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *We proposed an approach to improvement the ship automatic control systems by using the typical controllers, the characteristics of which are similar in terms of time scale. Transient and logarithmic frequency characteristics of regulators with different values of the scale parameter are obtained. Improvement of standard controllers for expanding functionality based on the application of integro-differential transformation with a fractional index is proposed.*
***Key-words:*** *automatic control system, typical controller, time scale, fractional derivative.*

Для управления процесами преобразования энергии в судових системах нашел широкое применение типовой пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор, программно-аппаратная реализация которого выполняется на PLC.

Проблемным вопросом усовершенствования судовых САУ является расширение функциональных возможностей ПИД-регуляторов для управления объектами различной физической природы и упрощение алгоритмов их настроек.

Важным научно-прикладным заданием является усовершенствование характеристик ПИД-регуляторов на основе применения передовых подходов с использованием принципов инвариантности относительно масштаба времени и применения интегро-дифференциальных преобразований с нецелым указателем.

Подобие процессов в различных динамических системах является мощным инструментом их исследования [1]. Методы теории подобия находят широкое применение в различных областях науки и техники, позволяя получить эмпирические математические модели для процессов, не имеющих еще адекватного теоретического математического описания. Одной из задач теории подобия является исследование процессов, инвариантных относительно масштаба времени.

Систематическое изложение элементов теории динамических систем, инвариантных относительно масштаба времени, предложено в [2,3]. Методы дробных интегро-дифференциальных преобразований являються объектом исследований в различных областях науки и техники [4,5,6,7]. Для САУ, использующих регуляторы с дробным указателем наиболее важные результаты получены в [8,9].

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование подхода к усовершенствованию судовых систем автоматического управления путем использования типовых регуляторов, характеристики которых подобны по признаку масштаба времени и на основе применения интегро-дифференциального преобразования с дробным указателем.

Классическая форма передаточной функции ПИД-регулятора имеет вид:

$$W(s) = k_1 + \frac{k_2 s}{Ts+1} + \frac{k_3}{s}, \qquad (1)$$

где: $k_1, k_2, k_3$ – коэффициенты регулятора по пропорциональной, дифференциальной и интегральной компонентам соответственно; $T$ - постоянная времени балластного звена.

Следуя [2], две линейные стационарные системы (ЛСС) являются подобными по признаку масштаба времени, если при изменении масштаба времени процессы изменения состояния ЛСС подобны: описываются одинаковыми закономерностями. Рисунок 1 иллюстрирует процессы в подобных системах при одинаковых входных воздействиях.

Следовательно, две ЛСС, удовлетворяющие определению, подобны, если процессы изменения их состояния $x_1(t)$ первой и $x_2(\mu t)$ второй систем тождественно совпадают при $\mu = 1$.

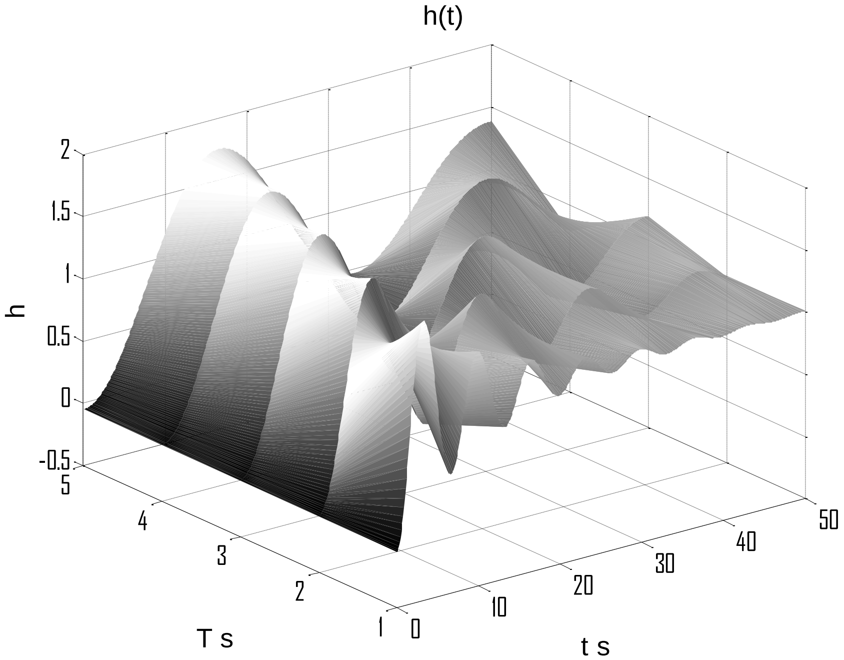



Рисунок 1 – Процессы в подобных ЛСС второго порядка

Для моделей в виде передаточних функций подобие по признаку масштаба времени непосредственно следует из следующего свойства преобразования Лапласа:

$$L\{f(\mu t)\} = \frac{1}{\mu} F\left(\frac{s}{\mu}\right),$$

где

$$F(s) = L\{f(t)\}.$$

Линейные пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы, как это следует из определения, образуют подобные по масштабу времени ЛСС. Передаточная функция типового регулятора, инвариантного относительно масштаба времени, имеет следующий вид:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

$$W(s) = k_1 + \frac{k_2 \mu s}{T\mu s + 1} + \frac{k_3}{\mu s}. \qquad (2)$$

Логарифмические частотные характеристики таких регуляторов для различных масштабов времени представлены на рис. 2. Изменение параметра масштаба позволяет смещать ЛАЧХ регулятора параллельно по оси аргументов.

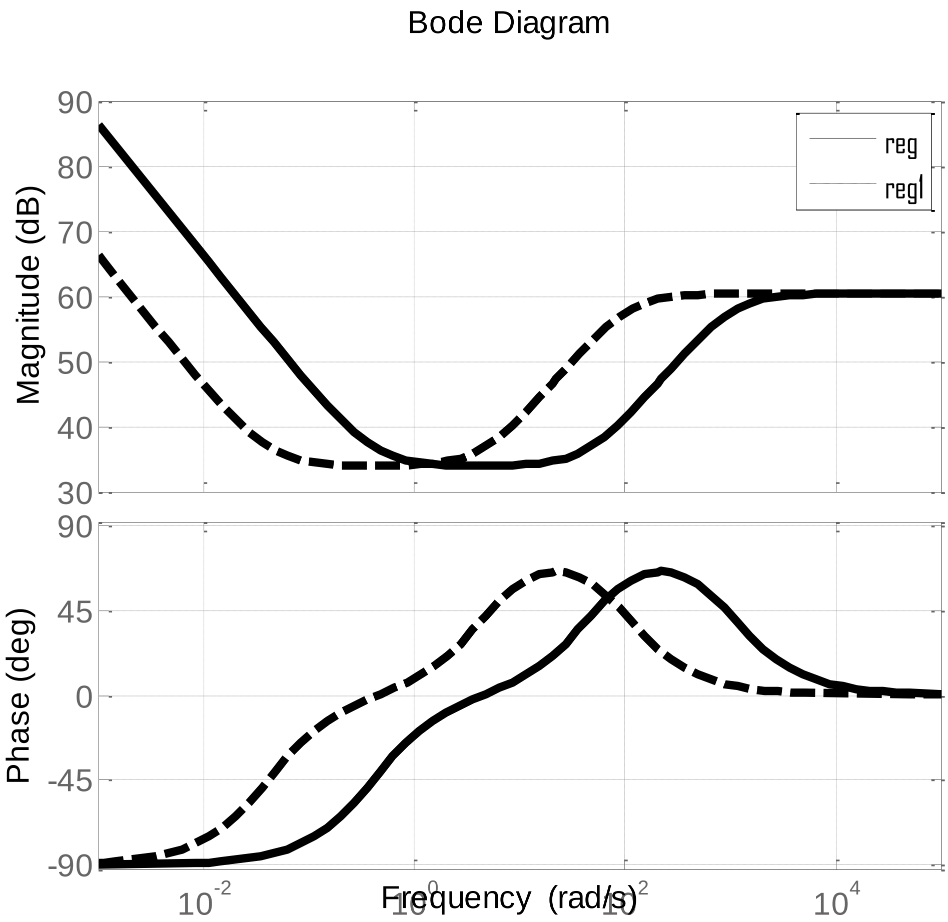



Рисунок 2 – ЛАЧХ подобных регуляторов

Следовательно, если имеется САУ – прототип, характеристики которой известны и удовлетворяют требованиям по применению, и необходимо выполнить проектирование САУ для иного объекта, передаточная функция котрого удовлетворяет признаку подобия по масштабу времени относительно прототипа, то передаточная функция регулятора дается соотношением (2). Дальнейшее усовершенствование типових ПИД-регуляторов может быть направлено на расширение их функциональных возможностей путем применения интегро-дифференциальных преобразований с нецелым указателем. Передаточная функция типового регулятора, инвариантного относительно масштаба времени с нецелым указателем интегро-дифференциальных преобразований, имеет следующий вид:

$$W(s) = k_1 + \frac{k_2 \mu s^n}{T \mu s^n + 1} + \frac{k_3}{\mu s^m},$$

Предлагаемый регулятор позволяет не только плоско-параллельно смещать его ЛАЧХ вдоль оси частот, но также устанавливать наклон ЛАЧХ в областях интегрирования и дифференцирования в зависимости от требований алгоритма синтеза. Следует отметить, что цифровая реализация дробных интегро-дифференциальных преобразований имеет свои особенности. Ввиду конечности интервалов цифровой свертки и конечности интервалов дискретизации цифровая реализация таких преобразований возможна лишь в заданной полосе частот. Поэтому интегральная компонента при ее цифровой реализации с нецелым указателем не обеспечивает астатизма САУ. Ее применение целесообразно только в качестве дополнения к целочисленной компоненте интегрирования. Что касается дифференциальной компоненты с нецелым указателем, то наличие балластного звена не всегда является обязательным, поскольку конечность интервала дискретизации, который не может быть бесконечно малым, обеспечивает автоматическую фильтрацию высокочастотных компонент.

**Выводы.** Предложенный подход к усовершенствованию судовых систем автоматического управления путем применения типовых регуляторов, характеристики которых подобны по признаку масштаба времени дает возможность переналадки таких регуляторов при изменении ***simple time*** объектов. Предложено усовершенствование типовых регуляторов для расширения функциональных возможностей на основе применения интегро-дифференциального преобразования с дробным указателем.

Перспективы дальнейших исследования состоят в разработке эффективных алгоритмов численной реализации предлагаемых регуляторов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Клайн С. Дж. Подобие и приближенные методы. — М.: Мир, 1968. — 302 с.
2. Миргород В.Ф. Динамические системы, подобные по признаку масштаба времени / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко, И.М. Гвоздева // Вісник двигунобудування – № 2 – 2019. – С.49-56
3. Myrhorod, V. “Dynamic Systems, Similar to the Time Scale” in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.
4. Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. / В.В. Васильев, Л.А. Симак – Киев: НАН Украины, 2008. – 256 с.
5. Учайкин В.В. Метод дробных производных. / В.В. Учайкин – Ульяновск: Изд-во Артишок“, 2008. – 512 с.
6. Oldham K.B. The Fr4actional Calculus / K. B. Oldham, J. Spanier. – Academic Press, 1974. – 234 p.
7. Нахушев А. М. Дробное исчисление и его применение. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 272 с.
8. Бушер, В. В. Динамические свойства систем управления с дробным порядком астатизма / В. В. Бушер // Електротехнічні та комп’ютерні системи. – К. : Техніка, 2010. – №01(77). – С. 13–16.
9. Миргород, В.Ф. Методы численной реализации математических моделей динамических процессов в форме интегральных уравнений/ Миргород В.Ф., Гвоздева И.М.// «Авіаційно-космічна техніка і технологія” – (9/96) – 2012. – С.229-233.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 004.942: 629.4.001.4

# УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНОВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАНОК ІЗ ДРОБОВИМ ПОКАЖЧИКОМ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

**В.Ф. Миргород**, доктор технічних наук, доцент
**І.М. Гвоздева**, доктор технічних наук, професор
**А.І. Ковтун**, student
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:****Пропонується підхід до удосконалення суднових систем автоматичного управління шляхом застосування типових регуляторів, що містять ланки з дробовим покажчиком інтегро-диференціального перетворення. Отримані перехідні та логарифмічні частотні характеристики регуляторів з різними значеннями покажчика дробового інтегрування й диференціювання. Шляхом математичного моделювання виконано аналіз перехідних процесів у системі автоматичного управління із дробовим типовим регулятором. Запропоновані області застосування типових регуляторів з дробовим покажчиком інтегро-диференціального перетворення. Встановлено, що застосування пропонованих регуляторів покращує показники робастності суднових автоматичних систем.*

***Ключові слова:*** *система автоматичного управління, типовий регулятор, математична модель, дробова похідна.*

# IMPROVEMENT OF CHARACTERISTICS OF VESSEL SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL USING APPLICATION OF LINKS WITH FRACTIONAL INDEX OF INTEGRAL TRANSFORMATION

**V. Myrhorod**, Dr. of Science, Associate Professor
**I. Hvozdeva**, Dr. of Science, Professor
**A. Kovtun**, student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *An approach to improve of vessel automatic control systems by using the typical regulators containing links with a fractional index of integro-differential transformation is proposed. The transient and logarithmic frequency characteristics of regulators with different values of fractional index of integration and differentiation are obtained. An analysis of transient processes in the automatic control system with a fractional typical controller is carried out by means of mathematical modeling. The fields of application of typical controllers with fractional index of integro-differential transformation are proposed. It has been established that the proposed regulators using permit to improve the robustness indicators of ship automatic systems.*

***Key-words:*** *automatic control system, typical regulator, mathematical model, fractional derivate*

Проблемним питанням удосконалення процесів керування судновими енергетичними установками є підвищення якості регулювання основних параметрів.  Структурна реалізація САУ, як і раніше, заснована на застосуванні типових пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД)  регуляторів різного програмно-апаратного виконання.

Важливим науково-прикладним завданням є розширення функціональних можливостей таких регуляторів шляхом впровадження передових підходів з використанням інтегро-диференціальних перетворень з нецілим (дробовим) покажчиком.

Інтегро-диференціальні перетворення з нецілим (дробовим) покажчиком застосовуються для рішення різноманітних завдань науки й техніки [1,2,3,4], оскільки розширюють можливості алгоритмів обробки сигналів і полів у порівнянні зі звичайним диференціюванням або інтегруванням. Представляється перспективним [5] розширити область застосування зазначених перетворень на клас типових регуляторів у системах автоматичного управління (САУ).

При синтезі таких систем має місце відоме протиріччя між необхідними запасами сталості й необхідною якістю перехідних процесів. Диференціювання й інтегрування цілого порядку в типових регуляторах дозволяє сформувати їх логарифмічну амплітудну частотну характеристику (ЛАЧХ) лише з нахилами, що кратні 20 *db/dec*. Інтегро-диференціальні перетворення із нецілим покажчиком дають можливість сформувати ЛАЧХ із довільним нахилом у діапазоні (-20…+20) *db/dec*, що розширює можливості синтезу. Зокрема, забезпечення такого нахилу ЛАЧХ в області частот, що обмежують смугу пропускання, дозволяє підвищити показники робастності САУ, тобто зменшення чутливості запасів сталості щодо варіації параметрів.

Пропоновані типові регулятори з дробовим покажчиком интегро-диференціального перетворення можуть бути використані в завданнях керування температурним режимом складних об'єктів [6].

Метою пропонованого дослідження є розробка й обґрунтування підходу до удосконалення суднових систем автоматичного управління шляхом застосування типових регуляторів, що містять ланки з дробовим покажчиком інтегро-диференціального перетворення.

