

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/356108688>

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗБЕРІГАННЯ АМІАКА

Conference Paper · November 2021

CITATIONS

0

READS

1,326

2 authors, including:



[Oleksii Zivenko](#)

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

47 PUBLICATIONS 39 CITATIONS

SEE PROFILE

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

**9-10 листопада 2021 року**

Навчально-науковий Інститут автоматики і електротехніки  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

**МАТЕРІАЛИ**

Миколаїв 2021

УДК 681.5:621.3  
ББК 81а73  
П 75

**Автоматика та електротехніка:** Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2021. – 134 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Автоматика та електротехніка".

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також інформаційно-вимірювального обладнання.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

#### **ОРГАНІЗАТОРИ:**

1. МОН України;
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Комп'ютерна верстка:  
Відповідальний за випуск:

В. О. Клігіна  
О. О. Черно

© Національний університет кораблебудування, 2021

## СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 681.545

Малахова Н.Г., магістр, Дьяконов О.С., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### ПАЛИВНИЙ КОРЕКТОР ГАЗОПОРШНЕВОГО АГРЕГАТУ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ЗВАЛИЩНОМУ ГАЗІ

Завдання сучасної енергетики [4] – забезпечувати надійне і довгострокове енергопостачання при одночасному збереженні копалин паливних ресурсів і захисту навколишнього середовища. Для цього необхідний економічний підхід до використання існуючих енергоресурсів і перехід на поновлювані джерела. В якості альтернативних джерел може використовуватися звалищний газ, одержуваний при рекультивації сміттєвих полігонів.

Таким чином, звалищний газ збирають, запобігаючи забрудненню атмосфери (до того ж, метан володіє сильнішим парниковим ефектом), і використовують як паливо для виробництва електроенергії, тепла або пара, або в якості автомобільного палива.

Первомайськдизельмаш на даний момент вже реалізував кілька успішних проектів електростанцій [5], де в якості обладнання, що генерує, використовуються газопоршневі агрегати.

Слід зазначити, що однією з проблем забезпечення стабільної та економічної роботи газопоршневих агрегатів є неоднорідність звалищного газу.

**Метою роботи** є розробка паливного коректору, який підтримує задане співвідношення газ/повітря на вході газопоршневого агрегату.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо блок-схему системи керування газопоршневим агрегатом з паливним коректором (рис. 1).

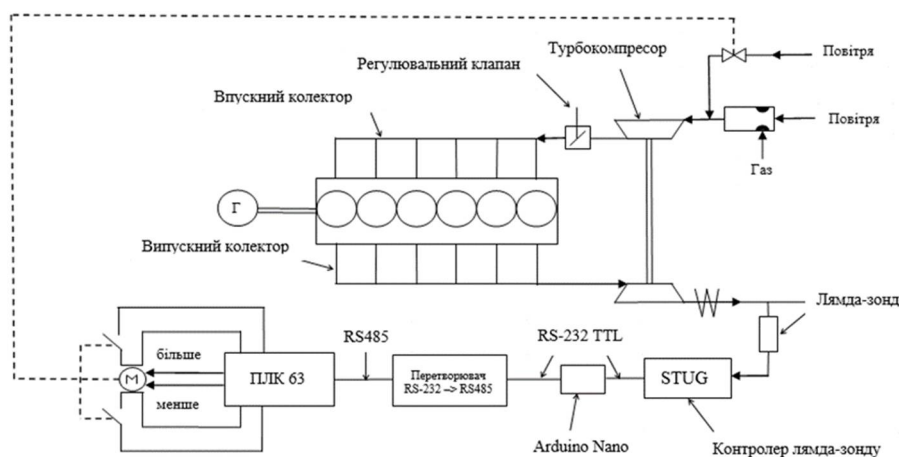


Рисунок 1 - Блок-схема системи керування газопоршневим агрегатом з паливним коректором

Контролер системи управління, що реалізовано на ПЛК63 фірми ОВЕН, діє на моторизований регулювальний клапан, який в свою чергу забезпечує зміну співвідношення повітря/паливо на вході турбокомпресору.

Аналіз складу паливно-повітряної суміші показав, що для вимірювання співвідношення повітря  $\lambda$  у схемі паливного коректору у якості датчику залишкового кисню у вихлопних газах слід використовувати широкопasmовий лямбда-зонд.

Слід зазначити, що сучасні широкопasmові лямбда-зонди використовуються разом з контролерами лямбда-зондів, які, як правило, мають інтерфейс (RS-232 TTL) для зчитування показань датчику. У якості контролеру широкопasmового лямбда-зонду був обраний STAG-AFR. Завдяки високій швидкості вимірювання коефіцієнта  $\lambda$  склад суміші можна контролювати не тільки в певних умовах роботи двигуна, але і в перехідних режимах.

Протокол обміну контролера STUG AFR на даний момент не документовано, тому проводився аналіз даного протоколу за допомогою утиліти Advanced Serial Port Monitor.

В ході аналізу було отримано наступний порядок роботи по протоколу (швидкість 57600, 8 біт, передача даних без контролю парності):

1. Встановлення зв'язку (ініціалізація, запит серійного номера контролера):  
- подати команду AC 00 00 04 00 00 XX CS,

де XX - будь довольне число (дескриптор), CS - контрольна сума (молодший байт). Контрольна сума розраховується простим додаванням усіх байт в посилці.

приклад запиту:

AC 00 00 04 00 00 F1 A1

Контролна сума: AC +00 +00 + 04 + 00 + 00 + F1 = 01A1

Приклад відповіді:

F1000028800001003C0200010001000B0C07DE0A2839000910200131103517FFFFFFFFFFFFFFFFF00FF00FFFE

де 0910200131103517 - серійний номер контролера.

## 2. Проміжний запит.

Необхідно подати команду XX 00 00 03 49 FF CS.

де XX - дескриптор, CS - контрольна сума (молодший байт).

приклад запиту:

F1 00 00 03 49 FF 3C

приклад відповіді:

F1000043C9FF0000024100000241000000400000002A000000000000000100000000000000000000000000000000ED.

### 3. Опитування датчика.

Для отримання даних з датчика кисню необхідно подати команду:

XX 00 00 03 64 00 CS.

Де XX - дескриптор, CS - контрольна сума (моладший байт)

приклад запиту:

F1 00 00 03 64 00 58

приклад відповіді:

```
F1 00 00 1F E4 00 02 00 00 09 83 AE 00 00 9D 24 00 C2 00 0A 65 00 42 2B 00 05 00 00 00 7C 01 3D 01 F4 43
```

18-й байт в посилці містить значення кисню в%

$$C2 = 194 = 19.4\%$$

При прогріванні датчика 18-й байт дорівнює нулю. 7-й байт в посилці містить поточний стан датчика (01 - прогрів, 02 - нормальна робота, 03 - відмова). У прикладі відповіді маємо 02 - нормальна робота.

Для паливного коректора обрано імпульсний регулятор, блок схема якого зображена на рис. 2.

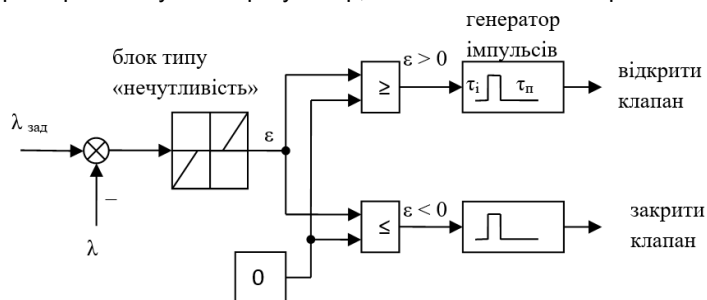


Рисунок 2 – Блок-схема регулятора паливного коректора

При експлуатації паливного коректора у складі системи керування газопоршневої установки, яку встановлено на звалищному полігоні у с. Барвінок Ужгородської обл., було експериментально виявлено, що діапазон  $\tau_i = 1-5$  с,  $\tau_n = 20 - 35$  с.

**Висновки.** Для підвищення ефективності роботи двигун-генератори виробництва «Первомайськдизельмаш» можуть бути обладнані паливним коректором, що здійснює контроль кисню у вихлопних газах та здійснює корекцію співвідношення газ/повітря. Розроблено блок-схему регулятора паливного коректора та проведено дослідження пропрієтарного протоколу обміну між контролером широкосмугового лямбда-зонду та сервісним програмним забезпеченням, що дозволило інтегрувати даний контролер у систему керування співвідношенням газ/повітря.

## Список використаних джерел

1. Bosch. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.
2. Карелина М.Ю. Электронные системы управления работой дизельных двигателей. Учебное пособие. НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 160 с.
3. Гольдинер А.Я., Цыркин М.И., Бондаренко В.В. Газопоршневые электроагрегаты. - СПб.: Галея Принт, 2006. - 240 с.

4. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/cardnpd?docid=250250456>

5. Первомайськдизельмаш. Двигун-генератори на альтернативних видах палива. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dieselmash.com.ua/produksiya/dvigatel-generatory/na-alternativnyh-vidah-topлива.html>

## УДК 681.5

Дацьків С.І.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

Науковий керівник: зав. каф. КСУ, д.т.н., доцент Черно О.О.

### АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПОСТАЧАННЯМ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ ЕНЕРГОБЛОКУ ЮУАЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000

Южно-Українська АЕС належить до АЕС з реактором типу ВВЕР-1000. ВВЕР – це водо-водяний енергетичний реактор, де водо-водяний означає, що теплоносієм і сповільнювачем в реакторі є звичайна хімічно обезсолена вода під тиском  $160 \text{ кгс/см}^2$ . 1000 – це позначення електричної потужності реактора в МВт. Сповільнювачем в реакторі типу ВВЕР є вода – середовище, яке уповільнює нейтрони. Уповільнення нейтронів необхідно, виходячи з чисто фізичних характеристик підтримки ланцюгової (безперервної) реакції поділу уранового палива.

Атомна станція від традиційної теплової електростанції на органічному паливі (наприклад, вугіллі) відрізняється джерелом отримання теплової енергії, що перетворюється в механічну енергію в паровій турбіні. На АЕС таким джерелом отримання теплової енергії служить ядерний реактор. Реактор являє собою пристрій, в активній зоні якого здійснюється керована реакція ділення ядер урану і кінетична енергія продуктів поділу перетворюється в тепло. Тепло розігріває воду і перетворює його на водяну пару. Середовище (водяна пара), яка виконує роботу в турбіні (приводить в обертання турбіну) називається робочим тілом.

Автоматизація ділянки живлення парогенераторів двоконтурних енергоблоків АЕС із реакторами ВВЕР є найважливішим елементом реалізації програми підвищення безпечної експлуатації АЕС і поліпшення техніко-економічних показників роботи станції. Від її надійної й економічної роботи залежить надійність і економічність роботи всього енергоблоку.

Призначення АСР продуктивності ТЖН у тому, щоб при зміні витрати живильної води регулятором живлення ПГ при зміні навантаження енергоблоку регулюючи живильний клапан зберігав незмінну ступінь відкриття [1].

Керування ділянкою живлення здійснюється двома основними системами автоматичного регулювання:

- автоматичною системою регулювання живлення парогенератора, задачею якої є підтримка матеріального балансу між відводом пари, продувкою і подачею живильної води;
- автоматичною системою регулювання продуктивності ТЖН, що змінює витрату живильної води шляхом зміни його обертів [2].

У даний час на АЕС України здійснюється модернізація систем контролю та управління технологічними процесами, однак вона зводиться, як правило, до заміни застарілих технічних засобів з обмеженими функціональними можливостями на мікропроцесорні засоби зі збереженням колишніх алгоритмів керування. Цей недолік відноситься і до систем керування живленням парогенераторів.

Поява мікропроцесорної техніки, що має високу надійність і універсальність у функціональному відношенні, дозволяє удосконалювати системи контролю і управління. З'являється можливість побудови більш надійних розподілених систем керування й обробки інформації на основі принципу децентралізації, що дає переваги перед централізованими системами. Мікропроцесорна техніка дозволяє реалізовувати більш складні алгоритми керування, здійснювати функціональне перетворення сигналів, їхню первинну і статичну обробку і перейти безпосередньо до цифрового управління.

**Метою роботи** є дослідження автоматичної системи регулювання продуктивності турбоживильних насосів системи управління живильною водою на базі програмно-технічного комплексу «Вулкан» з базовим режимом підтримки заданого перепаду тиску між головним паровим колектором (ГПК) і колектором живильної води (КЖВ).

#### Синтез АСР ділянки живлення парогенераторів

Розроблена структурна схема ділянки живлення барабанних парогенераторів, яка зображена на рис. 1.