Застосовувані методи чисельної реалізації зазначених операторів, засновані на дискретній формі інтеграла Римана-Ліувіля [5], або формулі Грюнвальда-Летнікова [1], мають істотні недоліки, пов'язані зі зваженим підсумовуванням нескінченного числа доданків. Тому обчислювальна реалізація інтегро-диференціальних перетворень із нецілим покажчиком у часовій області є ще не вирішеним питанням.

З іншого боку, такі оператори мають досить простий вигляд зображень Лапласа й Фур'є, що вказує на можливість їхнього дослідження в частотній області.

Як ілюстрація отримані ЛАЧХ типових регуляторів з нецілим покажчиком інтегро-диференціальних перетворень. На рис.1 і рис. 2 представлені ЛАЧХ для регуляторів з різними покажчиками дрібності.

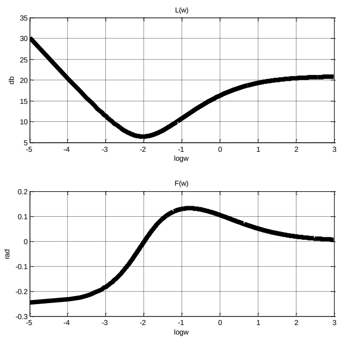



Рисунок 1 –ЛАЧХ регулятора.
Показник дрібності 0,5.

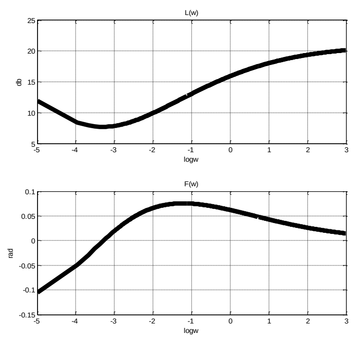



Рисунок 2 –ЛАЧХ регулятора.
Показник дрібності 0,3.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Метод обчислювальної реалізації перетворень із нецілим покажчиком у часовій області обґрунтований у роботах авторів [6,8]. На його основі побудована обчислювальна модель ПД – регулятора, диференціальна компонента якого реалізована у вигляді реальної ланки, що диференціює, із установлюваним показником дрібності. Така ланка реалізована у вигляді підсилювача, охопленого дробовим інтегральним оператором. Інтегральний оператор реалізований у вигляді прямої цифрової згортки відповідно до виразу:

$$y(t)=\frac{1}{\Gamma(m)}\int_0^t (t-s)^{m-1} x(s)ds=\int_0^t h(t-s)x(s)ds, \qquad (1)$$

де $x$ – вхідний сигнал, $y$ – вихідний сигнал, $m$ – порядок дробового інтегрування.

Звичайний і дробовий регулятори вбудовувалися в модель САУ й виконувалося моделювання і зіставлення перехідних процесів при різних показниках дрібності та для різних типів об'єктів керування. Типовий регулятор настроєний на перехідний процес із 20%-м перерегулюванням. Для перевірки коректності підходу до чисельної реалізації типового регулятора попередньо отримані перехідні характеристики САУ з типовим регулятором у безперервній реалізації й обчислювальній реалізації регулятора із показником дрібності 1 та встановлено, що вони збігаються. На рис. 3 представлені перехідні характеристики САУ зі звичайним регулятором і регулятором з показником дрібності 0,5. Як це виходить з результатів аналізу й наведених ілюстрацій, використання дробової похідної в типовому регуляторі для скінченномірних об'єктів не забезпечує істотного поліпшення показників якості перехідних процесів. Позитивний ефект досягається у вигляді покращення показників робастності САУ. Навпроти, для нескінченномірних об'єктів, наприклад, у вигляді дробової аперіодичної ланки, використання дробової похідної в типовому регуляторі дозволяє істотно поліпшити показники якості перехідних процесів у порівнянні зі звичайним регулятором (рис. 4). Найкращі результати досягаються в тому випадку, якщо показники дрібності регулятора й об'єкта збігаються. Причина зазначеного явища складається в частковій компенсації полюсів передатної функції об'єкта.

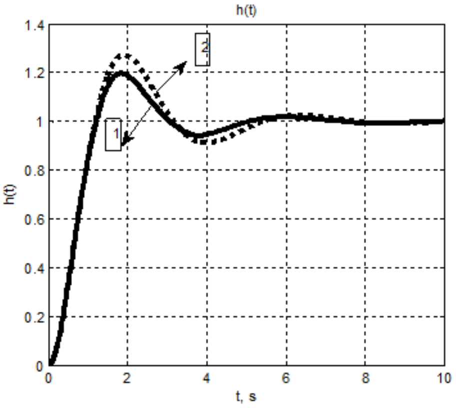



Рисунок 3 – Перехідні характеристики САУ. 1 – звичайний регулятор, 2 -регулятор з показником дрібності 0,5.

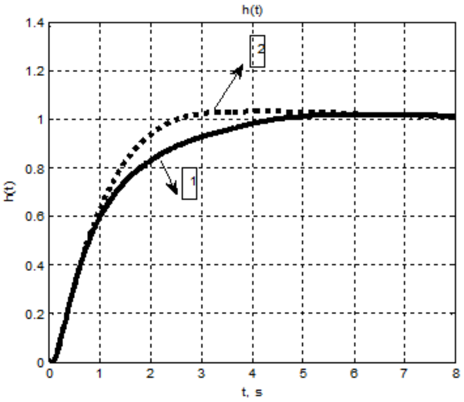



Рисунок 4 – Перехідні характеристики САУ. 1 – звичайний регулятор, 2 - регулятор з показником дрібності похідної 0,3, об'єкт із показником дрібності інтеграла 0,5.

**Висновки.** Пропонований підхід до побудови типових регуляторів з дробовим покажчиком інтегро-диференціального перетворення може бути ефективним для регулювання параметрів нескінченномірних об'єктів , оскільки в цьому випадку обґрунтований алгоритм керування із дробовим типовим регулятором відповідає математичній моделі процесів в об'єкті.

Перспективи подальших досліджень полягають в обґрунтуванні алгоритмів обчислювальної реалізації інтегро-диференціальних перетворень за пропонованим підходом для систем реального часу.

**ЛІТЕРАТУРА**

1.Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. / В.В. Васильев, Л.А. Симак – Киев: НАН Украины, 2008. – 256 с

2. Учайкин В.В. Метод дробных производных. / В.В. Учайкин – Ульяновск: Изд-во Артишок“, 2008. – 512 с.

3. Oldham K.B. The Fr4actional Calculus / K. B. Oldham, J. Spanier. – Academic Press, 1974. – 234 p.

4.Нахушев А. М. Дробное исчисление и его применение. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 272 с.

5. Бушер, В. В. Динамические свойства систем управления с дробным порядком астатизма / В. В. Бушер // Електротехнічні та комп’ютернісистеми. – К. : Техніка, 2010. – №01(77). – С. 13–16.

6.Миргород, В.Ф. Методы численной реализации математических моделей динамических процессов в форме интегральных уравнений/ Миргород В.Ф., Гвоздева И.М.// «Авіаційно-космічнатехніка і технологія” – (9/96) – 2012. – С.229-233.

7. Миргород В.Ф. Применение диагностических моделей и методов трендового анализа для оценки технического состояния газотурбинных двигателей / Миргород В.Ф., Ранченко Г.С., Кравченко В.М. // «Авіаційно-космічнатехніка і технологія” – 9(56) – 2008. – С.192-197.

8. Миргород, В.Ф. Обобщение методов аналитического решения некоторых типов интегральных уравнений Вольтерра второго рода/ В.Ф. Миргород // Искусственный интеллект. – 2009. – №3. – С. 68-80.

УДК 629.1.04

## АДАПТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ СУДОВИХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**А.В. Рябцов**, к.т.н., доцент
**Н.Р. Войнорович**, студент
Национальный университет «Одеская морская академия»

***Аннотация:*** *статья посвящена рассмотрению управляемых оптических элементов, позволяющих придать адаптивные свойства судовым оптическим системам, предназначенным, например, для обнаружения технологических загрязнений морской акватории.*

***Ключевые слова:*** *адаптивные оптические системы, управляемые оптические элементы, пьезоэлектрические актуаторы*

## ADAPTIVE ELEMENT FOR SHIP'S OPTICAL SYSTEMS

**O.V. Ryabtsov**, Ph.D., Associate Professor
**M.R. Voinorovich**, student
National University "Odessa Maritime Academy"

***Abstract:*** *the article is devoted to the consideration of controllable optical elements dedicated to impart adaptive properties to ship optical systems, which are intended, for example, for detecting technological pollution of the sea area.*

***Keywords:*** *adaptive optical systems, controlled optical elements, piezoelectric actuators*

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

В современном мире одной из основных экологических проблем стало загрязнение акватории мирового океана технологическими и бытовыми отходами. К сожалению, во многих случаях производственная деятельность человека ведется с помощью устаревших технологий, которые не позволяют полностью исключить загрязнения окружающей среды. Особенно это касается добычи полезных ископаемых на прибрежном шельфе. В соответствии с международными конвенциями в этих районах организован постоянный контроль за состоянием морской среды, периодически берутся лабораторные пробы воды, ведется постоянное наблюдение со спутников [1]. Однако для оперативного обнаружения таких загрязнений наиболее эффективны специализированные суда, оснащенные специальными оптическими системами. В связи с этим разработка устройств и методов поиска и оперативной оценки уровня загрязнений стала актуальной задачей, которой с успехом занимаются многие крупные международные компании.

Например, для поиска нефтяных загрязнений разработаны детекторы типа OSRS (Oil Spill Remote Sensor), установленные на судах класса ERRV (Emergency Response and Rescue Vessel). Такие датчики, основанные на регистрации отраженного от нефтяного пятна инфракрасного (IR) излучения на длинах волн около 8–14 мкм, имеют простую конструкцию и высокую надежность [2]. Их действие основано на том, что нефтяная (масляная) пленка на поверхности воды излучает часть поглощенной солнечной энергии в инфракрасном спектре. В результате на регистрирующих устройствах появляется изображение масляной пленки в виде более нагретых, по сравнению с окружающей водой, поверхностей.

В сочетании с лидарами (LIDAR-Light Detection and Ranging-обнаружение и определение дальности с помощью света) и сканирующей оптикой эти IR OSRS являются основой новых технологий получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах. Примером могут служить представленные на рисунках элементы конструкции (Рис.1) и внешний вид экрана судовой информационно-поисковой системы (Рис.2). Все изображения получены из открытых источников.


Рисунок 1 – Внешний вид сканирующего блока

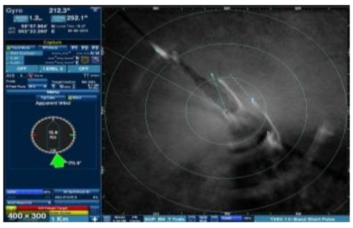


Рисунок 2 – Вид экрана системы

Для сканирования в горизонтальной плоскости в оптических конструкциях обычно применяются электромеханические вращающиеся головки. Автоматическая работа любой сканирующей системы предусматривает плавное изменение геометрических параметров ее оптических элементов, например, изменение фокусных расстояний объективов, При этом фокусировка получаемого изображения также осуществляется электромеханическими устройствами, изменяющими расстояния между элементами оптической системы сканирующего устройства. Кроме традиционных линзовых систем в современной оптике широко используются различные управляемые зеркала с электрически изменяемой криволинейной поверхностью и дефлекторы оптического излучения [3]. Их совершенствование по-прежнему является актуальной задачей, решением которой занимаются многие научные и коммерческие организации.

В устаревших конструкциях изменение параметров оптической системы осуществлялось путем перестановки отдельных зеркальных элементов, закрепленных на вращающемся диске. Помимо того, что такая операция приводила к существенной потере времени и даже к временному отключению системы, она увеличивала габариты оптического блока и исключала возможность его плавной регулировки.

Указанная проблема в некоторых случаях может быть решена применением зеркал с электрически управляемой кривизной, в основе которых лежит конструкция, предложенная в работе [4]. На рис. 3 показан принцип действия такого зеркала. Для изменения радиуса его сферической отражающей поверхности используется пьезокерамическая биморфная пластина, состоящая из двух дисковых пьезокерамических элементов, соединённых друг с другом разноимёнными полюсами поляризаций.

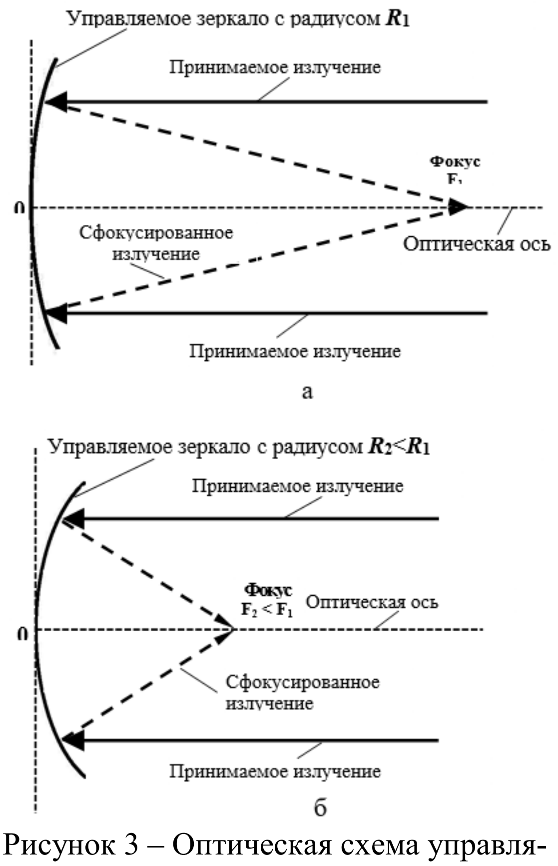



Рисунок 3 – Оптическая схема управляемого зеркального элемента:
а) - при $R_1$ ($U_{упр1}$ = 100 В),
б) - при радиусе $R_2 < R_1$ ($U_{упр2}$ = 250 В)

На поверхность пластины нанесено светоотражающее покрытие. Изменяя управляющее напряжение Uупр, приложенное к электродам биморфной пластины, можно изменять величину её прогиба, а, следовательно, и радиус кривизны сферической зеркальной поверхности, а изменяя полярность приложенного напряжения Uупр, можно добиться изгиба пластинки в различных направлениях. Таким образом, можно получить выпуклое либо вогнутое сферическое зеркало, радиус кривизны которого R прямо пропорционален линейным размерам (a x b) или диаметру (D) пьезоэлементов и обратно пропорционален приложенному напряжению Uупр:

$$R = \frac{k}{U_{упр}} D,$$

где k – коэффициент пропорциональности, Uупр – приложенное управляющее напряжение, D - диаметр пьезоэлементов.

Величина коэффициента k определяется, в основном, технологическими параметрами пьезокерамических элементов и способом закрепления зеркала:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

где l - толщина двух одинаковых пьезокерамических пластин (в противном случае вместо l 2 следует использовать l1·l2), Ey - модуль упругости материала пьезокерамики, ε - его диэлектрическая проницаемость, Ep - напряжённость поля остаточной поляризации в пьезокерамических элементах, a – коэффициент упругости закрепления, обычно определяемый эмпирическим путем.Коэффициент a, учитывающий жесткость закрепления биморфа, может изменяться в широких пределах. Его величина определяется способом изготовления биморфа (склейка, спайка), а также способом крепления зеркала в оправе, размерами и упругостью элементов крепежа. Точная величина a может быть определена лишь в результате экспериментального макетирования.

Эксперименты показали, что наилучшие результаты достигаются, если биморф образуется путем пайки с помощью легкоплавкого припоя, например, сплава Вуда.