У схемі виділені наступні структурні елементи, що відображають властивості реальних конструктивних елементів схеми ділянки живлення барабанних парогенераторів:

- парогенератори ПГ 1, 2, 3, 4, які враховують динаміку зміни рівня пароводяної суміші в парогенераторі  $\Delta H$  при зміні витрати живильної води  $\Delta W_{пг}$  та пари  $\Delta D$ ;
- живильний трубопровід, який є сполучним елементом ділянки живлення, враховує динаміку зміни витрати живильної води в результаті зміни положення РЖК ( $\Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3, \Delta u_4$ ) та динаміку зміни тиску живильної води перед РЖК в результаті зміни продуктивності ТЖН;

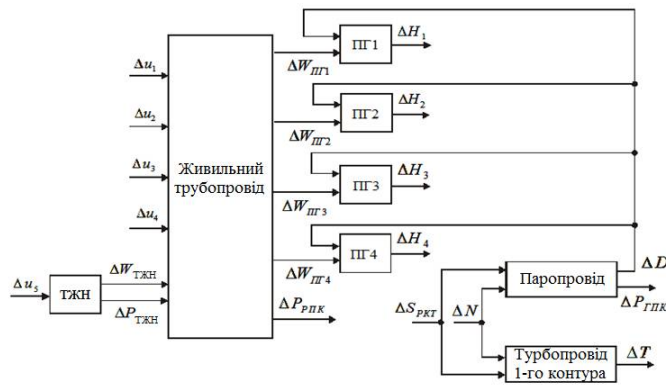


Рисунок 1 - Структурна схема ділянки живлення ПГ

- живильний турбонасос, що визначає динаміку зміни подачі живильної води  $\Delta W_{\text{тжн}}$  в ПГ через живильний трубопровід;
- зміна тиску живильної води  $\Delta P_{\text{тжн}}$  на виході ТЖН, у результаті зміни положення регулюючих клапанів  $\Delta u_5$  приводної турбіни ТЖН;
- головний паропровід від парогенераторів до головного парового колектора та трубопровід першого контуру.

Внутрішнім збуренням для ділянки живлення є зміна теплової потужності енергоблоку  $\Delta N$ , яка приводить до зміни кількості генеруємої пари в ПГ і, як наслідок, зміни витрати і тиску  $\Delta P$  пари в головному паропроводі. Зміна теплової потужності характеризується зміною різниці температур  $\Delta T$  гарячої й холодної петель першого контуру.

Зовнішнім збуренням є зміна положення регулюючих клапанів турбіни  $\Delta S_{\text{ркт}}$ , що супроводжується різкою зміною витрати пари через паропровід і зміною тиску пари в ГПК. Зміна витрати пари через паропровід приводить до порушення матеріального балансу між живильною водою, що надходить у ПГ, і паром, що відбирається з нього. Регулятор рівня, прагнучи відновити матеріальний баланс, змінює витрату живильної води, що в свою чергу приводить до зміни умов теплообміну між пароводяною сумішшю в парогенераторі і теплообмінним пучком першого контуру. У результаті чого відбувається зміна різниці температур теплоносія першого контуру. Оскільки процес зміни різниці температур має більшу інерційність, ніж швидкість зміни живильної води, то при розробці математичної моделі ділянки живлення для спрощення розрахунку і зменшення розмірності математичної моделі вплив витрати живильної води на різницю температур теплоносія першого контуру і процес генерації пари буде враховуватися побічно через канали внутрішнього і зовнішнього збурення [3,4].

Запишемо передавальну функцію динаміки ТЖН (1) і її коефіцієнти. Для цього на ЕОМ моделюється зміна положення регулюючого клапана приводної турбіни з постійною швидкістю 1 %/с протягом 10 с, після чого величина відхилення складає 10% і залишається постійною. Отримане таким способом збурення по положенню регулюючих клапанів подається на вхід дискретної математичної моделі передавальної функції виду:

$$W_{\text{ТЖН}}(S) = \frac{k_d S + k_{\text{ТЖН}}}{T_{\text{ТЖН}} S + 1} \cdot (1)$$

За аналізом реакції моделі на збурення визначені числові значення коефіцієнтів передавальної функції ділянки, що забезпечують адекватність результатів моделювання динамічних властивостей ТЖН. Ці коефіцієнти мають наступні числові значення:  $k_d = 13.6 \frac{\text{об/хв}}{\text{с-}\%}$ ,  $k_{\text{ТЖН}} = 13.3 \frac{\text{об/хв}}{\%}$ ,  $T = 10 \text{ с}$ .

Результат моделювання наведено на рис. 2. Основним зовнішнім збуренням для ділянки живлення були розглянуті: зміна положення регулюючих клапанів турбіни, зміна рівня води в ПГ і зміна потужності блоку.

Показники якості перехідних процесів регулювання [5]:

- по каналу «рівень в ПГ – перепад тиску між ГПК і КЖВ»: перше динамічне відхилення  $\Delta x = 27$ ; час регулювання  $t = 65 \text{ с}$ ; ступінь коливальності  $\psi = 1 - \frac{\Delta x_3}{\Delta x_1} = 1 - \frac{7}{27} = 0.74$ ;

- по каналу «переміщення РКТ – перепад тиску між ГПК і КЖВ»:  $\Delta x = 0.0375$ ;  $t = 96 \text{ с}$ ;  $\psi = 1 - \frac{\Delta x_3}{\Delta x_1} = 1 - \frac{0.0175}{0.0375} = 0.53$ ;

- по каналу «електрична потужність – перепад тиску між ГПК і КЖВ»:  $\Delta x = 18$ ;  $t = 83 \text{ с}$ ;  $\psi = 1 - \frac{\Delta x_3}{\Delta x_1} = 1 - \frac{6}{18} = 0.67$ .

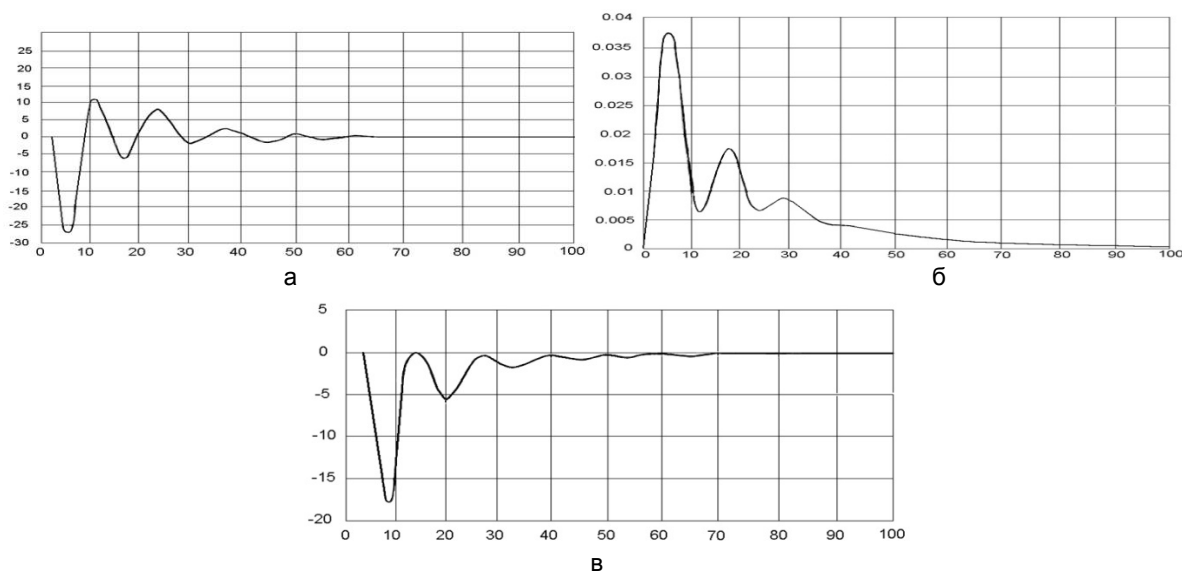


Рисунок 2 – а – перехідний процес по каналу «рівень в ПГ – перепад тиску між ГПК і КЖВ» (збурення  $\Delta U=10\%$ ); б – перехідний процес по каналу «переміщення РКТ – перепад тиску між ГПК і КЖВ» (збурення  $\Delta Sprk=10\%$ ); в – перехідний процес по каналу «електрична потужність – перепад тиску між ГПК і КЖВ» (збурення  $\Delta N=10\text{МВт}$ ).

**Висновки.** Виконаними розробками була доведена необхідність впровадження цифрового регулювання, як найбільш перспективного.

Переваги цифрового регулювання:

- підвищення якості перехідного процесу (зниження ступеню коливальності, зменшення часу регулювання, зменшення статичної та динамічної похибки);
- наявність резервування каналів вимірів та управляючих впливів;
- наявність самодіагностики обладнання;
- можливість реалізації більш складних алгоритмів режиму роботи (багатофункціональність);
- зручність в експлуатації (архівування інформації).
- підвищення швидкості та точності обробки інформації та формування вихідних сигналів та зменшення похибок.

#### Список використаних джерел

1. Гріщенко А.З., Гріщук В.П. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Київ: Техніка, 1983. 294 с.
2. Ключев А.С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования барабанных парогенераторов. Москва: Энергоатомиздат, 1989. 312 с.
3. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса: Учебное пособие, 2001. 308 с.
4. Технічний опис та інструкція з експлуатації живильного турбонасосного агрегату енергоблоку з ВВЕР-1000, 2.3-045ІЭ, ПУ АЕС, 1998. 207 с.
5. Жимерин Д.Г., Мясников В.А. Автоматизированные и автоматические системы управления. Москва: Энергия, 1979. 408 с.

УДК 631.171

Лукін Р.К., магістр, Дьяконов О.С., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ БЕЗДРОТОВОЇ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ

Невеликі автономні метеорологічні станції потрібні для оптимізації виробничого процесу в сільському господарстві. Параметри, які дає метеостанція, дозволяють оцінити погодні умови, і на основі цього виконувати чи не виконувати певні дії з господарськими культурами. Наприклад, вимірюючи температуру ґрунту на певній глибині,

можна спіймати оптимальний момент висаджування чи внесення добрив для певної культури рослин. Також, вимірюючи вологість ґрунту, можна визначити, чи потрібно поливати рослини. Для плодових культур важливо відстежувати такий параметр як вологість листа, якщо плоди протягом певного часу будуть вологі, то підвищується ризик розвитку певних шкідників. Загалом така метеостанція дозволяє відслідковувати та прогнозувати деякі фактори, вчасно реагувати на них і відповідно оптимізувати процес виробництва та отримати максимальний врожай.

**Метою даної роботи** є розробка автономного комплексу для спостереження за погодними умовами та створення робочого прототипу.

**Вибір архітектури автономної метеорологічної станції.** За характеристикам метеостанції в першу чергу можна розділити дротові та бездротові. Для дротових станцій характерним параметром буде максимальна довжина кабелю між станцією та датчиками. Такі станції досить дешеві. Бездротові станції можна поділити ще на дві групи: на станцію з бездротовим під'єднанням датчиків та повністю автономну станцію, яка передає данні по GSM чи іншим методом на комп'ютер.

В першому випадку головний блок метеостанції буде встановлений в будівлі; він приймає та обробляє параметри з датчиків, в той час, як датчики знаходяться на вулиці на своєму власному автономному блоці і передають данні по радіосигналу. Перевагою такої конструкції є можливість встановлення декількох блоків з датчиками, які будуть під'єднанні радіозв'язком до одного головного приймача.

В другому випадку – це повністю автономна конструкція. Зчитування, обробка та передача інформації відбувається в одному блоці. Така станція може передавати параметри різноманітними способами, наприклад, через супутник. Потім ці данні потрапляють на сервер і користувач може отримати доступ до параметрів з будь-якої точки світу. Такі станції дружельні до користувача, але їх ціна дуже велика.

Для розробки обрано бездротову метеостанцію, яка складається з декількох блоків. Доступ до параметрів реалізований через локальну мережу, з можливістю підключення до глобальної мережі Інтернет. Такий вибір обумовлений зручністю спостереження за параметрами з точки зору кінцевого користувача.

Метеостанція з декількох блоків дозволяє зменшити вартість мережі з декількох метеостанцій, адже обробляти данні від декількох метеостанцій можливо на одному контролері. Таким чином, всі данні обробляються в одному місці, а самі пристрої для збору даних можна зробити максимально простими та дешевими.

Зв'язок між блоками реалізований за допомогою технології передачі даних LoRa. Ця технологія має високу енергоефективність та дальність зв'язку, що важливо для автономної метеостанції.

Нижче на рис.1 зображена блок-схема системи метеостанція-користувач.

Відмітимо, що таку мережу можна зробити частиною системи «розумний дім».

**Розрахунок системи живлення.** Система живлення автономної частини комплексу повинна бути повністю автономною. Для цього була розрахована та розроблена система живлення на сонячній батареї та акумуляторах. В розрахунках враховані можливі погані погодні умови, які негативно впливають на ефективність такого джерела живлення.

При тестуванні прототипу метеостанції споживаний струм склав 50-55 мА. Під час передачі даних це значення може підскочити, але це дуже короткочасний імпульс який вносить мінімальні зміни до загальної енергоефективності.

Розрахунок ємності акумуляторної батареї відбувається за формулою:

$$Q = \frac{P \cdot t_{\text{роб}}}{V \cdot k_1}, \quad (1.1)$$

де  $Q$  – ємність акумулятору (А/год),  $P$  – потужність навантаження (Вт),  $t_{\text{роб}}$  – час роботи (год),  $V$  – напруга акумулятора (В),  $k_1$  – ККД, характерний для кожного типу акумуляторів, наприклад, для кислотних це 75-80%, а для літійових 95%.

Споживана потужність складає  $P = V \cdot I = 4 \text{ В} \cdot 0,06 \text{ А} = 0,24 \text{ Вт}$ . Для часу роботи 24 год. при напрузі на акумуляторі 3,7 В та ККД рівному 0.95 на підставі (1.1) маємо мінімальну ємність акумулятору 1,52 А/год.

Слід зазначити, що акумулятор з такою ємністю за одну добу буде повністю розряджатись та заряджатись, що негативно вплине на його ресурс. Краще взяти акумулятор з більшою ємністю та не використовувати його ємність на 100%.

Сонячна батарея обирається зважаючи на найгірші погодні умови та найменшу її ефективність. Так, при сильній хмарності ефективність падає до 25-30% від номінальної, а взимку світловий день скорочується всього до 8 годин. Тож, сонячна батарея повинна протягом світлової доби згенерувати електроенергії не менше, ніж потребує споживач.

Для метеостанції споживана енергія за добу становить  $0.24 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ год} = 5,76 \text{ Вт/год}$ .

Мінімальну потужність  $P_{\text{бат}}$ , яку повинна видавати сонячна батарея при короткому світловому дні та сильній хмарності, можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{бат}} = \frac{P \cdot t_{\text{роб}}}{k_2 \cdot k_3 \cdot t_{\text{зар}}}, \quad (1.2)$$

де  $t_{\text{зар}}$  – мінімальна тривалість світлового дня (год),  $k_2$  – ККД системи сонячна батарея – зарядний пристрій – акумулятор,  $k_3$  – ККД сонячної батареї з урахуванням хмарності.

Отже, для  $t_{\text{зар}} = 8$  год.,  $k_2 = 90\%$  та  $k_3 = 25\%$  маємо  $P_{\text{бат}} = 3.2$  Вт.

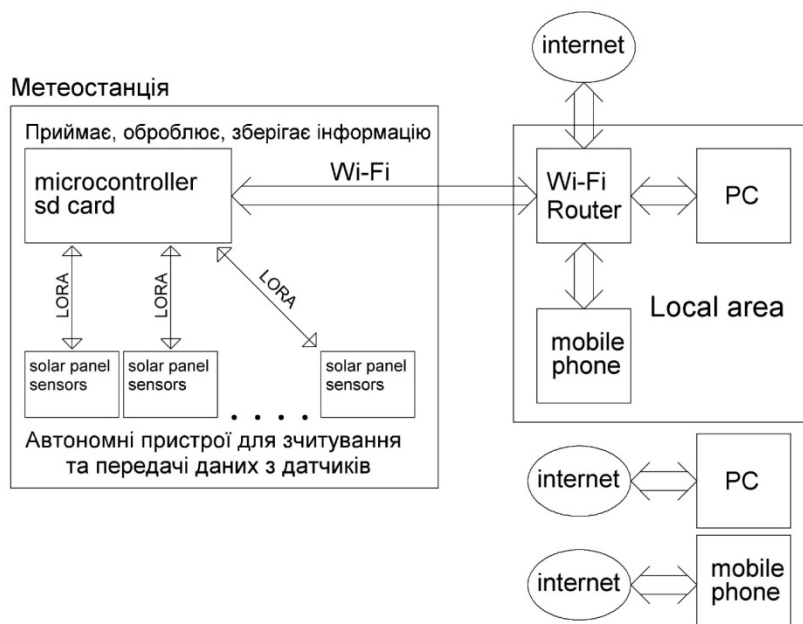


Рисунок 1 - Блок-схема побудови системи метеостанція-користувач

**Обробка вимірюваних даних.** Розроблена метеорологічна станція (рис. 3, 4) здійснює зберігання, обробку та надання доступу користувачеві до інформації. Збереження інформації відбувається на SD-карті.

Інформація також відображається на веб-сторінці. Веб-сторінка демонструє теперішні погодні умови та надає доступ до графіків, які демонструють зміну параметрів в часі. Також, надається доступ до даних попередніх днів, тобто можна подивитися, якою була погода в той чи інший день (рис. 2).

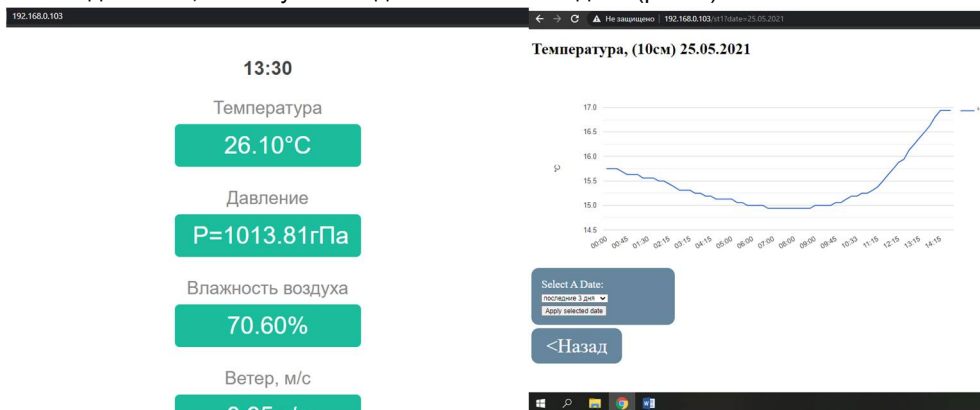


Рисунок 2 – Інтерфейс користувача у вигляді веб-сторінки

На даний момент прогноз всіх параметрів лежить на користувачеві. Метеостанція лише збирає дані, а користувач, виходячи з цих даних приймає рішення. У подальшому можна вдосконалити систему, створивши інтелектуальну модель, яка буде прогнозувати різноманітні погодні умови.

**Висновки.** В роботі запропоновано використання модульної архітектури при побудові автономної бездротової метеорологічної станції. Наведено методику розрахунку системи живлення автономного модуля станції на основі сонячної батареї. Розроблено людино-машинний інтерфейс, протокол взаємодії модулів метеорологічної станції та автономне джерело електроенергії на сонячній батареї. Створено робочий прототип метеорологічної станції, яка призначена для спостереження за різноманітними факторами навколишнього середовища, що дозволяє використовувати її в різних сферах, наприклад, в сільському господарстві. Подальша обробка отриманих да-

них з метеорологічної станції дозволить оптимізувати різноманітні процеси для отримання кращого вихідного результату.



Рисунок 3 – Головний пристрій метеорологічної станції

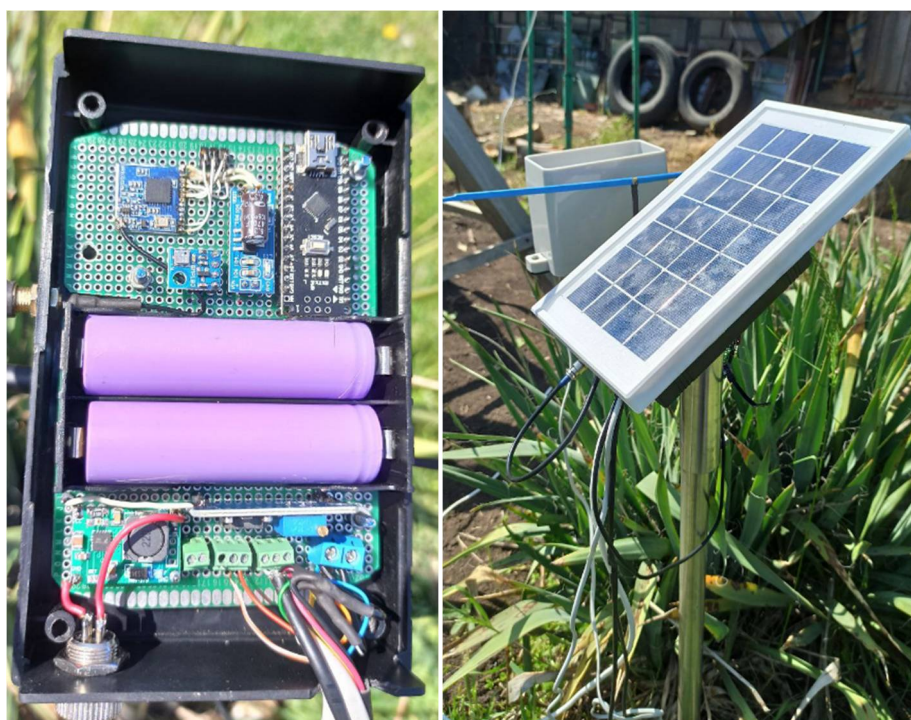


Рисунок 4 – Автономний модуль метеорологічної станції

#### Список використаних джерел

1. Глухов О.В., Кравчук О.О., Левченко Є.В. Вивчення властивостей мікроконтролерів і електронних систем на базі платформи Ардуіно: навч. посібник для студентів ВНЗ. Харків: ХНУРЕ, 2019. – 192 с
2. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Підручник. — Одеса: ТЕС, 2012. – 632 с.
3. Марко Шварц. Интернет вещей с ESP8266. – БХВ-Петербург, 2016. – 192с.
4. Монк С. Програмуємо Arduino. Професійна робота со скетчами. – СПб.: Питер, 2017. – 252 с.
5. ESP8266 Webserver: Getting query parameters [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://techtutorialsx.com/2016/10/22/esp8266-webserver-getting-query-parameters/>
6. Arduino. Підключаємо LCD дисплей через шину I2C | Заняття 5-6. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://mikrotik.kpi.ua/index.php/courses-list/category-arduino/29-connect-the-lcd-display-via-i2c-bus>

УДК 629.5

Грудініна Г.С.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛИ УПОРУ РУШІЙНО-РУЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ АНПА В КОСОМУ ПОТОЦІ ВОДИ МЕТОДОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Завдання стабілізації швидкості при плоскому криволінійному русі автономного ненаселеного підводного апарату (АНПА) є частиною важливої задачі стабілізованого траєкторного руху необхідного для здійснення складних місій. В процесі експлуатації АНПА нерідко виникають ситуації коли від системи керування апаратом вимагається висока швидкодія, це свідчить про необхідність зменшення тривалості перехідного процесу та підвищення точності стабілізації швидкості руху апарату. Маючи повні відомості про всі сили, що впливають на АНПА, а також, про засоби керування ними можна визначати умови за яких можливою є побудова ефективної системи керування траєкторним рухом підводного апарату. Саме тому, слід звернути увагу на те, який вплив на точність стабілізованого криволінійного руху мають гідродинамічні сили, обумовлені роботою рушійно-рульового комплексу (РПК) у косому потоці води.

Для успішного розв'язку такої задачі доцільно застосовувати методи математичного моделювання руху апарата, враховуючи при цьому гідродинамічні характеристики РПК. Проведення експериментальних досліджень методом математичного моделювання дозволяє отримати достовірну вибірку даних, що описує необхідні для побудови ефективної системи керування процеси, та є набагато дешевше за натурні випробування.

Огляд науково-технічної літератури [1] свідчить, що попри добре вивчені питання математичного моделювання АНПА невисвітленим у науковій літературі залишається питання роботи РСК таких апаратів у скошеному потоці води, що набігає. Такий режим роботи РСК виникає при маневруванні АНПА і призводить до зміни характеристик РСК у порівнянні з режимом прямолінійного руху.

Вивчення особливостей роботи РСК у косому потоці води, що набігає, дасть змогу синтезувати системи керування просторовим рухом підвищеної точності. Ефективним інструментом для такого вивчення є метод математичного моделювання руху АНПА. При цьому важливою умовою є застосування спрощених моделей, які можна досліджувати за допомогою широко доступних пакетів комп'ютерних програм, зокрема, пакету Simulink (Math works, США).

**Метою роботи** є отримання залежності упору гребного гвинта, для РПК типів «гвинт-руль», «гребний гвинт – поворотна насадка», від швидкості руху та кута потоку води, при криволінійному русі АНПА методом комп'ютерного моделювання.

#### Математичне моделювання керованого процесу траєкторного руху автономного ненаселеного підводного апарата

В основу математичної моделі динаміки АНПА покладені рівняння динаміки поступального та обертального руху твердого тіла та кінематичні рівняння зв'язку кутових і лінійних швидкостей.