**Висновки.** Рассмотренные в данной работе адаптивные оптические элементы с электрически управляемыми пьезоэлектрическими актуаторами, могут найти широкое применение в оптических системах, в частности, в лазерных сканирующих установках для поиска загрязнений на поверхности мирового океана.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Алешин И.В. Экологический мониторинг Мирового океана. - СПб: СПГМТУ, 1997. - 76 с.: ил.
2. Белов М.Л., Городничев В.А., Козинцев В.И. Трехлучевой лазерный метод обнаружения нефтяной пленки на морской поверхности. // Вестник МГТУ. сер. Приборостроение. 2000. № 3. С. 7-12.
3. Оптико-механическое приборостроение // Под ред. Грейма И.А. - Л.: Энергия. - 1979.
4. Джагупов Р.Г., Панов В.Г. Зеркало с электрически изменяемым радиусом кривизны // ПТЭ. - 1986. - № 1. - С. 212-214.

УДК 621.431.74

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГАЗОВОГО ТРАКТА ДИЗЕЛЯ БЕЗРАЗБОРНЫМ МЕТОДОМ

**С.И. Горб,** д.т.н., профессор
**Н.И. Будуров,** магистрант
Национальный университет «Одеская морская академия»

***Аннотация.*** *Предлагается метод оценки состояния газового тракта дизеля по косвенному показателю, а именно – по средней температуре газов перед турбиной. Обоснованы показатели работы дизеля, в том числе их значения, по которым можно судить о влиянии состояния газового тракта на рабочие процессы дизеля (без разборки газового тракта). Полученные зависимости позволяют оценивать состояние газового тракта во всем диапазоне скоростных режимов судна.*

## ANALYSIS OF THE EXHAUST TRACT CONDITION OF DIESEL ENGINE BY NONDEMOUNTABLE METHOD

**Gorb Sergii**, Dr. of Science, Professor
**Budurov Mykola**, Master Student
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** A method of determining of the exhaust tract condition of a diesel engine by indirect indicator is proposed, namely – by the average temperature of gases before the turbine. The performance indicators of the diesel engine are substantiated, including their values, by which ones can judge the influence of the exhaust tract condition on the working processes of the diesel engine (without disassembling the gas tract).

The obtained dependencies allow the assessment of the exhaust tract condition in the entire range of speed modes of the vessel.

В процессе эксплуатации дизелей неизбежно закоксовывается их газовый тракт, что ухудшает рабочие процессы дизелей. Причём нельзя утверждать, что загрязнение увеличивается пропорционально времени. Обычно оно происходит интенсивно на малых ходах судна и при утяжелении винтовой зависимости в связи с обрастанием корпуса, изменением ветро-волновых условий плавания, течений и влияния мелководья [1, 2, с. 20].

Чтобы предотвратить перегрузки главного двигателя при "тяжёлом" винте, на судах с винтами фиксированного шага уменьшают частоту вращения винта. Однако при этом увеличиваются промежутки времени между впрыском топлива в цилиндры дизеля. Поэтому существенно снижается количество газов, которые проходят через сопловой аппарат турбины, что, в свою очередь, приводит к уменьшению подачи воздуха турбокомпрессором и соответственно к уменьшению избытка воздуха при сгорании, росту температур газов на линии расширения и в начале выпуска, а также к загрязнению газового тракта [1, 3].

Так как спрогнозировать продолжительность малых ходов и других "тяжелых" режимов практически невозможно, то возникают большие сложности с обоснованием рациональных сроков очистки газового тракта. Часто ситуацию с загрязнением газового тракта пытаются улучшить увеличением на короткий промежуток времени скорости судна (как говорят - "продувкой" газового тракта), но это не обеспечивает решение проблемы по выбору рациональных сроков очистки.

Даже, если часто разбирать газовый тракт и пытаться зрительно определять необходимость его очистки, то неизбежны субъективные ошибки при такой оценке.

Использование необоснованных сроков очистки приводит либо к избыточным затратам на техническое обслуживание, либо к эксплуатации дизелей в неспецификационных условиях.

В связи с изложенным представляется актуальным решение проблемы выбора рациональных сроков очистки газового тракта дизеля по его косвенным показателям. Решение этой проблемы направлено на оптимизацию скоростей судов и повышение энергоэффективности флота [4, 5, 6].

Решение проблемы осложняется тем, что главные двигатели эксплуатируются на разных режимах. Соответственно значения косвенных показателей существенно зависят от режимов работы. Также на косвенные показатели значительно влияет состояние воздушного тракта, например, загрязнение воздушного фильтра на входе в компрессор, а также воздушного холодильника из-за возможных забросов газов из цилиндра в ресивер продувочного воздуха.

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать схему исследования из работы [7] с применением усовершенствованной методики численного моделирования [1, 2, 8, 9, 10].

В качестве объекта исследования выбран малооборотный двухтактный главный двигатель HYUNDAI-MAN B&W 6G70ME-C9.2-TII с изобарной системой

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

наддува крупнотоннажного танкера GOLDWAY. Этот двигатель имеет прямую передачу на гребной винт и развивает номинальную мощностью 15088 кВт при частоте вращения вала 71,8 мин$^{-1}$, является крейцкопфным и реверсивным. Газотурбинный наддув обеспечивает турбонагнетатель фирмы MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES серии MET60MB.

Для моделирования использованы конструктивные параметры, приведённые в руководстве [11]. Также использованы данные ходовых испытаний судна и параметры, измеренные специально для моделирования.

Для настройки математической модели измерены показатели рабочих процессов двигателя на пяти установившихся ходовых режимах. Для измерения использовались штатные приборы; максимальное давление в цилиндре определялось стационарной диагностической системой PMI Auto tuning 1410-v1.42.0.11. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные показатели рабочих процессов главного двигателя

| № п/п | Показатель | | Режим 25% | Режим 50% | Режим 75% | Режим 85% | Режим 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Частота вращения главного двигателя, мин$^{-1}$ | | 45,2 | 57,0 | 65,0 | 68,0 | 71,8 |
| 2 | Индекс топливоподачи, условные ед. | | 43,0 | 64,0 | 84,0 | 90,0 | 100,0 |
| 3 | Частота вращения турбонагнетателя, мин$^{-1}$ | | 7049 | 11251 | 13397 | 13556 | 14343 |
| 4 | Давление воздуха перед холодильником, бар | | 0,43 | 1,60 | 2,64 | 2,69 | 3,08 |
| 5 | Давление воздуха после холодильника, бар | | 0,50 | 1,62 | 2,68 | 2,73 | 3,13 |
| 6 | Температура воздуха перед холодильником, °С | | 52 | 110 | 156 | 163 | 176 |
| 7 | Температура воздуха после холодильника, °С | | 19 | 24 | 26 | 29 | 32 |
| 8 | Перепад давления на воздушном холодильнике, мм вод. ст. | | 40 | 105 | 156 | 160 | 180 |
| 9 | Температура газов перед турбиной, °С | | 253 | 319 | 355 | 381 | 421 |
| 10 | Температура газов за турбиной, °С | | 182 | 180 | 189 | 208 | 247 |
| 11 | Максимальное давление в цилиндре № 6, кгс/см$^2$ | | 104,9 | 141,5 | 167,3 | 184,0 | 185,7 |
| 12 | Температура газов на выходе из цилиндра, °С | №1 | 161 | 238 | 289 | 321 | 370 |
| | | №2 | 168 | 228 | 273 | 310 | 359 |
| | | №3 | 191 | 257 | 301 | 331 | 380 |
| | | №4 | 189 | 251 | 293 | 321 | 369 |
| | | №5 | 190 | 256 | 309 | 332 | 378 |
| | | №6 | 191 | 257 | 308 | 329 | 375 |

Измерения проводились в условиях: осадка судна носом и кормой по 17,2 м; температура воздуха в машинном отделении 16 °С; давление воздуха в машинном отделении 101,3 кПа; температура забортной воды 21,1 °С; волнение моря 3 балла; топливо IFO 120 (смесь 11,88 % Gas Oil Marino и 88,12 % Fuel Oil 380).

В табл. 2 показаны результаты моделирования на пяти установившихся ходовых режимах двигателя.

Таблица 2

Результаты моделирования на пяти установившихся ходовых режимах двигателя

| № п/п | Показатель | Режим 25% | Режим 50% | Режим 75% | Режим 85% | Режим 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Максимальное давление цикла, кгс/см$^2$ | 105,1 | 141,4 | 167,4 | 183,9 | 185,7 |
| 2 | Максимальная температура цикла, К | 1746,6 | 1710,6 | 1688,9 | 1681,2 | 1678,9 |
| 3 | Температура в цилиндре на момент начала выпуска, К | 620,3 | 620,7 | 638,1 | 655,6 | 663,5 |
| 4 | Доля тепла, отводимого в стенки цилиндра за цикл, % | 20,5 | 17,0 | 15,3 | 14,3 | 13,9 |
| 5 | Средняя условная температура стенок цилиндра, К | 501,6 | 537,1 | 565,0 | 584,9 | 593,0 |
| 6 | Действительный коэффициент избытка воздуха | 2,133 | 2,313 | 2,457 | 2,493 | 2,562 |
| 7 | Суммарный коэффициент избытка воздуха | 2,372 | 2,577 | 2,792 | 2,824 | 2,845 |
| 8 | Средняя температура газов перед турбиной, К | 536,2 | 602,7 | 637,6 | 657,7 | 695,3 |
| 9 | Суммарный индикаторный КПД | 0,4965 | 0,497 | 0,4985 | 0,50 | 0, 499 |

Исходя из поставленной проблемы сравнены расчётные показатели рабочих процессов дизеля с чистым газовым трактом и при закоксовывании: продувочных окон с одновременным уменьшением максимального эффективного сечения окон на 20 %, увеличением угла начала продувки на 2 градуса и уменьшением угла конца продувки на 2 градуса (табл. 3); соплового апарата турбина на 10 % (табл. 4).

Таблица 3

Результаты моделирования с уменьшенным максимальным эффективным сечением окон на 20 %, увеличенным углом начала продувки на 2 градуса и уменьшенным углом конца продувки на 2 градуса

| № п/п | Показатель | Режим 25% | Режим 50% | Режим 75% | Режим 85% | Режим 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Максимальное давление цикла, кгс/см$^2$ | 106,9 | 143,1 | 169,1 | 188,9 | 190,9 |
| 2 | Максимальная температура цикла, К | 1751,5 | 1715,9 | 1701,6 | 1688,4 | 1687,6 |
| 3 | Температура в цилиндре на момент начала выпуска, К | 624,3 | 626,2 | 645,9 | 661,1 | 669,9 |
| 4 | Доля тепла, отводимого в стенки цилиндра за цикл, % | 20,8 | 17,1 | 15,5 | 14,5 | 14,3 |
| 5 | Средняя условная температура стенок цилиндра, К | 504,2 | 538,9 | 568,2 | 587,4 | 599,0 |
| 6 | Действительный коэффициент избытка воздуха | 2,078 | 2,258 | 2,371 | 2,384 | 2,472 |
| 7 | Суммарный коэффициент избытка воздуха | 2,295 | 2,413 | 2,656 | 2,698 | 2,724 |
| 8 | Средняя температура газов перед турбиной, К | 545,9 | 608,2 | 643,2 | 662,9 | 701,4 |
| 9 | Суммарный индикаторный КПД | 0,495 | 0,496 | 0,4975 | 0,499 | 0,498 |

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Из табл. 3 следует, что при закоксовывании газового тракта наблюдается повышение максимального давления цикла за счёт падения коэффициента избытка воздуха (что приводит к ухудшению суммарного индикаторного КПД), увеличение максимальной температуры цикла и температуры газов перед турбиной за счёт уменьшения объёма воздуха в начале сжатия. Соответственно возростают температуры газов на линии расширения и ухудшаются условия работы выпускных клапанов.

Таблица 4

Результаты моделирования с закоксовыванным сопловым аппаратом турбины на 10 %

| № п/п | Показатель | Режим 25% | Режим 50% | Режим 75% | Режим 85% | Режим 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Максимальное давление цикла, кгс/см$^2$ | 106,9 | 143,2 | 169,8 | 186,5 | 189,1 |
| 2 | Максимальная температура цикла, К | 1740,4 | 1701,4 | 1675,7 | 1666,7 | 1664,4 |
| 3 | Температура в цилиндре на момент начала выпуска, К | 630,1 | 630,6 | 647,3 | 665,1 | 673,8 |
| 4 | Доля тепла, отводимого в стенки цилиндра за цикл, % | 21,4 | 17,4 | 15,7 | 14,6 | 14,3 |
| 5 | Средняя условная температура стенок цилиндра, К | 508,8 | 542,0 | 571,5 | 590,5 | 598,7 |
| 6 | Действительный коэффициент избытка воздуха | 2,073 | 2,234 | 2,356 | 2,382 | 2,449 |
| 7 | Суммарный коэффициент избытка воздуха | 2,191 | 2,437 | 2,651 | 2,677 | 2,717 |
| 8 | Средняя температура газов перед турбиной, К | 547,3 | 611,0 | 645,6 | 664,1 | 702,8 |
| 9 | Суммарный индикаторный КПД | 0,4935 | 0,4945 | 0,495 | 0,496 | 0,4945 |

Из табл. 4 следует, что закоксовывание соплового аппарата турбины приводит к росту средней температуры газов перед турбиной и существенному увеличению максимальная температура цикла (соответственно увеличиваются температуры на линии расширения), что приводит к ухудшению условий работы выпускных клапанов.

Для определения рациональных сроков очистки газового тракта дизеля предлагается использовать параметр средней температуры газов перед турбиной, так как он является наиболее доступным для измерения показателем в условиях эксплуатации дизеля.

На рис. 1 показано изменение средней температуры газов перед турбиной при изменении скоростного режима работы дизеля HYUNDAI-MAN B&W 6G70ME-C9.2-TII с чистым и закоксованным газовым трактом.

Расчётные зависимости закоксованного газового тракта получены усреднением по среднему арифметическому значений средней температуры газов перед турбиной при закоксовывании продувочных окон на 20 % и при закоксовывании соплового апарата турбина на 10 %.

Полученное на рис. 1 отклонение зависимости при закоксованном газовом тракте от чистого позволяет оценивать состояние газового тракта дизеля на разных ходовых режимах судна. Для этого в эксплуатации измеряется отклонение температуры газов перед турбиной от ранее зафиксированного значения при чистом газовом тракте и измеренное отклонение сравнивается с отклонением на рис.1. Это, в свою очередь, позволяет выбрать рациональные сроки очистки газовоздушного тракта.

Рекомендации по очистке газовоздушного тракта дизеля в зависимости от средней температуры газов перед турбиной могут быть оформлены в виде диаграммы, приведенной на рис. 2.