Основними складовими рушійного пристрою АНПА є електродвигун (ЕД), редуктор-валопровід (РВ) та гребний гвинт (ГГ), які моделюються системою нелінійних диференціальних рівнянь:

Рівняння електродвигуна Рівняння сил та моментів

$$\left. \begin{aligned} L \frac{di}{dt} &= K_u U - Ri - \frac{c\Phi}{k_g} \omega; \\ J_p \frac{d\omega}{dt} &= \frac{c\Phi i - Q}{k_p} - Q_g; \\ Q_g &= 4\mu\pi\omega r^3 \left( \frac{L_r}{r} + \frac{L_r}{2\delta_1} + \frac{r}{4\delta_2} \right); \end{aligned} \right\} \quad Q = \begin{cases} \frac{K_Q \rho D^5}{4\pi^2} \omega^2, \text{ при } J \in [-1; 1] \\ K_Q \rho D^3 V^2, \text{ при } J^{-1} \in [-1; 1] \end{cases} \quad J = \frac{2\pi V_x}{\omega D},$$

$$F = \begin{cases} \frac{K_F \rho D^4}{4\pi^2} \omega^2, \text{ при } J \in [-1; 1] \\ K_F \rho D^2 V^2, \text{ при } J^{-1} \in [-1; 1] \end{cases}$$

де  $L$  – індуктивність якоря ЕД;  $i$  – миттєве значення електричного струму якоря ЕД;  $K_u$  – коефіцієнт підсилення регулятора напруги ЕД;  $U$  – керуючий сигнал регулятора напруги ЕД;  $R$  – електричний опір якоря ЕД;  $c, \Phi$  – електромагнітні параметри ЕД;  $k_g$  – коефіцієнтом передачі редуктора;  $\omega_r$  – швидкість обертання ГГ;  $J_p$  – сумарний момент інерції системи "ЕД – РВ – ГГ", приведений до ГГ;  $Q_g$  – гальмівний момент, який виникає при обертанні ротора в середовищі діелектрика, що заповнює ЕД;  $Q$  – гальмівний момент ГГ;  $\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості діелектрика;  $L_r, r$  – відповідно довжина та радіус ротора ЕД;  $\delta_1$  – зазор між ротором і статором;  $\delta_2$  – зазор між торцевими поверхнями ротора і кришками ЕД;  $F$  – упор ГГ; де  $K_F$  та  $K_f$  – безрозмірні коефіцієнти, які характеризують гальмівний момент гребного гвинта;  $K_Q$  та  $K_q$  – безрозмірні коефіцієнти, які характеризують упор

гребного гвинта;  $J$  – відносний поступ ГГ;  $D$  – діаметр ГГ;  $\rho$  – густина води;  $V_x$  – проекція вектора швидкості переміщення РГ відносно води на вісь прямого хода ГГ.

Коефіцієнти  $K_Q$ ,  $K_q$ ,  $K_F$ ,  $K_f$  є нелінійними залежностями від параметрів  $J$ ,  $\omega$  та  $V_x$ , рис. 1.

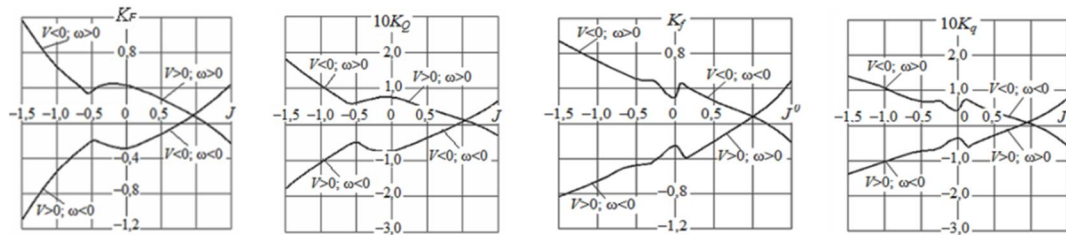


Рисунок 1. Криві дії гребного гвинта

Якщо записати описану вище систему рівнянь у вигляді рекурентної різницевої залежності, а графічні залежності для визначення коефіцієнтів  $K_Q$ ,  $K_q$ ,  $K_F$ ,  $K_f$  апроксимувати за допомогою кусково-лінійної інтерполяції, то отримаємо досить просту розрахункову модель, за якою можна обраховувати динаміку руху підводного апарата [2]. Структурну схему розробленої моделі, рис. 2, реалізовано в системі Simulink.

Показані на схемі блоки Б1 і Б2 містять по чотири апроксиматори, оскільки кожен з них повинен апроксимувати по дві кривих для прямого режиму руху, і по дві для реверсивного.

Для проведення дослідження роботи АНПА при різних типах траєкторного руху математичну модель підводного апарату було доповнено моделями рушійно-рульових комплексів типу: «гвинт – руль» та «гвинт в поворотній насадці», конструктивні особливості яких представлено на рис. 3.

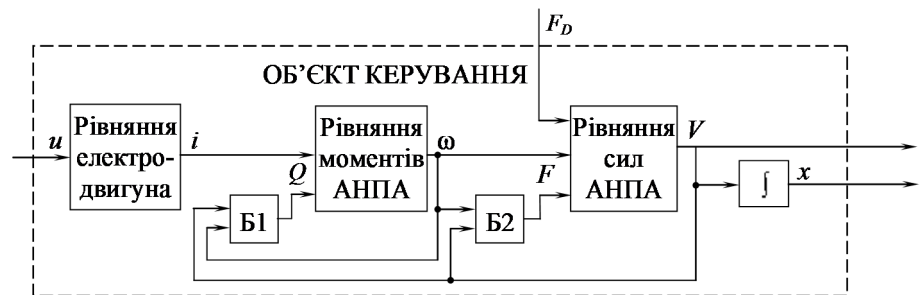


Рисунок 2. Структурна схема АНПА, як об'єкту керування

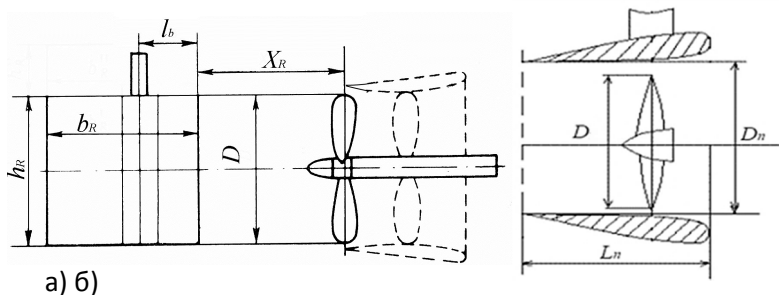


Рисунок 3. Конструктивні особливості РПК

профілю пера руля. На рис. 3, б – РПК «гвинт – поворотна насадка»:  $D_n$  – внутрішній діаметр насадки;  $D$  – діаметр гвинта;  $L_n$  – довжина насадки.

Відносна довжина насадки  $\bar{L}_n = \frac{L_n}{D_n}$  має значний вплив на гідродинамічні характеристики РПК. Оптимальна

відносна довжина, що забезпечує одночасно високі пропульсивні і маневрові якості складає  $= 0,6 \div 0,8$ . Структурна схема моделі АНПА з рушійно-рульовим комплексом реалізована в системі Simulink представлена на рис. 4.

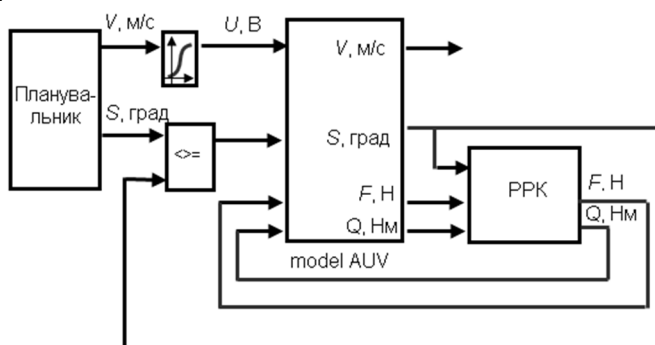


Рисунок 4. Структурна схема Simulink-моделі АНПА з

На рис. 3, а – РПК «гребний гвинт-руль» з балансирним кермом прямокутного профілю типу NACA – 0012.

$b_R$  – довжина пера руля;  $D$  – діаметр гребного гвинта;  $h_R = D$  – висота передньої кромки пера руля;  $l_b$  – відстань між передньою кромкою пера руля і віссю баллера;

$X_R = 0,65 D$  – відстань від руля до рушія;

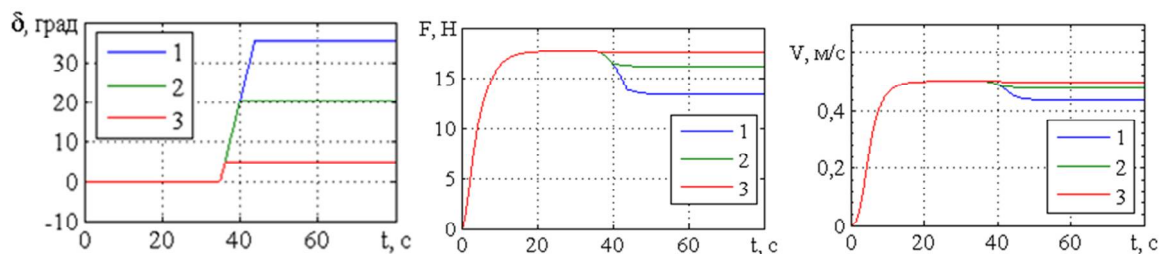
$\bar{t}_R = t_R / b_R = 12\%$  – відносна товщина профілю;  $t_R$  – максимальна товщина

Оператор задає необхідне значення швидкості та траєкторію руху АНПА (в горизонтальній площині). Спеціальний блок апроксимації даних перетворює значення швидкості на напругу керуючого сигналу. З блоку «Планувальник» надходить необхідне значення повороту руля (насадки) яке порівнюється з дійсним кутом

повороту. Отримане значення похибки використовується для обчислення моменту та упору, що відповідають заданому куту повороту руля. Відмінність значення упору та моменту впливає на кінцеву швидкість руху апарату, яка обчислюється в моделі АНПА.

Для перевірки працездатності розробленої математичної моделі та її Simulink-реалізації виконаємо дослідження впливу косоного потоку води, що набігає на РПК типу «гребний гвинт-руль» [3,4].

Комп'ютерне моделювання динаміки АНПА на плоскій циркуляції довело наявність залежності сили упору гребного гвинта від кута потоку, що набігає. Як видно з рис. 5, дана залежність має значну нелінійність та буде впливати на точність керування АНПА при траєкторному русі. В таблиці 1 представлено фрагмент зведених даних про відхилення упору ГГ в залежності від швидкості руху АНПА та кута повороту руля. На рисунку 5 представлено моделювання руху АНПА на плоскій циркуляції зі швидкістю 0.5 м/с для трьох кутів перекидки руля: 5°, 20°, 35°.



а) б) в)

Рисунок 5. Моделювання руху АНПА з РПК «гребний гвинт - руль» на плоскій циркуляції:

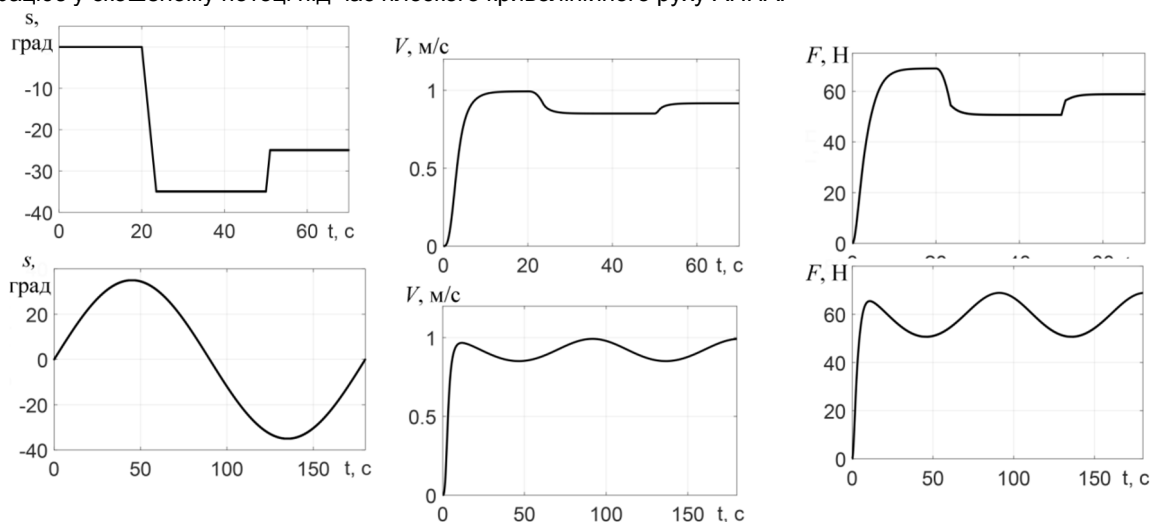
а – кут повороту насадки; б – швидкість руху апарату; в – упор

Таблиця 1. Відхилення упору ГГ при роботі РПК в косому потоці води

| Кут<br>перекладки<br>руля $\delta$ , град |    | Швидкість<br>руху АНПА<br>$V$ , м/с | Сила упору ГГ, Н                       |                                                |                      |
|-------------------------------------------|----|-------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
|                                           |    |                                     | при прямоліній-<br>ному русі $F(0, V)$ | при криволіній-<br>ному русі<br>$F(\delta, V)$ | зниження<br>упору, % |
| 1                                         | 35 | 0,5                                 | 17,63                                  | 13,4                                           | 24                   |
| 2                                         | 20 | 0,5                                 | 17,63                                  | 16,12                                          | 8,6                  |
| 3                                         | 5  | 0,5                                 | 17,63                                  | 17,53                                          | 0,6                  |

Виконаємо дослідження впливу скошеного потоку води, що набігає на РПК типу «гребний гвинт – поворотна насадка» [5].

В даному експерименті проведемо моделювання траєкторного руху АНПА прямокутними галсами та рух з огиром перешкоди. На рис. 6 представлено результат моделювання. За результатами роботи видно, що розроблена математична модель надає можливість дослідити гідродинамічні параметри рушійно-рульового комплексу, який працює у скошеному потоці під час плоского криволінійного руху АНПА.