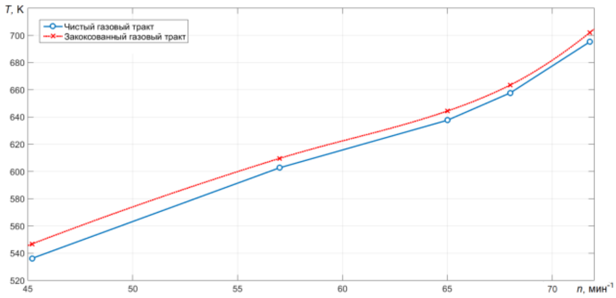



Рисунок 1 – Зависимости средней температуры газов перед турбиной, *T*, от частоты вращения дизеля, *n*, при чистом и закоксованном газовом тракте

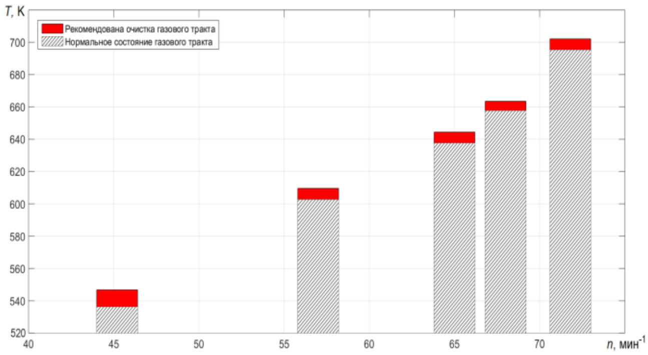



Рисунок 2 – Диаграмма для оценки целесообразности очистки газового тракта дизеля

Таким образом, в результате проведенного исследования предложен "безразборный" практический метод оценки целесообразности очистки газового тракта дизеля. Показано, что для исследуемого дизеля очистка целесообразна, если средняя температура перед турбиной увеличивается на режимах:

25 % мощности на 11 К;
50 … 75 % мощности на 7 К;
85 % мощности на 6 К;
100 % мощности на 7 К.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Горб С. И. Моделирование судовых дизельных установок и систем управления: учебное пособие для вузов. – М. : Транспорт, 1993. – 134 с.
2. Горб С.И. Моделирование динамики работы дизельных пропульсивных установок на ЭЦВМ: учебное пособие. – М.: В/О "Мортехинформреклама", 1986. – 48 с.
3. Горб С.И. Эффективность устройств защиты судового малооборотного дизеля от тепловых перегрузок // Двигателестроение. – 1990. – №5. – С. 28, 35 – 38.
4. Маслов В.В. Влияние скорости на экономические показатели работы судна // Энергетические установки современных морских судов: сб. науч. трудов. – Л.: Транспорт, 1987. – С. 3 – 7.
5. Горб С. Новые правила энергоэффективности для судов // Порты Украины. – 2013. – № 1(123). – С. 34, 35.
6. Горб С.И. Мониторинг энергоэффективности судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2015. – Вып. 21. – Одесса: ОНМА. – С. 48 – 53.
7. Горб С.И. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вып. 25. – Одесса: ОНМА. – С. 17 – 34.
8. Гончар Б.М. Численное моделирование рабочего процесса дизелей. // Энергомашиностроение. – 1968. – №7. – С. 34, 35.
9. Дизели: справочник. Изд. 3-е. /Под ред. В.А. Ваншейдта и др. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
10. Козьминых А.В., Красовский О.Г., Горб С.И. Расчёт эксплуатационных параметров судовых дизелей на ЭЦВМ: учебное пособие. – М.: ЦРИА "Морфлот", 1981. – 44 с.
11. Instructions for HYUNDAI–B&W 6G70ME-C9.2 engine operation. – Doc. No.: K975 – INR88U – 5425. – HHI – EMD, 2016. – 870 с.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 681.5

# INTELLIGENT CLIMATE MANAGEMENT IN VESSELS

**S. A. Mikhailov**, Dr. of Science, Professor
**R. Yu. Kharchenko**, Ph.D
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract:*** *The purpose of the publication is to analyze the prospects and the latest trends in the development of the use of intelligent technologies in climatic equipment, in connection with the existing practical needs and achievements of modern science and technology. Nowadays, it is obvious that the achievement of the required microclimate in the premises only by means of cooling and heating the air circulating inside the room is impossible without the necessary processing and supply of fresh air. The problem has become especially acute in connection with abrupt changes in climatic conditions and deterioration of air quality on our planet. The problem of viral-biological protection and air mixture control has also increased.*
***Key-words:*** *hybrid intelligent networks, fuzzy controllers, neural networks, decision support systems, fuzzification, knowledge base, climate complex, database.*

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ НА СУДНАХ

**С.А. Михайлов**, д.т.н., проф.,
**Р. Ю. Харченко**, к.т.н.
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація:*** *Мета публікації - проаналізувати перспективи та новітні тенденції розвитку використання інтелектуальних технологій в кліматичному обладнанні у зв'язку з існуючими практичними потребами і досягненнями сучасної науки і техніки. В даний час очевидно, що досягнення необхідного мікроклімату в приміщенні тільки за рахунок охолодження і нагріву циркулюючого усередині приміщення повітря неможливо без необхідної обробки і подачі свіжого повітря. Проблема стала особливо гострою в зв'язку з різкою зміною кліматичних умов і погіршенням якості повітря на нашій планеті. Зросла проблема вірусно-біологічного захисту та контролю повітряної суміші.*
***Ключові слова****: гібридні інтелектуальні мережі, нечіткі контролери, нейронні мережі, системи підтримки прийняття рішень, фазифікація, база знань, кліматичний комплекс, база даних.*

Human thermal sensations, being multifactorial in nature, are determined by thermal balance, which depends on the level of physical activity, clothing used, as well as the following tetrad of environmental indicators: air temperature, average radiation temperature, mobility and humidity. The international standard ISO 7730 sets 7 gradations of the level of microclimatic comfort, determined by calculating the PMV index (Predicted Mean Vote), based on a set of the above-mentioned objective indicators, including the results of instrumental measurements. The PMV-derived evaluation criterion is the probable proportion of people dissatisfied with microclimatic conditions (PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied), which predicts the percentage of people experiencing excessive heat or, conversely, cold in a particular environment for a certain level of comfort [1].

In the latest models of microclimate systems, means of their intellectualization are being introduced, which, according to the indications of infrared sensors for floor temperature and other enclosing structures, dynamically redistribute air flows as needed, creating uniform temperature fields throughout the volume of the room.

There are progressive technical solutions aimed at finer purification of the treated air, destruction of bacterial flora and neutralization of some harmful chemical compounds. However, the creation of algorithms, databases and software, the creation of new possibilities for the functioning of such systems is an urgent scientific task [2].

It can also be concluded that such a design practice has developed in the world, promising scientific and engineering solutions related to the microclimate of enclosed spaces are not being introduced into the current regulatory and technical documentation.

The author proposes to consider the device of hybrid intelligent networks (GIN) for use in climate control systems. In my opinion, they are a potentially powerful product for solving complex problems that are beyond the power of individual approaches. For example, it is hybrid knowledge that provides the completeness of the knowledge base [3].

In the architecture of such hybrid systems, depending on the task at hand, various intelligent modules are integrated - neural networks, genetic algorithms, fuzzy controllers, decision support systems (DSS), adaptive systems and other components of the so-called "artificial intelligence". The range of tasks of artificial intelligence includes constant monitoring of all systems and timely prevention and elimination of breakdowns and malfunctions. The neural network will be able to calculate the probability of a malfunction and develop options for its prevention. These systems successfully implement the experience and knowledge of experts, and also have the ability to self-study.

The author proposes the use of modern electronic sensors of air handling systems, as well as the use of databases and hybrid models of intelligent warehouse management of a mixture of closed rooms based on a neuro-fuzzy network [3], which significantly improves quality and energy indicators (fig. 1).

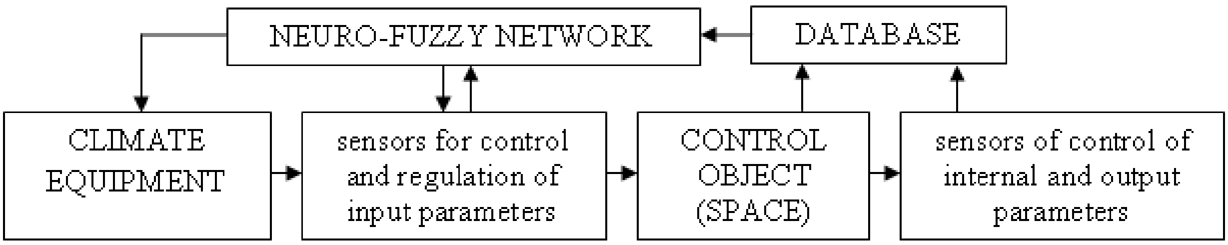



Figure 1 – Block diagram of intelligent microclimate control.

To test the effectiveness of neuro-fuzzy adaptive and typical formulaic methods of settings, a computer experiment is performed using MatLab (Simulink).

When developing a fuzzy model and the production base of the rules  proposed fuzzy cascade control system and to analyze the efficiency of its operation in comparison with the traditional one, consisting of two PI controllers connected in series, virtual experiments were performed in the Matlab environment. The object of the 3rd order with a delay in the form of inertial links are the models of two heaters, an irrigation chamber and a fan.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

The transients from the output of the studied object (space) obtained on the oscilloscope (fig. 3) demonstrate the advantage of the fuzzy system (aperiodic process, tr = 65 s) (curve 1) compared to the conventional system (ΔT1 = 0.3; tr = 75 c) curve 2. Thus, the proposed fuzzy control system successfully maintains the specified air parameters and can be used to control the air parameters.

We can note the main advantages of the proposed new type of control: ease of adjustment of the phase controller (accessibility for service personnel to understand), no need to build complex mathematical models, no need for special devices for adaptation, cheap equipment, savings electricity by reducing the time of regulation, as well as high accuracy of maintaining the specified parameters [4].

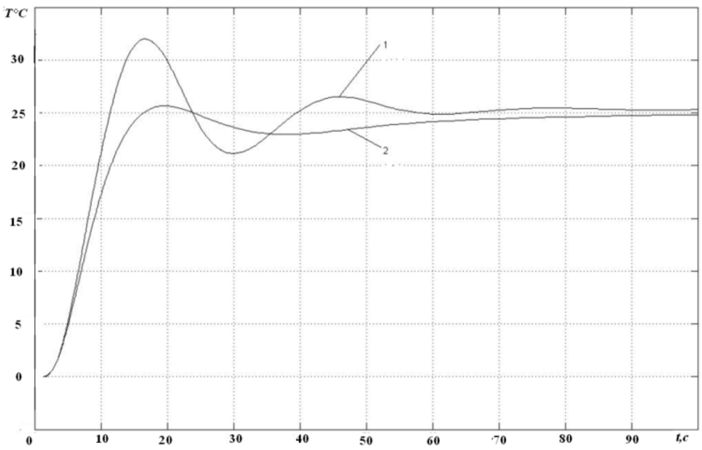


Figure 2 – Transients of the microclimate control system: 1 - cascade with PI - regulators; 2 - neuro-fuzzy adaptive.

*Conclusions.* On the basis of the theory of neuro-fuzzy logic, intelligent hybrid systems for controlling temperature, air exchange and indoor air humidity are proposed. Simulation experiments of the proposed models have demonstrated their effectiveness in comparison with traditional ones in terms of achieving the best indicators of the quality of operation processes, and the availability of opportunities to take into account personal qualities and knowledge of experts[5].

An emergency fuzzy expert intellectual model for determining the level of comfort for a person is also proposed, which takes into account individual characteristics (type of work, clothing, native climatic zone) allows you to achieve a high level of well-being of people and reduce morbidity.

**REFERENCES**

1. Р. Ю. Харченко, Підвищення ефективності функціонування суднових ергатичних систем управління, Матеріали IX міжнародної науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» 05.11.2019 – 06.11.2019, Одеса, НУ «ОМА», стр. 193 – 196.

2. V. S. Mikhailenko Analysis of traditional and neuro-fuzzy adaptive systemof controlling the primary steam temperature in the direct flow steam generators in TPS/ V. S. Mikhailenko, R. Yu. Kharchenko // Automatic Control and Computer Sciences, 2014,Vol. 48, No. 6, pp. 334–344.

3. Михайлов С. А. Огляд можливостей інтелектуального управління складом повітряної суміші замкнутих приміщень / Михайлов С. А., Харченко Р. Ю. // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» 24 - 26 вересня 2020, – Одеса: ОНМУ, 2020. С. 175-176.

4. Kharchenko R.Yu. Modern possibilities of intelligent climate control for enclosed spaces / The VI th International scientific and practical conference «About the problems of science and practice, tasks and ways to solve them» ISBN - 978-1-63649-928-4 DOI - 10.46299/ISG.2020.II.VI (October 26-30, 2020). Milan, Italy 2020. 487-490 p.

# Секція 10**. ОСВІТНІ ТА ПРОФЕСІЙНІ СТАНДАРТИ**

УДК 656.7:658.012.011.56; 656.7:004

## ОСОБЛИВОСТІ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ОСОБИСТІСНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

[1]**Рева О.М.,** д.т.н., проф.;
[1]**Камишин В.В.,** д.пед.н., к.т.н., с.н.с., член-кореспондент НАПН України;
[2]**Шульгін В.А.**, к.т.н., доц.;
[2]**Невиніцин А.М.**, к.т.н., доц.
[1]Український інститут науково-технічної експертизи та інформації;
[2]Льотна академія Національного авіаційного університету

***Анотація:*** *Враховуючи вплив людського чинника на прийняття рішень, а отже і на безпеку польотів, здійснено алгоритмізацію особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. Алгоритм спрямований на забезпечення позитивної синергетичної динаміки показників впливу людського чинника на прийняття рішень диспетчером в умовах порушень норма ешелонування повітряних суден. Йдеться про основні домінанти прийняття рішень як якісні індикатори ставлення до ризику (схильність, байдужість, несхильність) та рівні домагань як кількісні індикатори адекватності самооцінки. Алгоритм виявився ефективним: члени експериментальної групи припустилися після відповідно підготовки на 15,2% менше помилок, ніж диспетчера фонової.*

***Ключові слова****: безпека польотів, людський чинник, алгоритмізація тренажерної підготовки авіадиспетчерів, синергетична динаміка показників прийняття рішень.*

## THE ALGORITHMIZATION OF PERSONALITY-ORIENTED SIMULATOR TRAINING PECULIARITIES OF THE AIR TRAFFIC CONTROLLERS

[1]**O.M. Reva,** Doctor of Technical Sciences, Professor;
[1]**V.V. Kamyshyn,** Doctor of Pedagogical Sciences, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Corresponding Member of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine;
[2]**V.A. Shulgin**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor;
[2]**A.M. Nevinitsyn**, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor.
[1]Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information;
[2]Flight Academy of the National Aviation University

***Abstract:*** *Taking into account the influence of the human factor on decision-making, and, consequently, on flight safety, an algorithmization of the personality-oriented simulator training of air the traffic controllers was carried out. The algorithm is aimed at ensuring positive synergistic dynamics of indicators of the human factor influence on the decision-making by the dispatcher in conditions of the aircraft separation standards violations. We are talking about the main dominants of the decision-making as qualitative indicators of attitude to risk (inclination, indifference, non-commitment) and the level of claims as quantitative indicators of the self-assessment adequacy. The algorithm turned out to be effective: the members of the experimental group made 15.2% fewer mistakes after appropriate training than the controllers of the background group.*

***Keywords:*** *flight safety, human factor, algorithmization of simulator training for the air traffic controllers, synergistic dynamics of the decision-making indicators.*

### 1. Постановка проблеми.

На сьогодні загальновизнаний подвійний (як позитивний, так і негативний) вплив людського чинника (ЛЧ) на ефективність і безпеку функціонування складної поліергатичної цілеспрямованої організаційної і активної системи керу-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

вання «льотний екіпаж – повітряне судно (ПС) – середовище – орган управління повітряним рухом (УПР)» [1-3]. Тому актуальними є дослідження, особливо проактивні, з профілактики негативного впливу ЛЧ на безпеку польотів (БП). Зазначена «проактивна» стратегія досліджень є найбільш значущою, оскільки пропонує вихід з «пастки» ЛЧ, адже проблеми вирішуються заздалегідь, до їх виникнення в реальних умовах діяльності авіаційного персоналу [4].

Безумовно, дослідження і профілактика негативного впливу ЛЧ на БП має проводитися в ракурсі поточної парадигми концепції безпеки ІСАО [3], в якій чільне місце займає «ставлення персоналу до небезпечних дій або умов», що визначає, як доведено у працях [2, 5-7 та ін.], взаємодію усіх інших складових концепції. Складники зазначеного «ставлення» - суть показники впливу ЛЧ на прийняття рішень (ПР): основні домінанти прийняття рішень (ОДПР), рівні домагань (РД), нечіткі оцінки небезпек відповідно до критеріїв ІСАО, небезпечні стратегії, системи переваг тощо. Це є особливо значущим, оскільки професійна діяльність авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (диспетчерів УПР (ДУПР), членів льотного екіпажу) зазвичай розглядається як безперервний ланцюг рішень, що виробляються і реалізуються у явних / неявних формах та під впливом різноманітних чинників: внутрішніх / зовнішніх, об’єктивних / суб’єктивних, особливо ризиків стохастичної і нестохастичної природи. Невипадково, за визначенням Габріеля Салвенді (Gabriel Salvendy), провідного ергономіста з світовим ім’ям, «людський чинник – багатозначний термін, що описує можливість прийняття людиною помилкових або алогічних рішень в конкретних ситуаціях». Тому проактивне дослідження зазначеного «ставлення» та застосування відповідних результатів в управління БП, у тому числі під час професійної підготовки АО «переднього краю» має позитивно вплинути на БП.

**2. Мета дослідження**

Виходячи з наведеного *метою* дослідження є розроблення алгоритму особистісно-орієнтовної тренажерної підготовки (ТП) професійних ДУПР, який спирався б на складники «ставлення до небезпечних дій або умов», тобто вищеперелічені показники впливу ЛЧ на ПР.

**3. Аналіз досліджень та публікацій.**

Слід зауважити, що складники ставлення АО «переднього краю» до небезпечних дій або умов досліджуються невеликою групою вчених України, Казахстану та Азербайджану [5-12 та ін.], які є представниками наукової школи одного зі співавторів цієї праці. При цьому зазначимо таке.

Виявлення ОДПР відбувається в процесі вирішення закритої задачі ПР шляхом побудови за обмеженою кількістю точок і подальшого аналізу оціночних функцій корисності (ОФК) показників, характеристик, умов професійної діяльності. Зазначені ОДПР вказують на ставлення до ризику (схильність, несхильність, байдужість), є якісними показниками ПР і ілюструють мотивацію на досягнення успіху / запобігання невдач.

Виявлення РД відбувається в процесі вирішення відкритої задачі ПР шляхом побудови за формально необмеженою кількістю точок і подальшого аналізу ОФК показників, характеристик, умов професійної діяльності. Зазначені РД є кількісними показниками ілюструють адекватність самооцінки (СО) випробуваних АО «переднього краю».

Нечіткі моделі порушень будують за допомогою шкали Купера_Харпера на континуумі кількісних показників характеристик і умов професійної діяльності згідно шкали рівнів небезпек (РН) ІСАО [3], яку можна подати у виді такої терм-множини відповідної лінгвістичної змінної:

$$T^{M}\left(PH\right)=\overset{\tilde{R}_K}{катастофічний}+\overset{\tilde{R}_H}{небезпечний}+\overset{\tilde{R}_C}{суттєвий}+ \\ +\overset{\tilde{R}_{H3}}{незначний}+\overset{\tilde{R}_M}{мізерний}, \tag{1}$$

де « + » – позначка логічного об’єднання окремих оцінок РН у шкалу.

Відповідні результати досліджень дозволили уперше вирішити «трикутник ризиків» ІСАО у добре зрозумілих і фізично вимірюваних показниках і характеристиках діяльності АО «переднього краю». Зокрема для умов порушень норм ешелонування ПС (НЕПС) [6, 12, 13].

Результати досліджень інших складників ставлення до небезпечних дій або умов, хоча і є достатньо оригінальними і цікавими для вирішення проблем ЛЧ і управління БП в контексті цієї публікації розглядатися не будуть.

Вкажемо на універсальність методології визначення усіх п’яти складників «ставлення до небезпечних дій або умов», яку нескладно адаптувати для потреб досліджень інших видів операторської діяльності, зокрема судноводіїв [14].

Слід вказати на досвід побудови алгоритмів розвитку академічної обдарованості тих, хто навчається, що враховує динаміку перетворень ОДПР і РД в дидактиці і будується на принципах синергетичного ефекту [15]. На схожих принципах побудований алгоритм тренажерної підготовки (ТП) молодих курсантів (студентів) – ДУПР [16]. Однак, з урахуванням суттєвої різниці в досвіді безпосереднього УПР, відповідний алгоритм має бути доопрацьований.

**4. Розробка особистісно-орієнтованого алгоритму тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.**

Отже, оскільки професійна діяльність інструктора диспетчерського тренажера, для якого саме й розробляються наші рекомендації є операторською працею, то найкраще їх сприйняття забезпечить алгоритмізація відповідних етапів ТП. Тому в подальшому в контексті наших досліджень під «алгоритмом ТП, що враховує закономірності прояву ЛЧ під час ПР ДУПР в умовах порушення НЕПС» розумітимемо точний і зрозумілий припис користувачеві-інструктору щодо послідовності дій, спрямованих на досягнення поставленої мети, а саме формування в ДУПР, які проходять тренування, такого рівня знань, вмінь, професійних навичок (ЗУПН), як мінімум достатнього для забезпечення потрібного для забезпечення належного рівня БП.

Враховуючи мету досліджень, інтерпретуємо відомі інформаційні вимоги до алгоритмів [17-19 та ін.] таким чином:

1. *Зрозумілість для користувача* – інструктор диспетчерського тренажера – користувач алгоритму зобов’язаний:

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

а) знати, як його виконувати в професійній діяльності;

б) чітко орієнтуватися в кваліметрічних показника впливу ЛЧ на ПР, що в ньому застосовуються;

в) чітко уявляти потрібний кінцевий результат (ПКР), якого слід досягти в процесі ТП ДУПР. При цьому ПКР як глобальна мета забезпечення БП, в контексті наших досліджень досягається шляхом реалізації таких під цілей:

– зміна ОДПР на «схильність до ризику», або збереження початково виявленої домінанти «схильність до ризику», що свідчитиме про формування мотивації на досягнення успіху;

– забезпечення адекватності СО, що вказуватиме на зростання професійної майстерності.

Зауважимо, що оскільки виконавцем алгоритму є інструктор, то він не може вільно інтерпретувати команди, що подані у записі алгоритму, а має неухильно їх виконувати.

2. *Масовість* (*повторюваність*) - алгоритм досягнення ПКР подається в загальному вигляді, тому придатний для застосування в ТП випробовуваних ДУПР, які відрізняються ОДПР і РД, а саме вихідними особистісними даними. Ці вихідні дані - показники прояву ЛЧ в ПР - можуть вибиратися з деякою області, яка називається областю застосовності алгоритму. Наприклад, спектр використовуваних НЕПС заздалегідь передбачений в програмі ТП і на конкретному диспетчерському тренажері, дійсно можна моделювати відповідну повітряну обстановку.

Реалізація масовості алгоритму неможлива без забезпечення його циклічності - оскільки передбачається багаторазове повторення тих самих дій інструктора над новими вихідними даними (наприклад, кваліметричними показниками особливостей ПР, отриманими для нових НЕПС), характерними для кожного випробуваного. Цикл підготовки ДУПР повторюється, поки не буде досягнутий ПКР: або має змінюватися ОДПР на більш ризиковану, або збільшуватися РД.

4. *Визначеність* (*детермінованість, точність, однозначність*) - кожне правило алгоритму має бути чітким, однозначним, сприяти досягненню ПКР і не залишати місця для свавілля інструктора. Якщо вхідні дані різних випробовуваних (ОДПР і РД) для однієї і тієї ж НЕПС близькі або однакові, то забезпечується «механічне» виконання алгоритму, не вимагаючи ніяких додаткових вказівок або відомостей про розв'язувану задачу. При цьому ПКР для таких осіб також будуть близькі або навіть однакові.

5. Дискретність (переривчастість, роздільність) - алгоритм повинен представляти процес вирішення завдання ефективної ТП як послідовне виконання простих (або раніше визначених) кроків (етапів), елементарних актів, можливість виконання яких інструктором не викликає сумніву. Саме завдяки цій якості, функції з реалізації алгоритму можна перекласти на систему підтримки ПР (СППР).

6. Фінітність - алгоритм має привести до ПКР за кінцеву кількість кроків (операцій). В іншому випадку має вирішуватися питання про збільшення часу ТП для ДУПР. На відміну від комп'ютера інструктор має можливість задавати випробуваним навідні запитання під час проведення розбору тренування або наземної підготовки. Проте, будь-який крок реалізації програми ТП не повинен мати неоднозначності як для інструктора, так і для тренованих ДУПР.

7. Результативність (спрямованість) - рекомендації з врахування ЛЧ в процесі ТП професійних ДУПР сформульовані і алгоритмізовані таким чином, що це обов'язково призводить або до ПКР, або висновку, що при заданих вихідних величинах (особистого рівня ЗУПН, особливостей ОДПР, РД тощо) неможливо виконати тренувальну вправу із забезпеченням належного рівня БП.

8. Коректність - в основу створення алгоритму закладена обґрунтована ідеологія (логіка) врахування закономірностей прояви ЛЧ в АНС під час ПР за допомогою кваліметрічних показників ставлення ДУПР до небезпечних дій або умов. Ця логіка адекватна при вирішенні кожної тренувальної вправи, тому для всіх вихідних даних, що визначаються особливостями досліджуваного нами вставлення ДУПР до порушень НЕПС під час ПР, буде завжди давати правильний (стосовно закладеної в нього ідеології) результат і ні для яких вихідних даних не буде отриманий неправильний результат.

З огляду на викладене, нами була проведена алгоритмізація процесів ТП, що відображає вплив ЛЧ на ПР при УПР з урахуванням ставлення ДУПР до порушень НЕПС (рис. 1, 2). Спираючись на розроблені рекомендації щодо алгоритмізації особистісно-орієнтованої на особливості прояву ЛЧ при ПР в умовах порушень НЕПС, представленими на рис. 1, 2 визначимося із закладеною в нього ідеологією (логікою) організації ТП професійних ДУПР.

1. Загальні умови організації ТП визначаються спектром НЕПС, кваліметричними показниками особливостей прояву ЛЧ при їх порушеннях (ОДПР і РД), а також загальне кількістю тренованих ДУПР. При цьому для визначення ОДПР і РД відбувається для умов порушення НЕПС [4, 6, 13].

2. ТП має починатися з максимальної за протяжністю НЕПС ($S = S_{max}$), що відповідає дидактичному принципу навчання «від простого – до складного», що постійно застосовується для підготовки АО «переднего края».

3. Будуються групові ОФК і узагальнюються кваліметріческие показники в межах однієї домінанти ПР.

4. Нами доведено, що схильність до ризику, що проактивно демонструє випробуваний, - суть мотивація на досягнення успіху, то важливим з точки зору забезпечення належного рівня БП при УПР є адекватність їх СО, що встановлюється за допомогою РД. І якщо РД для схильних до ризику ДУПР вище усередненого значення, отриманого для групи таких осіб $S_{РД_{i\,сх.}} < S_{РД^{g}_{сх.}}$, то це додатково підтверджує їх домінанту, а умови УПР (відстані між ПС) мають вводиться з орієнтацією на катастрофічні показники, виявлені нами при вирішенні «трикутника ризиків» ІСАО: $S$ J $S_K$.

Позитивне рішення інструктора тренажера про вдале розв'язання такої «катастрофічної» проблемної ситуації свідчить про адекватність СО випробуваним свого рівня ЗУПН і є підставою для переходу до наступної більш складної вправи, що передбачає тренування при менших НЕПС. В іншому випадку, якщо висновок інструктора про ефективність дій випробуваного негативний, то після відповідного розбору тренування і додаткової підготовки цього ДУПР вводяться умови УПР, що відповідають вже не «катастрофічному», а наступного за шкалою - «небезпечному» рівню відстані між ПС: $S_K < S$ J $S_H$.

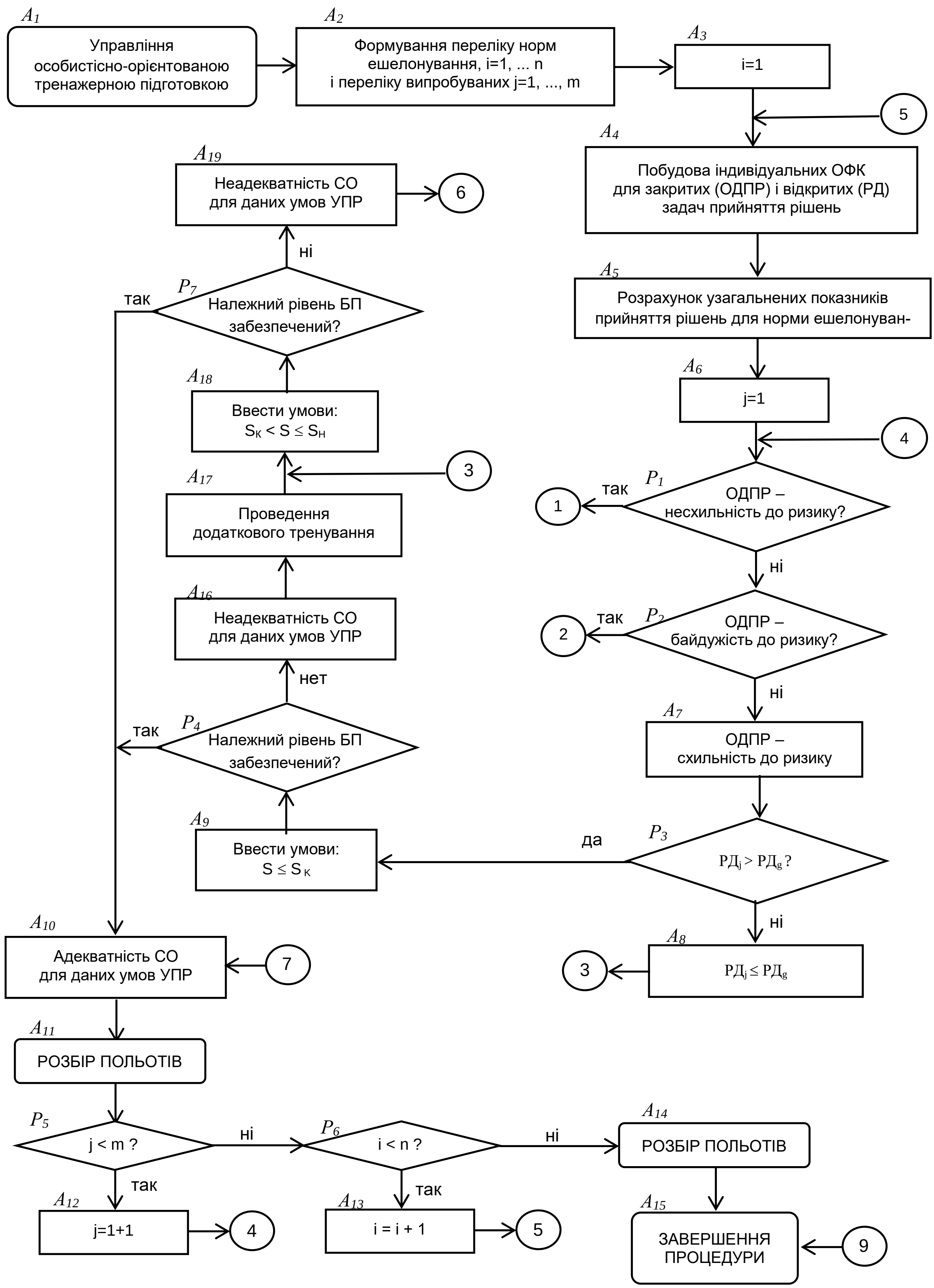



Рисунок 1 – Алгоритмізація особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом

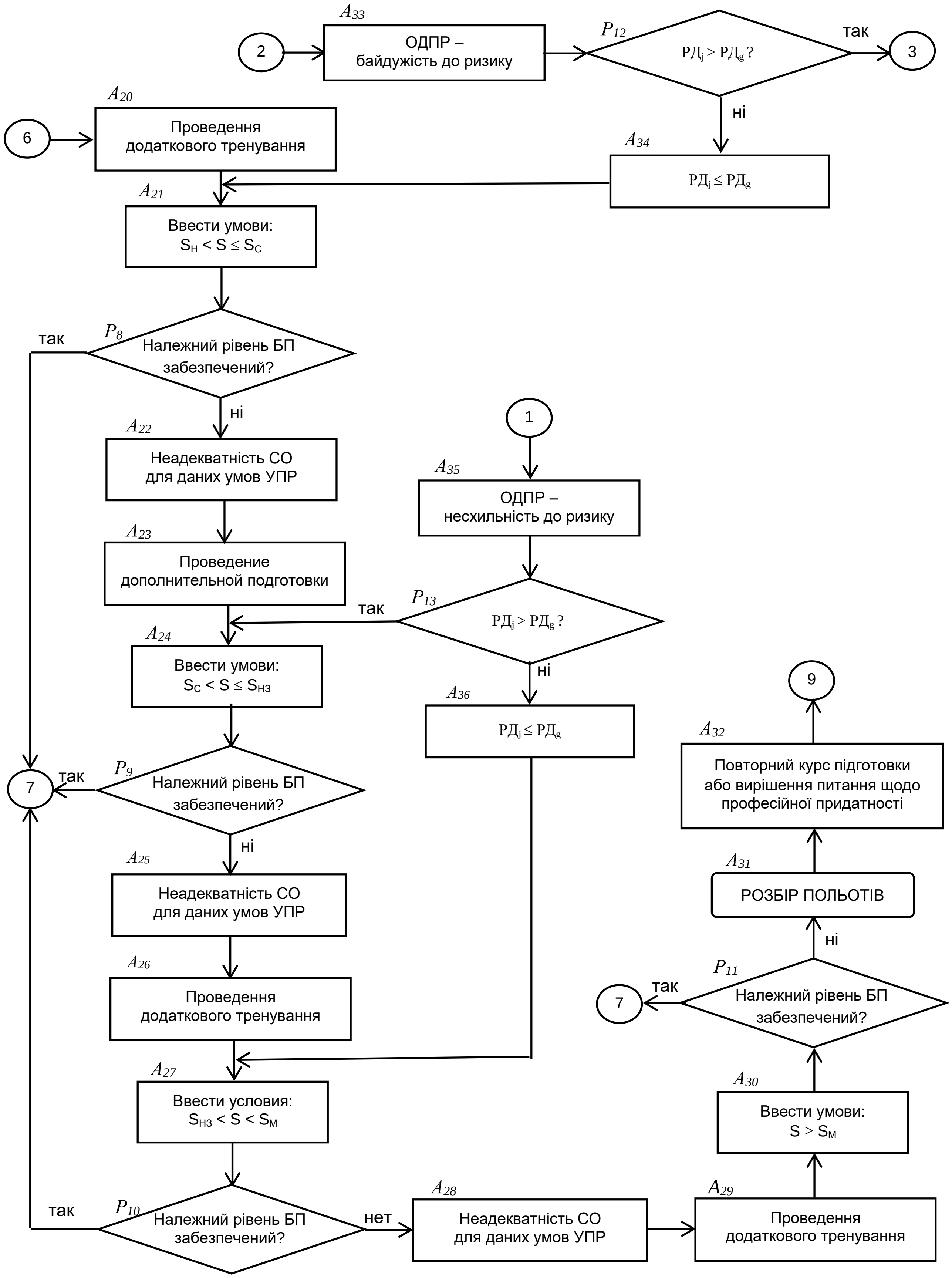



Рисунок 2 – Алгоритмізація особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом (завершення)

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Процедура послідовно повторюється до тих пір, поки інструктор тренажера не зробить позитивний висновок щодо забезпечення належного рівня БП, що відповідає завершенню процедури тренування. При цьому тренованим ДУПР обов'язково вказується на адекватність / неадекватність СО і її вплив на БП.

Природно, що якщо ДУПР не зміг впоратися зі своїми функціональними обов'язками при введенні відстані між ПС, адекватній «мізерній» небезпеці ($S_{M} < S \text{ J } S_{НЕРС}$), то або він має отримати додатковий час для формування відповідних ЗУПН, або розглядатися питання про його професійну придатність.

Якщо індивідуальний РД нижче середньо групового для осіб з ОДПР «схильність до ризику»: $S_{РД_{i\ сх.}} > S_{РД^{g}_{сх.}}$, тобто більше за вимірюваній відстані між ПС, а значить, і менш небезпечний з позицій забезпечення належного рівня БП, то вводяться умови УПР, відповідні «небезпечному» за класифікацією ІСАО рівню, встановленому нами при вирішенні «трикутника ризиків»: $S_{K} < S \text{ J } S_{H}$. Подальше тренування і аналіз їх результатів повторюється відповідно за вже розглянутими процедурами.

5. Наведене нескладно адаптувати для осіб з ОДПР «байдужість» чи «несхильність» до ризику. Наприклад, умови УПР для осіб, «байдужих до ризику» з РД, вищим за груповий $S_{РД_{i\ байд.}} < S_{РД^{g}_{байд.}}$, тобто меншим за величиною відстані між ПС, мають спочатку вводитися, орієнтуючись на встановлену по шкалі ІСАО небезпеку відстані, виявлену при вирішенні «трикутника ризиків» $S_{H} < S \text{ J } S_{C}$. В протилежному випадку – слід орієнтуватися на показники «суттєвого» ризику: $S_{РД_{i\ байд.}}$ і $S_{РД^{g}_{байд.}}$ Ю $S_{C} < S \text{ J } S_{НЗ}$.

Для тренованих ДУПР, «несхильних до ризику» і таких, що продемонстрували РД, як показник СО, вище за середньо груповий: $S_{РД_{i\ несх.}} < S_{РД^{g}_{несх.}}$ (менший за абсолютною величиною), вводяться такі умови УПР $S_{C} < S \text{ J } S_{НЗ}$, тобто на рівні показника «незначного» РН, виявленого при вирішенні «трикутника ризиків». В той же час особи, несхильні до ризику, однак з РД меншим за середньо груповий, отриманий для цієї ж категорії несхильних до ризику ДУПР ($S_{РД_{i\ несх.}}$ і $S_{РД^{g}_{несх.}}$), починають тренування з умовами організації повітряного простору, що відповідають «незначному» РН: $S_{НЗ} < S \text{ J } S_{M}$.

Виходячи з наведеного, в табл. 1 зведено рекомендації з визначення відстаней між ПС, що моделюються під час ТП професійних ДУПР.

6. Особливістю пропонованої організації ТП, орієнтованої на показники ПР професійними ДУПР, є також і те, що в них вже сформовані ЗУПН, достатні для долання небезпечних ситуацій, виниклих порушеннями НЕПС. Вони мають достатній рівень психофізіологічної і психологічної готовності до небезпек, тому незалежно від можливої неадекватності між рівнем СО і РД і їх реальними здібностями, вони обов’язково виконають тренувальну вправу. Тому наші пропозиції мають обов’язково мотивувати ДУПР на більш адекватну СО особисті-

сних ЗУПН, що, безумовно, позитивно вплине на забезпечуваний рівень БП.

Таблиця 1 - Рекомендації щодо урахування кваліметрічних показників небезпек порушення норм ешелонування повітряних суден під час тренажерної підготовки авіадиспетчерів

| Основна домінанта прийняття рішень | Значення рівнів домагань | Послідовність моделювання рівнів небезпек на тренажері |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Схильність до ризику | $S_{РД_j} < S_{РД}^{g}$ | $S_K$ Ю $S_H$ Ю $S_C$ Ю $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |
| | $S_{РД_j}$ і $S_{РД}^{g}$ | $S_H$ Ю $S_C$ Ю $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |
| Байдужість до ризику | $S_{РД_j} < S_{РД}^{g}$ | $S_H$ Ю $S_C$ Ю $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |
| | $S_{РД_j}$ і $S_{РД}^{g}$ | $S_C$ Ю $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |
| Несхильність до ризику | $S_{РД_j} < S_{РД}^{g}$ | $S_C$ Ю $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |
| | $S_{РД_j}$ і $S_{РД}^{g}$ | $S_{НЗ}$ Ю $S_M$ |

Були сформовані дві групи, експериментальна, чисельністю $m_{екс.} = 37$ осіб, співробітників ДП «Украерорух» та Льотної академії НАУ, які вже були охоплені нашими дослідженнями з встановлення їх персональних ОДПР, РД та нечітких оцінок небезпек порушень НЕПС, і фонова, тієї ж чисельності, члени якої не залучалися до такого роду досліджень. Реалізація алгоритму з рис. 1, 2 з представниками експериментальної групи, спостереження за представниками обох груп і збір статистики успішності ТП привели до такого висновку. Представники експериментальної групи під час ТП припускалися в середньому на 15,2% менше помилок, стосовно членів фонової групи. Що й визначає ефективність запропонованого алгоритму особистісно-орієнтованої на ЛЧ ТП.

**4. Висновки.**

4.1. Розроблено алгоритм алгоритм особистісно-орієнтованої ТП професійних ДУПР, орієнтований на досягнення синергетичного ефекту в процесі тренувань. Ефект досягається позитивною динамікою ОДПР (якісні перетворення) і РД (кількісні перетворення) випробуваних.

4.2. Алгоритм і рекомендації з його застосування призвели до позитивного ефекту: члени експериментальної групи припустилися в наступному тренуванні на 15,2% менше помилок, ніж представники фонової групи, які не були охоплені такою підготовкою.

4.3. Подальші дослідження слід проводити в напрямах (не ранжуючи):

– оцінювання ступеня прийнятності алгоритму, як додаткового робочого навантаження, для інструктора тренажера;

– розроблення інтелектуальної системи підтримки ПР інструктором в процесі тренувань тощо.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Fundamental Human Factors Concept // Human Factors Didest N0 1. — Cir. ICAO 216 — AN / 131. - Montreal, Canada, 1989.

2. Рева, О. М. Сучасні проблеми людського чинника в авіації : навч. посіб. / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. А. Шульгін ; под ред. О. М. Реви. – Київ. : Укр ІНТЕІ, 2018. – 124 с.

3. Safety Management Manual (SMM): DOC ICAO 9859 – AN/474. -. Montreal, Canada, 2018.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

4. Human Factors Module - A Business Case for Human Factors Investment // EUROCONTROL - HUM.ET1.ST13.4000-REP-02 / 13.12.1999.

5. Ставлення авіаційних операторів «переднього краю» до небезпечних дій або умов професійної діяльності – головний чинник забезпечення безпеки польотів [Текст] / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. А. Шульгін, Б.М. Мірзоєв, П.Ш. Мухтаров, Ш.Ш. Насіров // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016) : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., - Херсон, 24-26 травня 2016 р., – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 90-97.

6. Системно-інформаційна методологія проактивної кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в аеронавігаційних системах : монографія / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. В. Камишин, В. А. Шульгін, В. Д. Пархоменко, В. О. Липчнський ; за наук. ред. О. М. Реви. – Київ : УкрІНТЕІ, 2019. – 166 с.

7. Criteria Indicators of the Consistency of Air Traffic Controllers' Preferences on a Set of Characteristic Errors / Oleksii Reva (&), Volodimir Kamyshyn1, Andrii Nevynitsyn, Valerii Shulgin, and Serhiy Nedbay // Advances in Human Aspects of Transportation Proceedings of the AHFE 2020 : Virtual Conference on Human Aspects of Transportation, July 16–20, 2020, Springer, USA. – P. 617-623.

8. Рева, А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) : монографія [Текст] / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы : КазГУ, 2007. – 242 с.

9. Эмпирические модели оценки риска-неопределенности групповых систем предпочтений авиадиспетчеров [Текст] / А. Н. Рева, Б. М. Мирзоев, Ш. Ш. Насиров, С. В. Недбай // Elmi məcmuələr : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin, - Baki, iyul – sentyabr 2012. – Т. 14. - № 3. – С. 46-60.

10. Розробка методичного забезпечення процедур діагностики і корекції небезпечних стратегій прийняття рішень авіадиспетчерами [Текст] / О. М. Рева, Б. М. Мирзоэв, Ш. Ш. Насіров, П. Ш. Мухтаров // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : наук. ж. – Херсон : Вид-во ХМДА, 2013. – № 1. – С. 90-96.

11. Рева, А. Н. Отношение пилотов к риску в принятии решений при отказе двигателя [Текст] / А. Н. Рева, М. К. Байжуманов, Н. Р. Садуакасова // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT-2014) : зб. матеріалів VI Міжнар. наук.-практ. конф. – Херсон, 27-29 травня 2014 р., – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 78-81.

12. Reva, O. M. Fuzzy Model of Air Traffic Controller Attitude to the Risk During Decision Making [Text] / O. M. Reva, S. P. Borsuk // 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, Kraków, Poland 19-23 July 2014. – P. 6229-6238.

13. Актуальные направления разработки проактивных моделей решения «треугольника рисков» ИКАО [Текст] / А. Н. Рева, В. И. Вдовиченко, С. П. Борсук [и др.] // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : 4-та Всеукр. наук. -практ. конф., – Херсон, 9-11 жовтня 2013 р., - Херсон : ХДМА, 2013. – С. 334-338.

14. Рева, О. М. Системні основи кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень у судноводінні / О.М. Рева, А. П. Бень, В. Г. Ляшенко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT - 2019) : збірка матеріалів XI Міжнародної науково-практичної конференції, - Херсон, 28-30 травня 2019 року, - Херсон : ХДМА, 2019. – С. 69-72.

15. Синергетика особистісно-орієнтованого розвитку академічної обдарованості / В. В. Камишин, О. М. Рева, Є. А. Бурдельна, К. Ю. Трушковський [Текст] // Освіта та розвиток обдарованої особистості : щоквартальний науково-методичний журнал. – Київ : ІОД НАПН України, 2019. - № 1 (72). – С. 53-62.

16. Рева, О. М. Закономірності виникнення синергетичного ефекту в професійній діяльності авіаційних операторів «переднього краю» / О. М. Рева, В. В. Камишин, В. А. Шульгін // Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика (SLA-2019) : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, - Херсон, 11-14 вересня 2019 року, - Херсон : ХДМА, 2019. – С. 234-239.

17. Кнут Д. Искусство программирования. - Т. 1. Основные алгоритмы = The Art of Computer Programming, vol. 1. Fundamental Algorithms / Дональд Кнут. - 3-е изд. - М. : Вильямс, 2006. - С. 720.

18. Игошин В. И. Математическая логика и теория алгоритмов / В. И. Игошин. - 2-е изд., стер. - М. : ИЦ «Академия», 2008. - 448 с.

19. Кормен Т. Х. / Алгоритмы: построение и анализ / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. - 3-е издание = Introduction to Algorithms, Third Edition. - М. : Вильямс, 2013. - 1328 с.