а) б) в)

Рисунок 6. Траєкторний рух АНПА з РПК «гвинт в поворотній насадці»: а – кут повороту насадки; б – швидкість руху апарату; в – упор.

Розроблену математичну модель було використано для дослідження характеру нелінійної залежності упору РРК від кута потоку води, що набігає (зміни кута повороту насадки до  $35^\circ$ ) та швидкості руху АНПА в діапазоні 0,2 – 1,0 м/с, рис. 7, а.

Аналіз отриманих результатів показує, що при малих швидкостях руху АНПА упор РРК практично не залежить від кута повороту насадки. Однак зі збільшенням швидкості руху АНПА (швидкості потоку, що набігає) упор РРК зменшується по суттєво нелінійному закону [5,6].

Так, встановлено, що найбільше відхилення спостерігається при швидкості 3 м/с та при зміні кута повороту насадки на  $35^\circ$ . У порівнянні з нульовим кутом відхилення насадки упор зменшується на 7,3 % (зменшується з 68,99 Н до 50,7 Н).

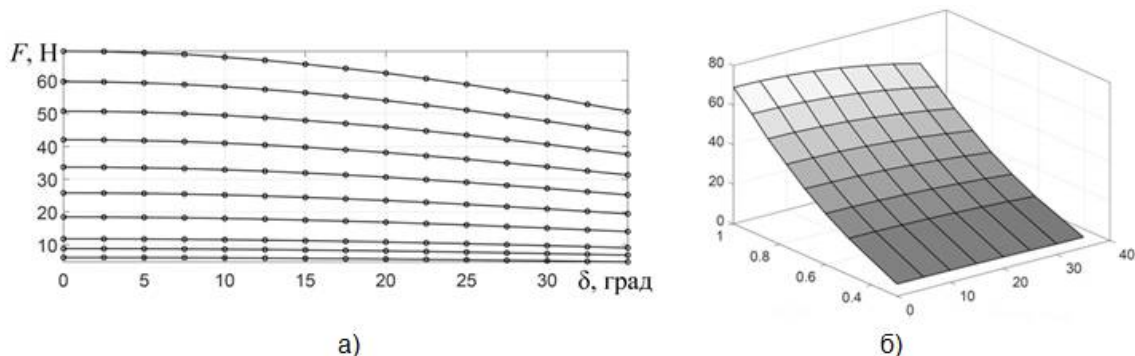


Рисунок 7. Графічна залежність упору ГГ: а – діаграма залежності упору від кута повороту насадки; б – від кута потоку води та швидкості руху АНПА

За допомогою розробленої моделі було проведено ряд комп'ютерних експериментів та сформовано базу даних, у вигляді трьохвимірної матриці « $F - V - \text{Sigma}$ », яка описує залежність упору гребного гвинта від кута потоку, що набігає, та швидкості руху апарату. Отримана поверхня наглядно показує в яких зонах швидкостей та кутів потоку води спостерігається найбільш суттєвий прояв нелінійних залежностей між цими змінними, рис. 7, б.

Зазначимо, що отримана залежність « $F - V - \text{Sigma}$ » обчислена для конкретного типу АНПА з використанням спрощених математичних моделей гідродинаміки апарату та РРК і відображає нелінійні залежності з деякими припущеннями. Подальше уточнення отриманої залежності планується виконати проведенням експериментів з РРК у дослідницькому басейні.

**Висновки** Для моделювання руху АНПА і дослідження систем автоматичного керування рухом апарату синтезовано Simulink-модель в середовищі MATLAB в основу якої закладено розроблену математичну модель АНПА як об'єкта керування. Удосконалено розроблену модель доповненням її рівняннями, що описують роботу РРК «гребний гвинт – руль» та «гребний гвинт – поворотна насадка». Проведено дослідження залежності сили упору гребного гвинта, моменту та швидкості АНПА при криволінійному русі методом математичного моделювання. Встановлено, що упор рушійно-рульового комплексу АНПА у скошеному потоці, що набігає, є нелінійною залежністю від кута набігання потоку води та швидкості руху АНПА. Отримані залежності будуть враховані при синтезі регулятора компенсації втраченого упору РРК в косому потоці води у складі САК швидкістю траєкторного руху АНПА.

Необхідно відзначити, що проведені в роботі дослідження за характером впливу дії косого потоку на рушійно-рульовий комплекс в цілому відповідають результатам отриманим експериментальним шляхом [6].

#### Список використаних джерел

1. Блінцов, В. С., Грудініна, Г. С. (2018). Особливості керування стабілізованим рухом АНПА в умовах дії зовнішніх збурень. Інформаційні системи, механіка та керування. КПІ, 1, 122-137. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804192018169624>
2. Блінцов, С. В., & Грудініна, Г. С. (2008). Застосування математичної моделі руху підводного апарату для побудови оптимальної за швидкістю системи керування з компенсацією зовнішніх збурень. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування, 3, 77-83.
3. Блінцов, С. В., Грудініна, Г. С., та Бурунін, А. П. (2017). Математична модель для дослідження динаміки автономного підводного апарату на плоскій циркуляції. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. Миколаїв: НУК, 335-336.
4. Алоба, Л. Т., Блінцов, С. В., та Грудініна, Г. С. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного ненаселеного підводного апарату на плоскій циркуляції. Збірник наукових праць НУК. 4, 53-60.

5. Алоба, Л. Т., & Грудніна, Г. С. (2019). Математичне моделювання динаміки АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці. Сучасні інформаційні та інноваційні технології, матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: ХДМА, 221-223.

6. Гофман, А. Д. (1988). Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Ленинград: Судостроение, 360.

#### УДК 681.5

*Боровицький Д. В.*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

### МЕТОДИ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯЦІЙНИМИ РОБОТАМИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Автоматизація промисловості – найбільш надійний шлях до підвищення продуктивності праці і якості виробів [1]. Застосування машин як заміни ручної праці необхідне насамперед в інтересах зниження виробничого браку. Така ж необхідність присутня на ряді високоточних виробництв мікроелектроніки або в небезпечних для здоров'я ділянках металургії та хімічної промисловості. В сучасному світі в різноманітних галузях промисловості застосовуються маніпуляційні роботи, які використовуються для виконання широкого спектру прикладних завдань. Великий інтерес в даний час викликає тематика створення "сервісних" роботів для використання їх в медицині і в тих місцях, де не вистачає людських фізичних [2] або нервових сил або де потрібна висока точність і безпомилковість медичних заходів [3].

За останні роки відсоток використання роботизованих комплексів значно зріс. А вартість промислових роботів зменшилася при одночасному поліпшенні якісних характеристик. Тому економічна ефективність використання роботів зросла і, як наслідок, зросла потреба в промислових роботах. Перше місце в світі по виробництву роботів займає Японія і в ній зосереджена основна частина світового парку роботів. За нею йдуть США, Італія, Франція і Швеція.

Маніпуляційний робот – це нелінійна динамічна система і для його управління часто використовують методи, засновані на лінеаризації зворотного зв'язку [4]. Для управління найпростішими рухами зазвичай використовують слідуючі приводи, які функціонують автономно від керуючої СУ. Їх можливості на практиці виявляються досить обмеженими: при великих навантаженнях або високих швидкостях руху часто виникають коливальні процеси, падає точність позиціонування. Наявність керуючої СУ дозволяє усунути ці недоліки за рахунок формування розрахунковим шляхом керуючих моментів в суглобах маніпулятора [5]. Однак, для застосування цього методу необхідна точна інформація про вагу вантажу у схваті, моменти інерції вантажу і всі характеристики маніпулятора, що багато в чому незручно (необхідно мати відповідні датчики та ін.). У реальній практиці визначення значень цих характеристик вкрай трудомісткий процес. Їх вплив відповідає дрейфу параметрів об'єкта управління [5]. Також, наявність у таких роботів розвиненої сенсорики диктує необхідність використання потужного обчислювача в системі управління, що виконує обробку інформації від датчиків і координацію рухів маніпулятора.

Пошук перспективних підходів до збільшення продуктивності сучасних роботизованих технологічних комплексів на основі використання маніпуляційних роботів визначає необхідність в нових методах розробки їх пристроїв управління [6]. Зростаюча складність завдань, які ставляться перед роботами в сучасному виробництві (адаптація до нетривіальних змін середовища, самонавчання в процесі роботи і т.п.) знижує ефективність жорстких детермінованих алгоритмів управління. Так виникла необхідність в побудові керуючих систем, які не потребують повної апріорної інформації про об'єкт та умови його функціонування [6].

Одним з визнаних методів вирішення завдань управління механічними об'єктами є адаптивні методи, які інтенсивно розвиваються і принципово розраховані на реалізацію засобами сучасної обчислювальної техніки в темпі поточного часу [7]. В даний час завдання управління багатоланковими нелінійними електромеханічними об'єктами займають одне з передових місць по числу застосувань для високотехнологічних і прецизійних установок в промисловості. Тому розробка інтелектуальної системи управління переміщенням маніпулятора відноситься до числа актуальних завдань робототехніки. Ефект пристосування до умов функціонування в адаптивних системах забезпечується за рахунок накопичення та обробки інформації про поведінку об'єкта в процесі його роботи. Це дозволяє знизити вплив невизначеності на якість управління, компенсуючи недолік апріорної інформації на етапі проектування.

Отже, **метою роботи** є аналіз сучасних методів адаптації систем управління маніпуляційними роботами на основі використання штучних нейронних мереж.

Про застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) в системах керування вперше замислилися в середині 70-х років XX століття. А сам термін «нейрокерування» вперше з'явився в роботах Вербоса вже 1976 року. Зараз

ШНМ застосовують у вигляді нейрорегуляторів та нейроемулаторів, які можуть імітувати поведінку об'єкту керування в цілому або описують його окремі характеристики, які погано або зовсім не піддаються математичному опису.

Існує декілька підходів до реалізації систем керування з використанням ШНМ, які мають свої переваги та недоліки. При цьому процес навчання ШНМ може проводитися як в режимі *offline*, так і в режимі реального часу [8]. Найпоширенішою моделлю є інверсне керування (рис. 1).

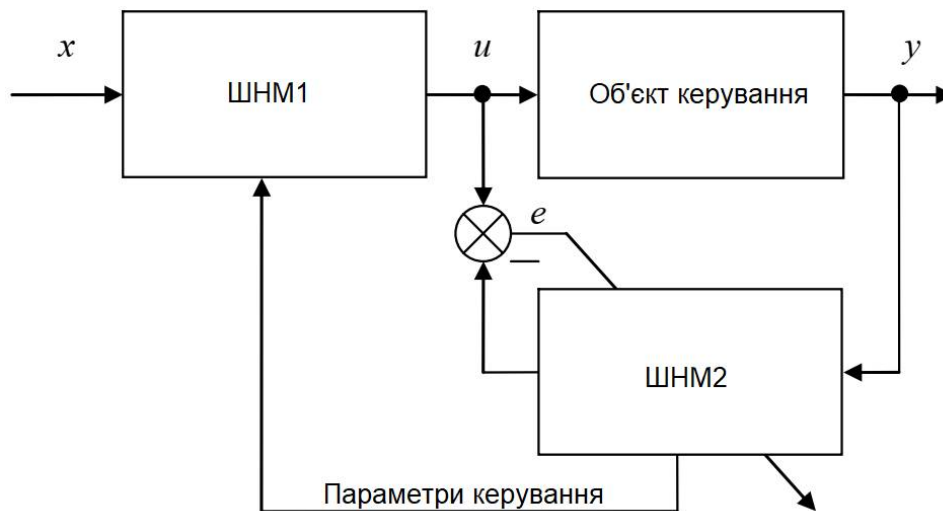


Рис. 1. Схема моделі інверсного керування

На схемі ШНМ2 навчається зворотній динаміці об'єкта керування, а ШНМ1 просто копіює параметри керування. При цьому ШНМ виступає у якості заміни звичайному регулятору але, зважаючи на свої переваги, дозволяє змінювати параметри керування в режимі реального часу завдяки властивості самонавчання. Перевагами даного підходу є простота, стійкість і можливість оперативного навчання.

Також існує метод керування з передбаченням, який, порівняно з попереднім, дає кращі результати, особливо у випадку нереалізованості точної зворотної динаміки об'єкта [9]. Мінусами цього методу є значно більший обсяг обчислювальних витрат і задача навчання ШНМ стає складнішою [9].

**Висновки.** Таким чином, використання ШНМ в системах керування є перспективним підходом до вирішення складних завдань управління завдяки таким властивостям ШНМ: нейронні мережі можуть реалізовувати довільні гладкі функції будь-якої складності; для реалізації нейромережевих систем потрібна мінімальна інформація про об'єкт керування; під час реалізації ШНМ у вигляді спеціалізованих інтегральних мікросхем можливе паралельне оброблення інформації, що значно збільшує швидкість роботи і підвищує надійність системи [10].