УДК 378.004

## ФОРМУВАННЯ «SOFT SKILLS» У МАЙБУТНІХ СУДНОВОДІЇВ

**Ю. С. Медведєва**, к. геогр. н., доц.,
**В. В. Кубрак**, курсант
Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація***. *Обґрунтовано необхідність формування «soft skills» у майбутніх судноводіїв*
***Ключові слова: «****тверді» навички, «м'які» навички, професійний зріст*

## SOFT SKILLS DEVELOPMENT FOR FUTURE NAVIGATORS

**Y. S. Medvedieva**, Ph. D. of Geographic Sciences, Associate Professor
**V. V. Kubrak**, cadet
National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *Necessity to develop soft skills for future navigators substantiated*
***Keywords:*** *hard skills, soft skills, knowledge, professional development*

В дослідженнях сучасної педагогіки все частіше зустрічаються такі терміни, як *«hard skills»* і *«soft skills»*. Представляє інтерес проаналізувати ступінь важливості *"soft skills"* у професії моряка.

Раніше було визначено [1], що *«hard skills»* - професійні, технічні навички, які можна наочно продемонструвати. При наявності практичних занять, людина, яка набуває навички категорії Hard skills, здатна довести придбане вміння до автоматизму і надалі застосовувати його в повсякденній практиці, дотримуючись чітко встановленої послідовності дій або «за шаблоном». *«Soft skills»* - універсальні навички, прояв яких складно відстежити, перевірити і наочно продемонструвати. Наявність цих навичок дозволяє бути успішним незалежно від специфіки діяльності та напрямку, в якому працює людина.

Варто визнати, що «soft skills»-орієнтовані компетентності - це компетентності майбутнього. Гнучкими навичками повинен володіти будь-який працівник, яким би високим не був його рівень професіоналізму. Вони потрібні хоча б для того, щоб і далі залишатися професіоналом - швидко освоювати щось нове і корисне, що з'являється у професії. Крім того, бути професіоналом (тобто добре обізнаним в своїй професійній галузі) і бути ефективним працівником - не одне й те саме. Для другого важливі вміння спілкуватися, самоорганізованість та багато інших умінь та навичок.

Підготовка моряків та практика мореплавства засвідчили, що морський спеціаліст як професіонал формується за наступною схемою:

- ✓ знання;
- ✓ вміння;
- ✓ навички;
- ✓ професійна майстерність.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

Наявність в суднового офіцера сукупності цих якостей свідчить про його компетентність.

Основним документом, який регламентує професійну діяльність моряків, є Конвенція з підготовки, дипломування моряків та несення вахти ПДНВ-78/95 з поправками 2010 року та однойменний Кодекс 1995 року. Мінімальні знання, розуміння і професіональні навички, що вимагаються для дипломування, наведені у колонці 2 «Знання, розуміння та професіональні навички» таблиці A-II/1 Кодексу ПДНВ [3].

Однією з трьох функцій, визначених Конвенцією як необхідних та обов'язкових для капітанів та їх помічників є управління операціями судна та піклування про людей на судні.

Згідно з цією функцією капітани повинні знати, розуміти, мати професіональні навички з:

- контролю за положенням судна у просторі, його остійністю та напруженнями в корпусі судна;
- нагляду і контролю за дотриманням вимог та мір, що забезпечують охорону людського життя на морі, охорону та захист морського середовища;
- забезпечення безпеки членів екіпажу судна і пасажирів і робочого стану рятувальних засобів і пристроїв, протипожежної системи та інших систем безпеки;
- розробки планів дії в аварійних ситуаціях і схем з боротьби за живучість, а також дії в аварійних ситуаціях;
- застосування навичок керівника і організатора;
- організації й керівництва наданням медичної допомоги на судні.

Вахтові помічники повинні знати, розуміти, мати професіональні навички з:

- забезпечення виконання вимог щодо запобігання забруднення;
- підтримання судна в морехідному стані;
- запобігання пожеж та боротьба із пожежами на суднах;
- застосування рятувальних засобів;
- застосування засобів першої медичної допомоги на суднах;
- нагляду за виконанням законодавчих вимог;
- застосування навичок лідерства та командної роботи;
- внеску в безпеку екіпажу і судна.

Переглядаючи перелік вимог функції «Управління операціями судна та піклування про людей на судні», можна стверджувати, що палубний офіцер має володіти «soft skills» так само впевнено, як і «hard skills».

На судноводійному факультеті цій темі присвячена дисципліна «Менеджмент морських ресурсів», яка викладається у першому семестрі третього курсу. Вона знайомить курсантів з особливостями роботи у змішаних екіпажах, методами ефективного управління екіпажем та пояснює, чому це так важливо і необхідно.

На факультеті морських перевезень та технологій (магістерський рівень підготовки) викладається дисципліна «Організація та управління екіпажем», яка наголошує на критичності впливу «людського фактору», утомлюваності на безпеку судноплавства та захист оточуючого середовища.

Під егідою Міжнародної морської організації розроблені такі посібники як «Human relationships», «Human resources management», «On-board ship administration», які визначають, що судновий офіцер несе відповідальність за забезпечення безпеки своїх підлеглих, їх професійне та культурне зростання, створення здорового морально-психологічного клімату на борту судна та дотримання часів роботи, відпочинку та права на особисте життя.

Отже**, Soft skills** - універсальні навички, які набагато важче виміряти кількісними показниками. Іноді їх називають особистими якостями, тому що вони залежать від характеру людини і набуваються із особистим досвідом. Технології розвиваються так стрімко, що знання необхідно безперервно оновлювати. Тому цінують того працівника, який багато знає й вміє швидко вчитися, ефективно пристосовуватися до нових умов і знаходити нестандартні рішення. Крім того, успіх всього проекту часто залежить від взаєморозуміння в команді.

На відміну від «hard skills», освоєння «soft skills» не передбачає легких покрокових інструкцій: людина або володіє якимось навичками з народження (наприклад, дружелюбність, спокійний характер), або набуває їх з досвідом, шляхом проб і помилок (наприклад, вміння працювати в команді, лідерські якості). «Soft skills» освоюються повільніше, ніж «hard skills».

Гнучкими навичками повинен володіти будь-який працівник, яким би високим не був його рівень професіоналізму. Вони потрібні хоча б для того, щоб і далі залишатися професіоналом - швидко освоювати щось нове і корисне, що з'являється у професії.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Ю.С. Медведєва, В.В. Рябоконь Розвиток «SOFT SKILLS» у закладах вищої освіти / Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 250 с.
2. Ю. С. Медведєва, А. С. Кушнірук Аудіовізуальні технології як складова формування комунікативної компетентності у закладах вищої освіти / Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 250 с.
3. Позолотин, Леонард Арсеньевич. Конвенция ПДНВ-78 (с поправками). Кодекс ПДНВ-95 : основные положения и комментарии / Леонард Арсеньевич Позолотин, Владимир Георгиевич Торский; И.о. Отд. Морского ин-та Великобритании в Украине, Ассоц. морских капитанов Одессы.– Одесса : Астропринт, 2009.– 168 с.– (Библиотека моряка; Вып. 9)
4. https://thepoint.rabota.ua/soft-skills-7-vazhnyh-navykov-dlya-lyuboy-professyy/
5. http://www.onma.edu.ua/

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

УДК 378.147

# ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ В УМОВАХ МЕДІАОСВІТНЬОГО ПРОСТОРУ

**А. С. Кушнірук** *, к. пед. н., доцент
**В. В. Шепель** **, ст. викладач
*Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського»,
**Національний університет «Одеська морська академія»

***Анотація***. *Обґрунтовано необхідність впровадження медіаосвіти в навчальний процес закладів вищої освіти, визначено особливості підготовки майбутніх фахівців до володіння медіаосвітніми технологіями.*
***Ключові слова:*** *медіаосвіта, медіаосвітні технології, майбутні фахівці.*

# SPECIFITIES OF EDUCATING IN MEDIA EDUCATION ENVIRONMENT

**A. S. Kushniruk *,**
**V. V. Shepel****
* South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky,
** National University «Odessa Maritime Academy»

***Abstract.*** *Necessity for implementation of media technologies into an educational process of the highest institutions substantiated, specifities of training the students to master media technologies determined.*
***Keywords:*** *media education, media technologies, future professionals*

Насиченість сучасного світу новітніми інформаційними технологіями внаслідок глобалізації науково-технічного процесу безумовно сприяє розвиткові людства, однак, поряд із позитивними зрушеннями соціуму, зумовлює низку протиріч, найскладнішими із-поміж яких є співвідношення між появою значних обсягів знань і можливостями особистості для їх засвоєння та подальшої трансформації у своїй діяльності. Уявлення про інформаційне суспільство, сформоване з огляду на процеси створення, розподілу та використання величезних, за своїми обсягами, інформаційних ресурсів, що вже накопичені людством, постає основоположними фактором численних змін у всіх сферах суспільного життя в Україні. Із урахуванням означених процесів в умовах інформаційно-освітнього простору професійний розвиток здобувачів вищої освіти постає як багаторівневий і багатоаспектний процес, зорієнтований на зростання якості, ефективності та доступності фахової освіти.

Головним завданням системи освіти в Україні є формування та розвиток конкурентоздатного, з глибокою мотивацією до продуктивної діяльності фахівця, який завдяки креативному, творчому мисленню, бажанню навчатися, ефективно застосовує інноваційні засоби з метою підвищення знань. Інноваційні освітні процеси – це комплексні процеси створення, впровадження, поширення новацій і зміни освітнього середовища, в якому здійснюється життєвий цикл здобувачів вищої освіти [1].

Відокремлення медіаосвіти в окрему галузь – це інноваційний освітній процес, зумовлений суспільною потребою. Технології медіаосвіти сьогодні передбачають залучення до навчального процесу як традиційних засобів масової інформації (періодичні видання, радіо, телебачення, кіно тощо), так і засоби новітніх інформаційних технологій, а саме – програмно-апаратні засоби і пристрої, що функціонують на базі обчислювальної техніки; використовують також сучасні способи і системи інформаційного обміну, що забезпечують операції збирання, накопичення, збереження, оброблення й передавання інформації.

Особливістю професійної підготовки сучасного фахівця є необхідність працювати у цифровому просторі; ураховувати, що Україна входить до числа інфомаційно-розвинених країн; знати й використовувати сучасні цифрові засоби у тому числі і медіа-засоби.

Актуальність проблеми використання медіаосвіти в сфері навчання спонукає до організації педагогічних досліджень, з'ясуванні педагогічних умов застосування медіаосвітніх технологій для формування інформаційної компетентності майбутніх фахівців. Поміж найважливіших факторів, що формують особистісні, інформаційні та професійні компетентності студентів є включення медіаосвіти та її технологій до програм та курсів вишів України на шляху інтеграції до загальноєвропейської та світової системи освіти.

Результати аналізу нормативно – правових документів (Закони України «Про освіту», «Про вищу освіту», Державна національна програма «Освіта» («Україна XXI століття»), концепція впровадження медіаосвіти в Україні, Національна доктрина розвитку освіти України у XXI столітті) свідчать, що підготовка майбутніх фахівців визначається важливою умовою модернізації системи освіти України.

Медіаосвіта – частина освітнього процесу, спрямована на формування в суспільстві медіакультури, підготовку особистості до безпечної та ефективної взаємодії із сучасною системою мас-медіа, включаючи як традиційні (друковані видання, радіо, кіно, телебачення), так і новітні (комп'ютерно опосередковане спілкування, інтернет, мобільна телефонія, додатки-месенджери) медіа з урахуванням розвитку інформаційно-комунікаційних технологій [2].

Медіаосвітні технології – методично-організаційні засоби навчального процесу з використанням періодичних видань, радіо, телебачення, кіно, а також програмно-апаратних засобів і пристроїв, що забезпечують операції збирання, оброблення, накопичення, збереження й передавання інформації [3].

Вчений А. Литвин зазначає, що «медіаосвіта — це навчання на матеріалі та за допомогою ЗМІ, кінцева мета якого — медіаграмотність, здатність до критичного сприйняття медіа-повідомлень» [4].

А. Хуторський наголошує, що найважливішими аспектами медіаосвіти є: пошук потрібної інформації в різних джерелах; встановлення зв'язків між різними інформаційними джерелами; виділення головного в інформаційному повідомленні; добування з інформації необхідних даних, їх систематизація; розу-

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

міння спрямованості інформаційного потоку, мети комунікації; виявлення помилок, які спотворюють одержану інформацію; сприйняття і розуміння різних точок зору на одне повідомлення; створення власних аргументованих висловлювань щодо повідомлення; складання рецензій на інформаційні повідомлення; перетворення одного виду інформації на інший (вербальну на візуальну); перетворення інформації, враховуючи особливості аудиторії; визначення форми викладу інформації, адекватної її змісту; оволодіння найпростішим інструментарієм роботи з інформацією [5].

С.В. Іць [6] окреслено ключовий компонент професійної компетентності викладача «*медіакомпетентність»,* що тлумачиться як здатність до використання набутих медіаосвітніх знань, умінь, навичок та технологій у власній професійно-педагогічній діяльності, реалізації професійно-значущих якостей та досвіду в новому медіа-інформаційному просторі. На основі узагальнення підходів до вивчення медіаосвіти та контент-аналізу, *медіаосвіту* визначено як інноваційний напрям у педагогічній науці та практиці, який спрямований на підготовку фахівця нового покоління до роботи в сучасних інформаційних умовах, оволодіння ним уміннями спілкування, повноцінного сприйняття, інтерпретації, аналізу, оцінки медіаінформації, що забезпечує творче професійне самовираження.

Зазначимо, що у сучасному суспільстві високоефективних технологій мас-медіа є одним із найбільш ефективних і впливових джерел комунікації між державою та громадянами, суб’єктами економічної, політичної, освітньої, культурної і духовної діяльності. Не викликає сумнівів важливість медіаосвіти як технології навчання, що забезпечує адекватне сприйняття засобів масової комунікації, створення власної якісної медіапродукції, формування медіаграмотності, медіакомпетентності, медіакультури особистості, здатної використовувати медіаосвітні технології у своїй професійній підготовці.

Метою медіаосвіти є формування медіакультури особистості в середовищі значущих для неї спільнот (малих груп, родин, навчальних і виробничих колективів, місцевих громад тощо).

Ґрунтовний аналіз досліджень показав, що майбутніх фахівців треба навчати за наступними рівнями готовності до медіаосвіти:

1. Сприйняття – сприймання цифрової інформації: телебачення, інтернет-контент, web.

2. Відбір – вибір по розділам, за віком, за фахом і т.п.

3. Критичне мислення – відповідність фаховому напрямку навчання.

4. Творчість – створення навчальних відео-лекцій, веб-сайтів, презентацій тощо.

Проаналізувавши загальні положення стосовно процесу підготовки майбутніх фахівців, вважаємо за необхідне акцентувати увагу на тому, що до основних вимог та особистих якостей здобувачів вищої освіти належать:

1) володіння базовими знаннями про медіаосвітні технології, знаннями про технічні, дидактичні можливості інформаційних технологій та використання їх у професійній діяльності;

2) володіння належним рівнем інформаційної компетенції, що передбачає відповідно до навчальних завдань адекватне та систематичне використання медіаосвітніх технологій в навчанні здобувачів вищої освіти, використання наявного електронного навчально-методичного забезпечення і його модифікацію, а також розробку власних електронних навчальних ресурсів з фаху;

3) володіння комп'ютерними програмами, які дозволяють створювати медіазасоби для успішної майбутньої професійної діяльності.