Тому, для реалізації даного підходу для управління маніпулятором, необхідне вирішення наступних задач:

1. дослідити особливості кінематики маніпулятора та розробити його кінематичну схему та математичну модель;
2. за допомогою програмного комплексу MATLAB SIMULINK розробити схему системи управління з нейрорегулятором;
3. провести моделювання та визначитись із топологією та типом активаційної функції ШНМ для конкретної системи управління, а також визначитись з методом навчання ШНМ;
4. за результатами моделювання визначити показники якості системи керування і визначити доцільність використання такого підходу для управління багатоланковим маніпулятором.

#### Список літератури

1. Keating S. J. et al. Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales // *Science Robotics*. – 2017. – Т. 2. – №. 5. – С. eaam8986.
2. Вороновский Г. К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности [Текст] / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с. – Библиогр.: с. 78–81. – 800 экз. – ISBN 5–7768–0293–8.
3. Уськов А. А. Интеллектуальные технологии управления: искусственные нейронные сети и нечеткая логика [Текст] / А. А. Уськов, А. В. Кузьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 143 с. – Библиогр.: с. 124–141. – 1000 экз. – ISBN 5–93517–181–3.

4. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с. – Библиогр.: с. 379–380. – 1500 экз. – ISBN 5–93517–103–1.
5. Subudhi B., Morris A.S. (2003). Fuzzy and neuro-fuzzy approaches to control a flexible single-link manipulator. URL: <http://dSPACE.nitrkl.ac.in>.
6. Стюарт Рассел, Питер Норвинг Искусственный интеллект: современный подход / 2-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
7. Hagan M. T., Demuth H. B. Neural Networks for Control // Proceeding of the 1999 American Control Conference. San Diego: CA, 1999. P. 1642-1656.
8. Чернодуб А. Н., Дзюба Д. А. Обзор методов нейруправления // Проблемы программирования. – 2011. №2. – С. 79-94.
9. Narendra K. S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Trans. On Neural Networks. – 1990. – 1. – P. 4-26.
10. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети в системах управления и связи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 94 с.

#### УДК 681.128, 681.518

*Зівенко О.В., к.т.н.; Яскуринська А.М.*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### ИНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗБЕРІГАННЯ АМІАКУ

Завдання вимірювання параметрів аміаку при його зберіганні та транспортуванні - актуальне та зумовлене високим попитом хімічної та переробної промисловості на цей продукт [1,2]. Окремо слід зазначити, що є тенденція адаптації двигунів та інфраструктури для роботи із аміаком у якості палива або джерела водневих сумішей [3].

Складнощі, пов'язані із фізичними та хімічними властивостями аміаку як об'єкту контролю зумовлюють необхідність розробки спеціальних методів та засобів вимірювання. Зокрема, згідно до нормативів [4] резервуари повинні бути оснащені: приладами вимірювання рівня, температури і тиску аміаку, датчиками системи контролю граничнодопустимих показників цих параметрів. З точки зору безпеки прилади повинні дублюватися, особливо на складах рідкого аміаку з резервуарами більше 50 м<sup>3</sup>, шляхом дублювання систем контролю, наявності систем самодіагностики і зіставлення технологічно пов'язаних параметрів.

Широке впровадження для контролю параметрів скраплених під тиском газів отримало використання поліметричних систем, хвильовідних радарних рівнемірів контактного типу (GWR) [5-8], як складових частин систем контролю. Основним Прикладами таких приладів є обладнання виробництва «Honeywell», «Emerson», «Endress Hauser», або вітчизняного виробництва ГК «АМІКО».

Оскільки аміак зберігається під тиском (або охолодженим) та має істотну залежність тиску насичених парів від температури та відповідно залежність густини від температури/тиску у резервуарі, швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль істотно залежить від умов процесу і може зумовлювати виникнення додаткової методичної похибки вимірювань. Тому, для коректного визначення параметрів зберігання необхідно врахувати вплив парової фази та оцінити невизначеність що обумовлена цими властивостями.

**Метою роботи** є аналіз похибки, що може за певних умов виникати при вимірюванні рівня аміаку за допомогою хвильовідних радарних рівнемірів та/або поліметричних систем, пошук шляхів усунення похибок та формування структури системи обліку рідкого аміаку, що здатна забезпечити достатній рівень точності.

Аналіз літератури показав, що для задач контролю кількості аміаку використовують рівнеміри різних типів дії. Однак, останнім часом використовуються радарні рівнеміри, у тому числі контактного типу. Перевагою рівнемірів такого типу є відсутність механічних рухомих частин та висока чутливість до параметрів контрольованих рідин. Окремо слід відзначити можливість деяких систем одночасного контролю декількох параметрів – наприклад температури і рівня у ємності, тиску, концентрації компонентів тощо. Задля точної оцінки об'єму та інших параметрів необхідно точно контролювати рівень рідини у резервуарі (окрім того, що рівень повинен контролюватися задля забезпечення безпеки зберігання продукту). Дія таких рівнемірів заснована на використанні принципу розрахунку часу розповсюдження електромагнітних хвиль ("time of flight" або зміщення по частоті "frequency shift").

Для того, щоб проаналізувати причини виникнення додаткової похибки за рахунок присутності та впливу парової фази необхідно розглянути принцип вимірювання рівня за допомогою радарних рівнемірів. На рис. 1 а) наведені датчик спеціальної конструкції 1, що встановлено у резервуар 2 висотою  $H$  та частково занурений у середовище 3, рівень  $h$  якого потрібно контролювати.

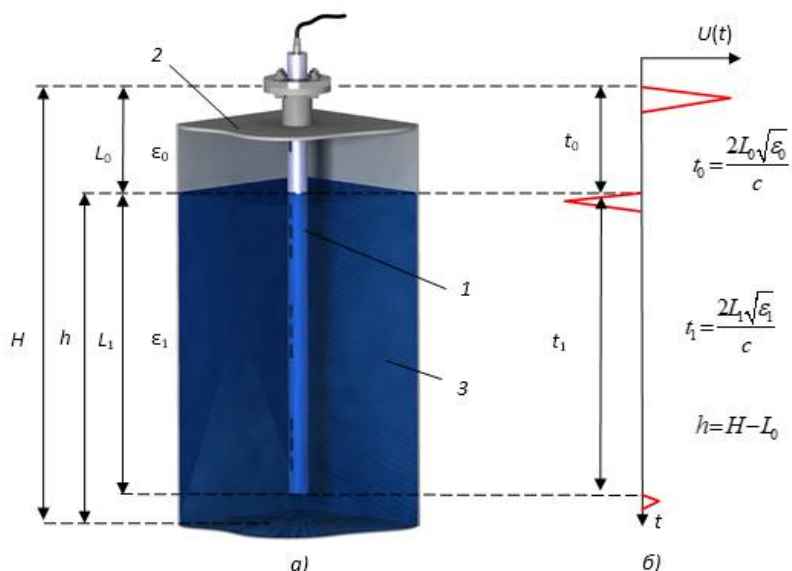


Рис. 1. Щодо пояснення принципу дії хвильовідного радарного рівнеміра [9]

Процес формування сигналу  $U(t)$  (див. рис. 1, б) містить: випромінювання коротких електромагнітних імпульсів, контактне зондування цими імпульсами контрольованого середовища; приймання та обробку сукупності випромінених та відбитих від неоднорідностей хвильового опору імпульсів задля подальшої інтерпретації сигналу – обчислення параметрів сигналу, рівня чи інших характеристик рідини чи процесу. Неоднорідностями хвильового опору є межа розділу фаз - «рідина-пар», рідини різної густини, а також спеціально створені неоднорідності у конструктиві ліній. Спеціальні неоднорідності хвильового опору використовують для створення опорних (реперних) точок сигналу з метою подальшої діагностики або корекції показань датчиків. У наведеному випадку форма та взаємне розташування відбитих від меж поділу середовищ імпульсів залежить від відстаней до меж поділу середовищ чи інших неоднорідностей хвильового опору, властивостей шарів середовища, через яке розповсюджується електромагнітна хвиля.

На рис. 1 також наведено основні залежності щодо оцінки рівня рідини у резервуарі, зокрема для оцінки відстані до межі поділу середовищ пар/рідина використовується вираз:

$$L_0 = \frac{ct_0}{2\sqrt{\varepsilon_0}}, \quad (1)$$

де,  $L_0$  – відстань від електронного блоку рівнеміра (генератора) до межі поділу середовищ, м;  $t_0$  - проміжок часу (затримка) між зондуючим імпульсом та імпульсом, що відбивається від межі поділу середовищ, с;  $c$  – швидкість світла;  $\varepsilon_0$  – діелектрична проникність середовища розповсюдження імпульсів.

Вираз (1) демонструє, що швидкість розповсюдження імпульсів залежить від діелектричної проникності середовища. У роботі [9] наведено методику корекції та оцінки похибки, що виникає внаслідок зміни діелектричної проникності середовища розповсюдження. Так, поява відмінності у діелектричній проникності  $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_0$  зумовлює похибку оцінки відстані до межі поділу середовищ  $\Delta L_1$ , прийнявши  $L_0$  за істинне значення відстані:

$$\Delta L_1 = L_0 \left( 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_0}} \right), \quad (2)$$

Вираз (2) ілюструє мультиплікативний характер додаткової похибки, що виникає внаслідок появи різниці між діелектричною проникністю газового середовища калібрування та фактичного застосування рівнемірів.

Використовуючи масив накопичених експериментальних даних, зокрема робіт [10-18], власних експериментальних результатів, авторами було отримано узагальнену залежність діелектричної проникності парової фази аміаку від тиску та температури, що візуалізовано на рис. 2.

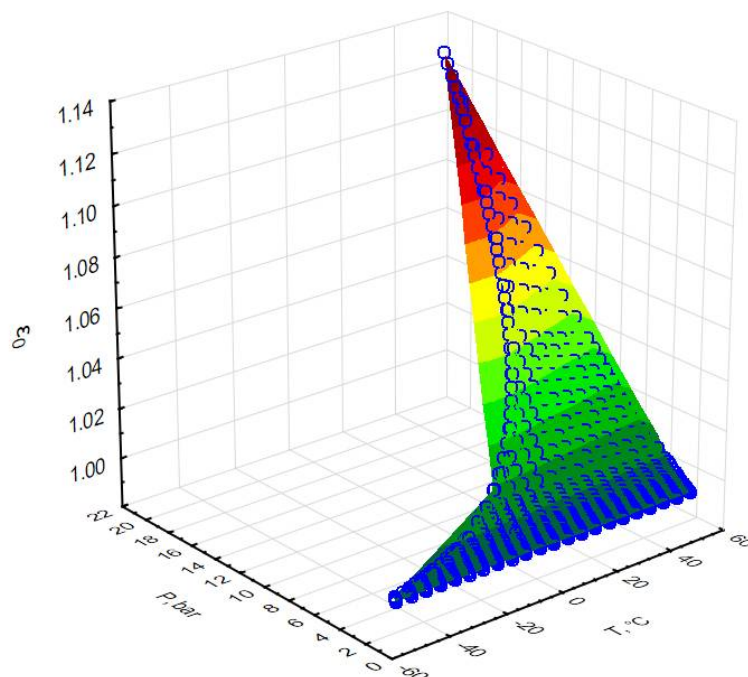


Рис. 2. Залежність діелектричної проникності парової фази від тиску та температури аміаку

Порівняння результатів розрахунків за отриманою залежністю демонструє, що розбіжність даних щодо діелектричної проникності за даними експериментів в діапазоні температури від  $-60$  до  $+50$  °C та тиску від  $0$  до  $20$  бар не перевищують  $1\%$ . Отже, отримані результати можуть бути використані для корекції показів рівнемірів на основі даних про температуру і тиск у резервуарі, або лише на основі даних про температуру у резервуарі.

Узагальнені дані та подальше їх застосування надають можливість первинної оцінки похибки, яка може виникати у рівнемірів такого типу без застосування відповідних засобів та методик корекції. Так, наприклад, якщо аміак знаходиться у ємності за граничних умов ( $T \approx 49$  °C,  $P \approx 20$  бар) похибка визначення рівня не перевищить  $\Delta L_0 \leq 59.5$  мм/м<sup>-1</sup>. Така у цьому випадку похибка зумовить похибку оцінки об'єму у резервуарі об'ємом  $200$  м<sup>3</sup> та ступеню наповнення  $50\%$  у  $7.7$  м<sup>3</sup>, що становить відносну похибку оцінки об'єму у  $7.9\%$ , що є неприйнятним для систем обліку та контролю. Використання запропонованої методики корекції разом із даними про властивості аміаку, дає можливість врахування впливу парової фази аміаку та зменшення цієї похибки до прийнятного рівня.

Слід відокремити можливість оцінки параметрів стану середовища (температури, тиску та відповідно густини) лише за формою поліметричного сигналу, що не розглядається у цій роботі.

Одним із варіантів організації поліметричної системи для контролю параметрів аміаку наведено на рис. 3.