Формування медіаграмотності майбутніх фахівців у межах ЗВО може здійснюватися двома способами: через введення окремого курсу з медіаосвіти або через інтеграцію медіаосвітніх технологій до вже існуючої системи навчально-виховного процесу. Для того щоб готувати медіаграмотних студентів необхідно, щоб викладачі ЗВО, які викладають дисципліни були також медіаграмотними. Але це потребує перепідготовки викладачів ЗВО. З вищесказаного слідує, що доцільно підтримати позицію авторів програми «Медіаосвіта» (автори Онкович Г. В. та ін.), які вважають за необхідне ввести на освітньо-кваліфікаційному рівні «магістр» окремий курс за вибором (студента або ВНЗ) «Медіаосвітні технології», до якого доцільно включити такі теми: сучасні тенденції розвитку медіаосвіти; основні поняття медіаосвітніх технологій; створення медіазасобу за допомогою аудіотехнологій; створення медіазасобу за допомогою відеотехнологій; створення інфографіки; інтегроване середовище для створення інтерактивної анімації тощо.

Таким чином, впровадження медіаосвітніх технологій у процес професійної підготовки майбутніх фахівців − нагальна потреба часу, розвитку інформаційного суспільства; запровадження медіаосвіти до професійної підготовки здобувачів вищої освіти є актуальним завданням педагогіки вищої школи на шляху побудови єдиного європейського освітнього простору.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології: Навч. посібник / І. М. Дичківська. Київ : Академвидав, 2004. 352 с.

2. Концепція впровадження медіаосвіти в Україні (нова редакція) / за ред. Л. А. Найдьонової, М. М. Слюсаревського. Київ, 2016. 16 с.

3. Медіаосвіта та медіаграмотність: короткий огляд / В. Іванов., О. Волошенюк., Л. Кульчинська та ін. 2-ге вид., стер. Київ : АУП, ЦВП, 2012. 58 с.

4. Литвин А. В., Робак В. Є. Завдання медіаосвіти в підготовці фахівців // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Педагогіка. 2013. № 3. С. 31-37.

5. Хуторской А. В. Педагогическая инноватика / А. В. Хуторской. Москва : Изд. Центр «Академия», 2008. 256 с.

6. Іць С. В. Педагогічні медіатехнології у професійній підготовці майбутнього вчителя іноземної мови : навчально-методичний посібник / С. В. Іць. – Житомир : Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2013. 106 с.

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОПИС

*1. Луковцев, В.С. Бандуров, Г. І.* Виявлення та усунення асинхронного режиму після зовнішнього короткого замикання [Текст] / *В.С. Луковцев, Г. І. Бандуров,* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.9-11

*2. Луковцев, В.С. Бринза, Г.* Дослідження асинхронного режиму після втрати збудження [Текст] / *В.С. Луковцев, Г. Бринза* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.12-13

*3.Завадський, В.А. Дранчук, С.М. Кучеренко, І.О.* Пристрій для вимірювання температурної сталості аналогово-частотних перетворювачів для тензометричних датчиків суднового обладнання [Текст] / *В.А. Завадський, С.М. Дранчук, І.О. Кучеренко* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.14-18

*Крючков,В.В Михайленко, В.С. Лещенко, В.В.* Повышение эффективности эксплуатации судовых технологических средств путем внедрения системы поддержки принятия решений на базе нечеткой логики [Текст] / *В.В. Крючков, В.С. Михайленко, В.В. Лещенко*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.18-22

*Комарніцький, Д.Д. Проноза, М.О. Зарицька, О.І.* Вплив конструкції ротора електродвигунів з постійними магнітами для «Азіпод» на основні характеристики СДПМ [Текст] / *Д.Д. Комарніцький, М.О. Проноза, О.І. Зарицька* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.22-26

. *Крицький, Б.В. Крицький, В.В. Бушер, В.В* Автоматизація систем керування кормовою та бічною апарелями ролкера [Текст] / *Б.В. Крицький, В.В. Крицький, В.В. Бушер* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.26-31

*Сапожник, І. І. Бушер, В. В.* Оптимізація керування судновим ліфтом [Текст] / *І. І. Сапожник, В. В. Бушер*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.32-38

*Гаур, Т.О. Зарицька, О.І. Ліщинський, А.О. Цацко, В.І.* Дослідження суднової паливної системи із тензометричним витратоміром рідини [Текст] / *Т.О. Гаур, О.І. Зарицька, А.О. Ліщинський, В.І. Цацко*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.38-41

*Дранчук, С.М. Кочетков, О.В. Мудрьонов, І.С. Цацко, В.І.* Дослідження впливу конструкції вимірювального трубопроводу на результати вимірювання витрат рідини в суднових системах [Текст] / *С.М. Дранчук, О.В. Кочетков, І.С. Мудрьонов, В.І. Цацко* // Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.42-45

*Михайленко, В.С. Янков, П. С. Лещенко, В.В.* Вдосконалення системи управління електроприводу рециркуляційного вентилятора суднового допоміжного котла, з метою зниження шкідливих викидів газу в атмосферу [Текст] / *В.С. Михайленко, П.С. Янков, В.В. Лещенко*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.45-47

*Вишневський, Д.Л. Муха, М.Й.* Перспективи використання конденсаторної системи управління в складі суднової електростанції [Текст] /*Д.Л. Вишневський, М.Й. Муха*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.48-49

*Рожков, С.О. Жук, О.К. Жук, Д.О.* Удосконалення зарядних систем для акумуляторних морських суден [Текст] / *С.О. Рожков, О.К. Жук, Д.О. Жук* // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.49-53

*Бушер,В.В. Лозгачов, А.С.* Анализ способов реализации лимитирования рабочей зоны палубных грузовых кранов с электро- и электрогидравлическим приводом [Текст] / *В.В. Бушер, А.С. Лозгачов*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.54-58

*Сандлер, А.К. Кузнецова, А.А.* Датчик износа поверхностей цилиндро-поршневых групп двигателей внутреннего сгорания [Текст] / *А.К. Сандлер, А.А. Кузнецова* // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.58-62

*Сандлер, А.К. Опрышко, М.О.* Волоконно-оптический датчик контроля состояния технических жидкостей и газов [Текст] /*А.К. Сандлер, М.О. Опрышко*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.63-68

*Пономаренко, В.В. Шевченко, В.А. Тєплов, Ю.І.* Спосіб підвищення швидкодії вимірювання параметрів суднових електроенергетичних систем [Текст] / *В.В. Пономаренко, В.А. Шевченко, Ю.І. Тєплов* // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.68-74

*Шапо,В.Ф.* Применение технологии INTEL VPRO для удалённого администрирования компьютерных систем [Текст] / *В.Ф. Шапо*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.75-80

*Шестака, А. І., Мельнікова, Л. В.* Пропозиції щодо автоматизації операцій вивантаження контейнерів палубним краном [Текст] / *А. І. Шестака, Л. В. Мельнікова* // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.80-84

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*Budashko, V. Vlasov, V. Kosmas Zdrozis, Basil Shafiq* Design of power plants, propulsion complexes and control systems for ships of the future [Текст] / *V. Budashko, V. Vlasov, Kosmas Zdrozis, Basil Shafiq*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.85-96

*Шевченко, В.А. Самонов, С.Ф. Дубовик, В.О. Кульбацький, А.А.* Система берегового високовольтного електропостачання суден [Текст] / *В.А. Шевченко, С.Ф. Самонов, В.О. Дубовик, А.А. Кульбацький*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.96-99

*Петрушин, В.С. Пасєчка, М.В.* Розробка гребної електричної установки змінного струму з циклоконвертором судна спеціального призначення [Текст] / *В.С. Петрушин, М.В. Пасєчка* // Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.99-101

*Рожков, С.О. Жук, О.К. Жук, Д.О.* Енергоефективність суден та якість електроенергії в суднових ЕЕС [Текст] / *С.О. Рожков, О.К. Жук, Д.О. Жук*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.102-106

*Малявін, І.П.* Вплив режиму роботи силових каналів знижуючого типу на вихідні пульсації багатофазних імпульсних перетворювачів [Текст] /*І.П. Малявін*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.107-111

*Дранкова, А.О. Красовський, І.І. Семенюк, А.О.* Підвищення показників якості суднової електромережі з нелінійним навантаженням при використанні активних фільтрів [Текст] / *А.О. Дранкова, І.І. Красовський, А.О. Семенюк*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.111-114

*Дудко, С.А. Дубовик, В.О. Рак, О.М.* Алгоритми пошуку і усунення «електричного шуму» в електронній системі управління головним двигуном [Текст] / *С.А. Дудко, В.О. Дубовик,О.М. Рак*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.115-119

*Кривий, О.Ф.* Методи побудови математичних моделей гідродинамічних сил на корпусі судна [Текст] / *О.Ф. Кривий*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.120-123

*Гвоздева, И.М. Миргород, В.Ф. Демиров, А.А.* Математическая модель температурного режима судовых дизель-генератоных установок на основе радиально-базисной нейронной сети [Текст] / *И.М. Гвоздева, В.Ф. Миргород, А.А. Демиров*// Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.124-128

*Карпеленя, А.О. Бушер,В.В. Захарченко, В.М. Глазєва, О.В.* Оптимізація використання просторово-векторної модуляції при компенсації аварій в високовольтних каскадних перетворювачах частоти [Текст] / *А.О. Карпеленя, В.В. Бушер, В.М. Захарченко, О.В. Глазєва*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.128-132

*Попов, В.Г. Кирилова, О.І.* Математичне моделювання контактної взаємодії при крутильних коливаннях [Текст] /*В.Г. Попов, О.І. Кирилова*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.133-136

*Кривий, О.Ф. Морозов, Ю.О.* Фундаментальні розв'язки для кусково-однорідного трансверсально-ізотропного простору [Текст] / *О.Ф. Кривий, Ю.О. Морозов*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.137-140

*Попов, В.Г. Литвин, О.В.* Моделювання напруженого стану в околі дефекта у вигляді n-ланкового включення при дії хвилі поздовжнього зсуву [Текст] / *В.Г. Попов, О.В. Литвин*// Матеріали Х міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.141-145

*Попов, В. Г. Мішарін, А.С.* Математичне моделювання напружного стану в околі жорсткого включення з тріщиною на продовжені при зсувному гармонійному навантажені [Текст] / *В. Г. Попов, А.С. Мішарін*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.145-148

*Орлова, Н.Д.* Особливості математичних моделей процесу вібраційного подрібнення рослинної сировини [Текст] / *Н.Д. Орлова*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.149-152

*Копійка, П.І. Слободенюк, М.В. Чабан, О.Х.* Математическое моделирование элементов волновой электростанции карусельного типа [Текст] /*П.І. Копійка, М.В. Слободенюк, О.Х. Чабан*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.152-156

*Василець, Д.І. Налева, Г.В. Онищенко, О.А.* Особливості функціонування та розробка алгоритму моделювання вентильно-індукторних електроприводів суднових механізмів та систем [Текст] /*Д.І. Василець, Г.В. Налева, О.А. Онищенко*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.157-160

*Демидов, О. Попов, В.Г.* Математичне моделювання перехідних процесів в скінченних циліндрах з тріщинами при раптовому крутному навантаженні [Текст] / *О. Демидов, В.Г. Попов*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.161-165

ISSN 2706-7874 (print)
DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2020.11.1-245

*Тимофеєв, К.В. Бутаков, І.Б. Козловський, М.І.* Дослідження системи динамічного позиціонування офшорного судна [Текст] /*К.В. Тимофеєв, І.Б. Бутаков, М.І. Козловський*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.165-168

*Ковальов, М.І.* Проектування термостійких РЕЗ підвищеного ступеня інтеграції [Текст] / *М.І. Ковальов*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.169-171

*Кошевий, В.М. Джаіані, Л.М.* Синтез пари сигнал – фільтр при різних характерах допустимої амплітудної модуляції [Текст] / *В.М. Кошевий, Л.М. Джаіані* // Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.171-174

*Михайлов, Н.С. Лукьяненко, Р.Н.* Модель киберзащищенной системы автоматического управления курсом автономного судна [Текст] / *Н.С. Михайлов, Р.Н. Лукьяненко*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.175-179

*Шевцов, Ю.С. Михайлов, Н.С. Исарев, И.И.* Защита цифровых данных в береговом сегменте морской инфраструктуры [Текст] /*Ю.С. Шевцов, Н.С.Михайлов, И.И. Исарев*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.180-183

*Шевцов, Ю.С. Михайлов, Н.С. Дмухайлов, Д.Д.* Захист цифрових даних в судновому сегменті морської інфраструктури [Текст] / *Ю.С. Шевцов, Н.С. Михайлов, Д.Д. Дмухайлов,* // Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.183-186

*Михайлов, С.А. Кононенко, А.С.* Анализ моделей и алгоритмов обнаружения компьютерных атак [Текст] /*С.А. Михайлов, А.С. Кононенко*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.186 -191

*Михайлов, С.А. Харченко, Р.Ю.* Підвищення рівня інформаційної безпеки конфіденційних даних суднових інформаційних мереж [Текст] / *С.А. Михайлов, Р.Ю. Харченко*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.191-192

*Нікольський, В.В. Оженко, Є.М. Вовкович, С.О. Кукузей, Р.І.* Оцінка можливості використання п'єзоелектричного приводу для управління випускним клапаном суднового малообертового двигуна [Текст] / *В.В. Нікольський, Є.М. Оженко, С.О. Вовкович, Р.І. Кукузей*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.193-196

*Дрозд, О.В.* Вдосконалення суднових стрічкових конвеєрів [Текст] /*О.В. Дрозд*// Матеріали X міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.196-200

*Миргород, В.Ф. Гвоздева, І.М. Ефанов, И.Г.* Усовершенствование характеристик регуляторов судовых систем автоматического управления с помощью применения признака подобия по масштабу времени [Текст] / *В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, И.Г. Ефанов*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.200-204

*Миргород, В.Ф. Гвоздева, І.М. Ковтун, А.І.* Удосконалення характеристик суднових систем автоматичного управління за допомогою застосування ланок із дробовим покажчиком інтегрального перетворення [Текст] /*В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева, А.І. Ковтун*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.205-208

*Рябцов, О.В. Войнорович, М.Р.* Адаптивний елемент для суднових оптичних систем [Текст] / *О.В. Рябцов, М.Р. Войнорович*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.208-211

*Горб, С.И. Будуров, Н.И.* Анализ состояния газового тракта дизеля безразборным методом [Текст] /*С.И. Горб, Н.И. Будуров*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.211-216

*Mikhailov, S.A. Kharchenko, R.Yu.* Intelligent climate management in vessels [Text] / *S.A. Mikhailov, R.Yu. Kharchenko*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.217-219

*Рева, О.М. Камишин, В.В. Шульгін, В.А. Невиніцин, А.М.* Особливості алгоритмізації особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом [Текст] /*О.М. Рева, В.В. Камишин, В.А. Шульгін, А.М. Невиніцин*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.220-229

*Медведєва, Ю. С. Кубрак, В. В.* Формування «SOFT SKILLS» у майбутніх судноводіїв [Текст] /*Ю.С. Медведєва, В.В. Кубрак*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.230-232

*Кушнірук, А. С. Шепель, В. В.* Особливості підготовки майбутніх фахівців в умовах медіаосвітнього простору [Текст] /*А. С. Кушнірук, В. В. Шепель*// Матеріали Х міжнародої науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.233-236

Наукове видання

**М А Т Е Р І А Л И**

Х Міжнародної науково-технічної конференції

**"СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА"**

**24.11.2020 – 25.11.2020**

Комп'ютерна верстка *Глазєва О.В.*

Підписано до друку 18.12.2020.
Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 14,18.
Наклад 300. Зам. № И20-12-98.

НУ «ОМА»
Свідоцтво ДК № 1292 от 20.03.2003
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8
тел./факс: (0482) 34-14-12
publish@ma.odessa.ua