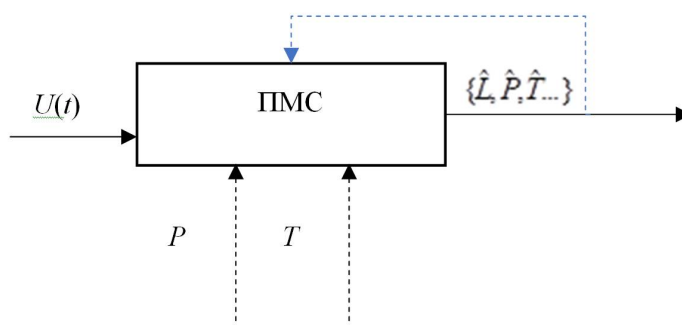


Рис. 3. Структурна схема поліметричної системи для контролю параметрів аміаку

Дані, що отримує поліметрична система (ПМС) – поліметричний сигнал  $U(t)$  – форма та вигляд якого залежить як від ліній, куди виконується зондування, так і безпосередньо від параметрів генератора та способу зондування. Додаткові дані, що можуть бути доступні від зовнішніх пристроїв – дані про тиск та температуру парової та рідкої фаз, разом із інформацією про невизначеність цих параметрів. Поліметрична система на основі зіставлення та обробки усіх отриманих даних (треба відзначити, що частина даних може бути відсутня, наприклад про температуру середовища, або мати великий ступінь невизначеності) надає оцінки параметрів стану середовища –

рівень в ємності, тиск, температури шарів рідина та пари, об'єм, густину та масу продукту у резервуарі разом із даними про невизначеність цих оцінок. Окремо повинні бути отримані сигнали щодо граничних параметрів або попереджувальні сигнали на основі зіставлення технологічно-пов'язаних параметрів.

**Висновки.** Проведене узагальнення даних про діелектричну проникність аміаку як контрольованого продукту у широкому діапазоні температур та тиску як для рідкого так і для газового стану речовини. Отримані дані можуть бути використані для проведення корекції показів рівнемірів різних типів задля забезпечення контролю кількості аміаку у резервуарах та для використання у поліметричних системах - корекції результатів вимірювання та діагностування, зіставлення технологічно-пов'язаних параметрів, підвищення загального рівня безпеки. Разом з тим, залишається ряд перспективних та невирішених завдань: детальний аналіз похибок, що можуть виникати для рівнемірів даного типу внаслідок зміни характеристик парової та рідкої фаз; розробка алгоритмів корекції, що повинні враховувати не тільки моделі похибок, а й невизначеність оцінок вхідних параметрів та параметрів моделі, з метою прийняття рішень про доречність корекції та шляхи її реалізації.

#### Список літератури

1. Global Production Capacity of Ammonia 2018-2030, Published by Lucía Fernández, Sep 30, 2021 [URL], accessed 30.09.2021, <https://www.statista.com/statistics/1065865/ammonia-production-capacity-globally/>
2. Fertilizer Outlook 2017 – 2021, Production & International Trade and Agriculture Services, International Fertilizer Association (IFA)Public Summary, June 2017, 7pages.
3. A. Valera-Medina, H. Xiao, M. Owen-Jones, W. David and P. Bowen, "Ammonia for power," Progress in Energy and Combustion Science, vol. 69, pp. 63-102, 2018.
4. НПАОП 24.0-1.21-14 Правила безпечної експлуатації наземних складів синтетичного рідкого аміаку. Затверджено Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 24.10.2014, № 754.
5. Zhukov Yu. D. Zivenko O.V. Intelligent Polymetric Systems Industrial Applications / Proceedings of the 2nd International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems (ICTES 2020). Mykolaiv, Ukraine, 2020. pp. 122-137. DOI: <http://ceur-ws.org/Vol-2762/paper8.pdf>
6. Zhukov, Yu., Gordeev, B., Zivenko, A., Nakonechniy A.: Polymetric Sensing in Intelligent Systems. Chapter in the book [Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation](#). River Publishers 10, 211--232. (2015).
7. Zivenko O. Level measurement principles & sensors / A.V. Zivenko, A.G. Nakonechniy, D.Y. Motorkin // Materialy IX mezinarodni vedecko-prackticka conference "Veda a technologie: krok do budoucnosti - 2013". – Dil. 28. Technicke vedy. Prague - 2013. pp. 85-90.
8. Рівнемір для скраплених газів MIRA+ [URL] Amico Digital, accessed 01.10.2021, <https://digitalamico.com/level-sensor-lpg/>
9. Жуков Ю.Д. Методика коррекции показаний волноводных уровнемеров для сжиженного углеводородного газа [Текст] // Жуков Ю.Д., Зивенко А.В., Гудыма Е.А., Раева А.Н. / «Судостроение и морская инфраструктура», №2(12), 2019, 27-34. DOI: [https://doi.org/10.15589/smi2019.2\(12\).3](https://doi.org/10.15589/smi2019.2(12).3)
10. Keyes F.G., Kirkwood J.G. The dielectric constant of ammonia as a function of temperature and density // Phys. Rev. Vol. 36, №15, pp. 1570-1575.
11. Uhlig H.H., Kirkwood J.G., Keyes F.G. The dependence of the dielectric constant of gases on temperature and density // J. Chem. Phys., 1932, Vol. 54, №4, pp. 155-159.
12. Kirkwood J. G. The dielectric polarization of polar liquids. J. Chem. Phys.1939. Vol. 7.
13. Onsager, L. Electric moments of molecules in liquids. J. Am. Chem. Soc, 1936. Vol. 58.
14. Арефьев К.М., Мулев Ю.В., Беляева О.В., Заяц Т.А. Диэлектрическая проницаемость аммиака как рабочего тела холодильных установок [Текст] // Холод: техника и технологии, Вестник МАХ, №4, 2012, с. 45-49.
15. Watson H.E. The Dielectric Constants of Ammonia, Phosphine and Arsine // Proc. R. Soc. London. 1927, Series A. Vol. 117. №776. pp. 43-62.
16. Gerard Billaud, Antoine Demortier Dielectric Constant of Liquid Ammonia from -35 to +50 °C and its Influence on Association between Solvated Electrons and Cation [Text] The Journal of Physical Chemistry, vol. 79, # 26, 1975, pp. 3053-3055.
17. Perkyns, J. S., Kusalik, P. G. and Patey, G. N. (1986). "On The Dielectric Constant of Liquid Ammonia." Chemical Physics Letters, Vol. 129, No. 3: 258-261.
18. Arijit Bhattacharjee, Andreia Luis, João H. Santos, José A. Lopes-da-Silva, Mara G. Freire, Pedro J. Carvalho, João A.P. Coutinho Thermophysical properties of sulfonium- and ammonium-based ionic liquids, Fluid Phase Equilibria, Volume 381, 2014, Pages 36-45, ISSN 0378-3812, <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2014.08.005>.

Іванов С. Ю., Топалов А. М., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА “РОЗУМНИЙ БУДИНОК” НА ОСНОВІ ARDUINO

Інтелектуальне домашнє середовище – це середовище, яке намагається полегшити життя користувача різними способами та зробити його більш комфортним за допомогою технологій. Домашня автоматизація включає всі технології (електроніка, комп'ютери та телекомунікації), які дозволяють автоматизувати обладнання будинку (освітлення, опалення, жалюзі та сигналізацію), щоб покращити якість життя [1]. Домашня автоматизація має ряд переваг:

Захищає будинок за допомогою автоматичних дверних замків.

Додає безпеку за допомогою керування освітленням.

Економить гроші та збільшує зручність.

Підвищення енергоефективності вашого будинку, віддалено вимикаючи системи та прилади, коли вони не використовуються

Однією з найбільших прихованих переваг, які дає домашня автоматизація, є спокій. Можна будь-що ввімкнути та вимкнути, навіть не знаходячись вдома [2].

**Метою роботи** є аналіз сучасних систем автоматизованого управління будинком, та розробка власної системи на основі Arduino, яка забезпечить високу економічність, точність спрацювання та низьку собівартість.

Автоматизація робить будинок практичним та простим у використанні багатфункціональним комплексом, гармонійно та цілісно інтегруючи різні вузли: комунікації, кондиціонування, освітлення, безпеку, Інтернет тощо. Через це, виникає дуже сильний попит на даного роду пристрої. Розроблювана система вимірює: Температуру у приміщенні; Вологість; Включення або виключення кондиціонера; Наявність потопу; Освітлення.

Запропонована архітектура системи зображена на рис.1.

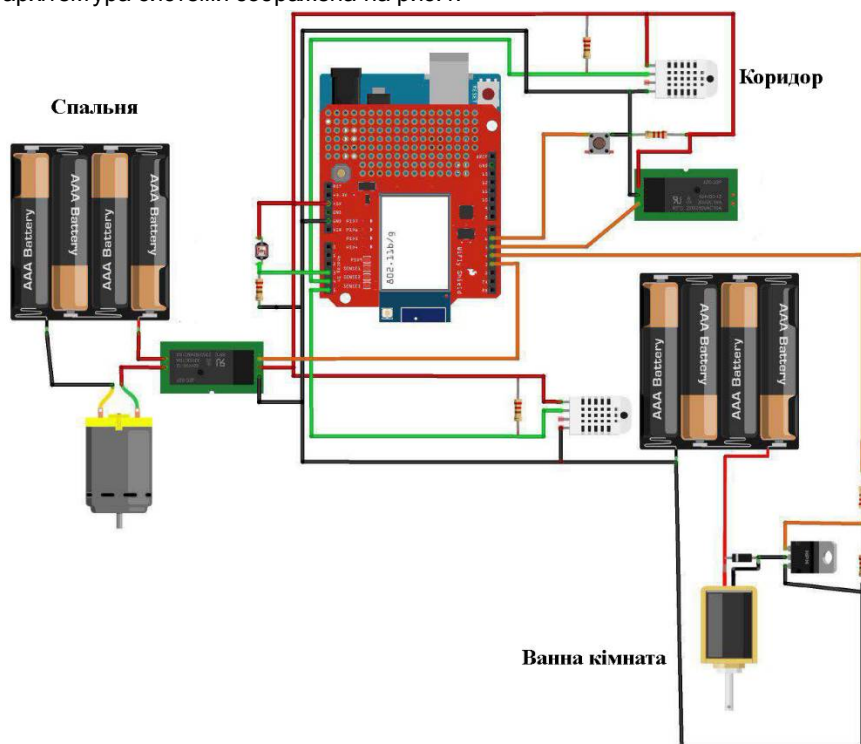


Рис.1 Схема автоматизованої системи

Всі апаратні пристрої були перевірені та протестовані, щоб переконатися, що всі пристрої знаходяться в ідеальній робочій ситуації. Після цього всі пристрої були протестовані окремо за допомогою мікроконтролера, щоб отримати необхідне програмне забезпечення в цій реалізації та легко виявити будь-яку помилку на кожному апаратному пристрої. Тестом було встановлено, що всі апаратні пристрої працюють нормально, після цього потрібно було з'єднати всі апаратні пристрої між собою і протестувати загальну систему [3].

Після тестування всієї системи, проведено тестування інших апаратних блоків, починаючи з сенсорних блоків: датчиків руху, світла, газу, полум'я та вологості; ці датчики є аналоговими, тому їх потрібно перетворити з аналогового в цифровий формат [4]. Схема інформаційних потоків системи зображена на рис.2

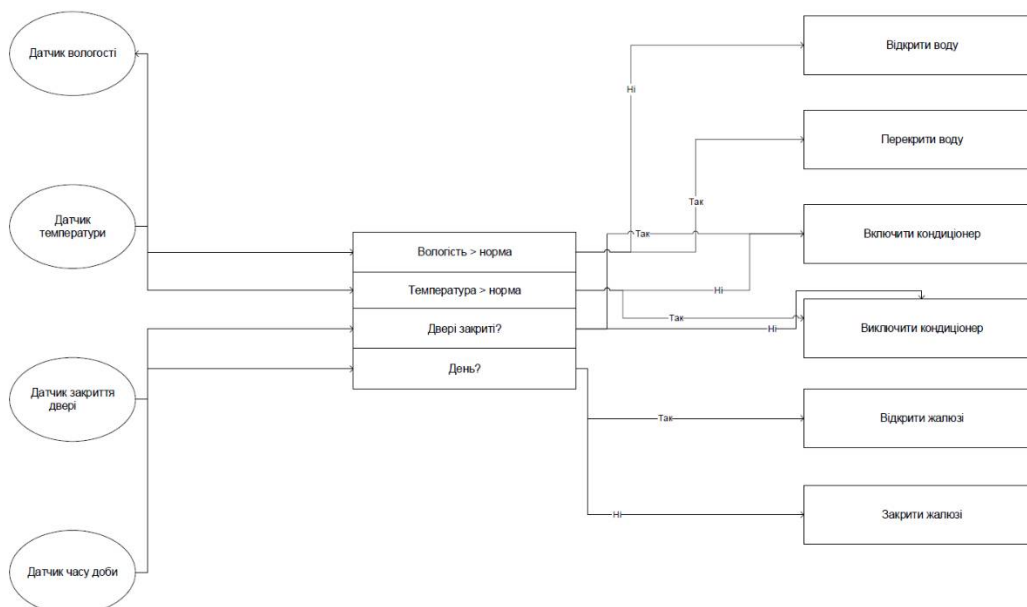


Рис.2 Схема інформаційних потоків системи

Програмне забезпечення веб-браузера персонального комп'ютера або будь-якого браузера смарт-пристроїв або програми Android [5] використовується для апаратної системи для здійснення контролю за моніторингом системи через Інтернет. Це програмне забезпечення було створено в середовищі Arduino IDE [6]. За допомогою цього програмного забезпечення власник може відслідковувати фактичне значення датчика, контролюючи електронні пристрої та бачити інформацію від мікроконтролера. Спочатку для входу на веб-сторінку програмному забезпеченню потрібно ввести ім'я користувача та пароль.

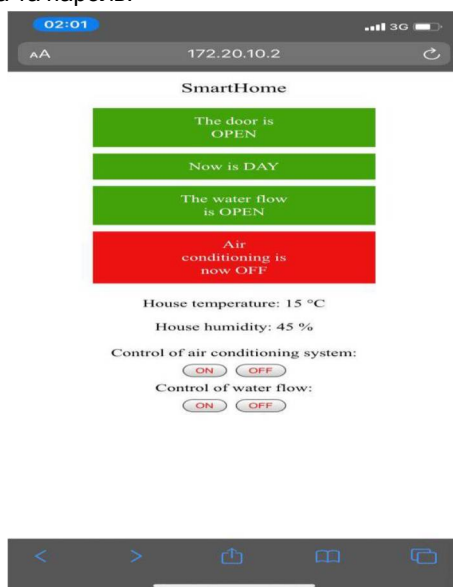


Рис.3 Скріншот розробленого веб додатку

Спроектвана остаточна версія схеми підключення датчиків, спроектований WEB додаток [7], наданий опис ключових бібліотек та функцій програмного коду. Наведено схему підключення кожного датчика до мікроконтролера. Зроблена система для управління кліматом. Протестована остаточна версія моделі.

**Висновки.** У цій роботі запропонована та реалізована архітектура для системи керування та моніторингу розумного будинку з використанням Arduino. Він дає основне уявлення про те, як керувати різними побутовими приладами та забезпечувати безпеку за допомогою Arduino Uno, керованого через веб сервер. Підключений локальний сервер також протестований, та показує стабільні результати. Створений WEB додаток для управління кліматом у домі.

Створена система протестована, та працює стабільно, також вона є хорошим конкурентом на ринку аналогічних пристроїв, вона являє собою гнучку, економічну та дистанційно керовану систему автоматизованого розумного будинку.

#### Список літератури

1. <https://www.smarthouse.ua/ua/umnyj-dom-inzhenernye-sistemy.html> - Автоматизация инженерных систем
2. <http://hifidom.com.ua/statii/smarthome/distcontrol> - Дистанційне керування
3. <https://itlogica.com.ua/uk/services/umnyj-dom/> - Установка і налаштування системи
4. <http://elektrik.info/main/praktika/1409-preobrazovanie-analogovogo-signal-a-v-cifrovoy.html> Преобразование аналогового сигнала в цифровой
5. R. Piyare and M. Tazil, "Bluetooth based home automation system using cell phone," in 2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), 2011, pp. 192–195.
6. S. Kumar and S. R. Lee, "Android based smart home system with control via Bluetooth and internet connectivity," in The 18th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2014), 2014, pp. 1–2.
7. J. Potts and S. Sukittanon, "Exploiting Bluetooth on Android mobile devices for home security application," in 2012 Proceedings of IEEE Southeastcon, 2012, pp. 1–4.

#### УДК 004.9

Вінниченко І.Л., к.т.н., Запов Є.О.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### КРОСПЛАТФОРМЕННИЙ МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДОСТУПУ КОРИСТУВАЧІВ ДО ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

**Метою роботи** є огляд можливостей для створення мобільного додатку, проаналізовано переваги та недоліки мов програмування, фреймворків та платформ. Проведено порівняльний аналіз згаданих середовищ. Представлена розробка кросплатформового мобільного додатку для забезпечення автоматизованого доступу користувачів до локальної мережі.

Сучасний будинок містить безліч електронних гаджетів. Більшість з них достатньо розумні, щоб взаємодіяти зі складними структурами даних. Що безповоротно веде до підключення гаджету в мережу інтернет.

Провідне підключення застаріло. З прогресом девайси стають все більш компактними і будь-які провідні з'єднання повністю анулюють всі переваги портативності, перетворюючи невеликий девайс в повністю стаціонарний гаджет. Це причина, за якої, на даний момент, вайфай є в кожному будинку. Але процес підключення до вайфаю нових користувачів перетворюється в рутинне зайняття з введенням не завжди зрозумілих даних. Таким чином питання автоматизації цього процесу є доволі актуальним.

#### Результати дослідження

Наразі кожен замовник, при розробці мобільного застосунку має два доволі прості варіанти, котрі ми розберемо більш детально: розробка окремих native застосунків для Android и iOS або розробка кросплатформового застосунку, який працює одночасно на тій і іншій платформі.

#### Розробка нативних додатків

Такі додатки створюються з використанням мов програмування та інструментів, які є специфічними для певної платформи. Наприклад, для розробки нативної програми на Android може бути використано Java або Kotlin, а для розробки на iOS: Swift и Objective-C.

Загально відомо, що нативні застосунки забезпечують відмінний досвід користувача, тому що мають високу продуктивність і ближче пов'язані з можливостями кожної ОС, а відповідно hardware, що за ними стоїть. Користувацький досвід також поліпшується, оскільки візуальні елементи адаптуються до UX платформи. І з цього виходить, що нативні застосунки мають ліпшу SEO оптимізацію, а відповідно займають вищі рейтинги в магазинах мобільних додатків.

Але, все ж, це окремі мови і екосистеми. Це розмеження призводить до створення двох кодових баз, отже підтримка кожної платформи це підтримка окремого застосунку, зі своєю реалізацією і нюансами мов програмування.

Зазвичай рішення створити застосунок таким чином приймається при наявності широкого штату розробників, де Swift розробники відповідають за iOS застосунок, а Kotlin розробники за Android застосунок.

Ось і головна проблема цього підходу: велика кодова база, складність в опануванні декількох мов програмування, що значно ускладнює розробку застосунків, а підтримку однією людиною, при розростанні проекту й надмірному ускладненню архітектури, робить зовсім неможливою.

### Кросплатформова розробка

Кросплатформова розробка вказує на процес створення програми, яка працює на кількох платформах. Це робиться за допомогою таких інструментів, як React Native, Cordova і Flutter, де створені програми можна розгорнути як на Android, так і на iOS.

Перед вибором цього шляху потрібно явно розуміти межі функціональності, що надає той чи інший інструмент. Можливо, планований додаток має використовувати API геолокації, щоб визначати актуальне місце розташування користувача для подальшої обробки, але жоден інструмент не дозволяє використовувати вибраний функціонал в повній мірі. В такому випадку єдиним рішенням буде розробка нативного додатку. Якщо ж при вивченні екосистеми фреймворку не було виявлено подібних проблем – кросплатформова розробка стане чудовим рішенням.

Також, одним із бенефітів цього шляху є значно простіше тестування. Причина цього, в тому числі, значно менша кодова база. Відсутність потреби створення специфічних тестів під кожен ОС призводить до пришвидшення розробки застосунку.

**В результаті проведеного дослідження** було обрано кросплатформову розробку.

### Кросплатформові інструменти для мобільної розробки

Ринок фреймворків для мобільної розробки наповнений різноманітними рішеннями, що пропонують свої варіанти для побудови інтерфейсів і взаємодії з native API. Серед найпопулярніших: Flutter, React Native, Cordova, Ionic, Xamarin.

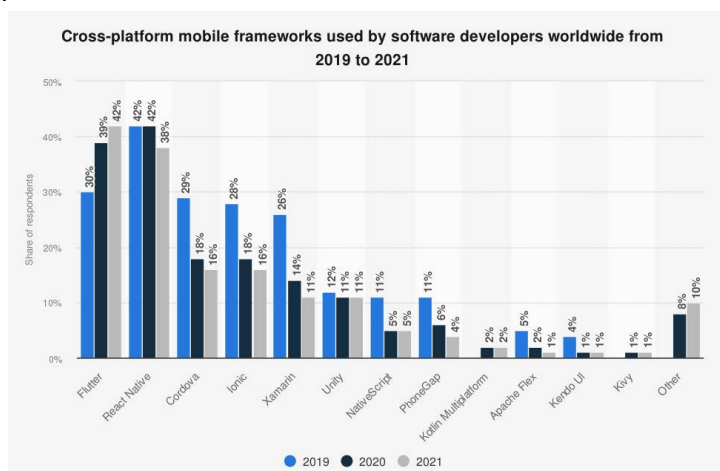


Рисунок 1 – Статистика актуальності кросплатформових фреймворків

Порівняємо двох головних мастодонтів кросплатформової розробки, а саме: React Native и Flutter.

Оскільки кросплатформові технології служать для декількох платформ, ми порівняємо їх продуктивність для настільних, веб-застосунків а також мобільних додатків окремо. Мова програмування Flutter – Dart, а React Native – JavaScript.

Dart розробляється компанією Google й позиціонується як мова структурованого програмування для Web. Але в 2015 році Google оновила стратегію розвитку мови, а саме, не прив'язувати її до браузеру, тобто не інтегрувати віртуальну машину Dart до Chrome. За цією стратегією Dart буде компілюватися в JavaScript.

Розробка Dart VM все таки продовжилась, але від того моменту віртуальна машина Dart позиціонується в основному для серверних і мобільних застосунків.

Dart має подібний до Java синтаксис. Для запуску всередині браузера, код мовою програмування Dart може бути перетворений в JavaScript або запущений безпосередньо під управлінням спеціального JavaScript-інтерпретатора Dartboard. Підтримується вбудовування коду мовою Dart в HTML-сторінки, використовуючи MIME тип "application/dart". Має не обов'язкову типізацію, котру можна використовувати при потребі. Виконується в рамках одного потоку. Для розпаралелювання використовуються спеціалізовані класи.

В Dart SDK включається компілятор dart2js, віртуальна машина Dart VM, пакетний менеджер pub, статичний аналізатор коду dart\_analyzer, і набір бібліотек. Для виконання і відлагодження застосунків на мові Dart, без компіляції в JavaScript, поширюється Dartium – симбіоз Chromium з інтегрованою віртуальною машиною Dart VM.

JavaScript це реалізація стандарту ECMAScript. Він має низку властивостей об'єктно-орієнтованої мови, але завдяки концепції прототипів підтримка об'єктів в ній не відрізняється від традиційних мов ООП. Крім того, JavaScript має кілька властивостей, притаманних функціональним мовам, – функції як об'єкти першого порядку, об'єкти як списки, каррінг, анонімні функції, замикання – що додає мові додаткову гнучкість.

JavaScript містить декілька десятків вбудованих об'єктів, які поділяються на групи: фундаментальні (Object, Function, Boolean, Symbol), помилки (група об'єктів Error), числа та дати (Number, BigInt, Math Date), текстові (String, RegExp), індексовані (група об'єктів Array), ключові (Map, Set, WeakMap, WeakSet), для роботи з структурованими даними (ArrayBuffer, Atomics, DataView, JSON), абстрактні (Promise, Generator), рефлексійні (Reflect, Proxy), групи Intl та WebAssembly. Крім того, JavaScript містить набір вбудованих операцій, що керують логікою виконання програм.

Таблиця 1 – Порівняння продуктивності Dart и JavaScript на комп'ютері

| Тип програмної задачі для тесту                                                      | Час виконання (сек)*      |                | Використовувана пам'ять (Кб)* |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|                                                                                      | JavaScript (React Native) | Dart (Flutter) | JavaScript (React Native)     | Dart (Flutter) |
| Генерація чисел $\pi$ з арифметикою довільної точності                               | 6                         | 3              | 67                            | 150            |
| Керування послідовностями ДНК, використовуючи ідентичні алгоритми регулярних виразів | 5                         | 5              | 1'160                         | 884            |
| Продовження таблиці 1                                                                |                           |                |                               |                |
| Визначення координат планет в імітованій сонячній системі                            | 9                         | 9              | 35                            | 125            |
| Зчитування послідовності ДНК й запис їх зворотного значення                          | 2                         | 42             | 1'525                         | 6'600          |
| Індексований доступ до дуже малої цілочислової послідовності                         | 12                        | 60             | 63                            | 116            |
| Вирішення набору із десяти задач числового аналізу                                   | 2                         | 6              | 64                            | 124            |
| Зобразити множество Мендельброта і написати вихідний файл в спеціальному форматі     | 4                         | 12             | 93                            | 228            |
| Згенерувати й записати довільну послідовність ДНК                                    | 2                         | 6              | 71                            | 159            |
| Накопичувати лічильники та оновити їх значення з допомогою хеша                      | 16                        | 24             | 393                           | 526            |
| Виділити та звільнити багато бінарних дерев                                          | 7                         | 10             | 1'310                         | 694            |

Отже, в семи із десяти випадків JavaScript виконується швидше, при меншому використанні пам'яті. В цьому порівнянні JavaScript більш ресурсо-ефективний і продуктивний для комп'ютерів, серверного програмування, і інших моментів, для котрих він створений.

Таблиця 2 – Порівняння продуктивності Dart и JavaScript на мобільних пристроях

| Тип програмної задачі для тесту                                     | iOS (мсек)   |         |        | Android (мсек) |         |        |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|---------|--------|----------------|---------|--------|
|                                                                     | React Native | Flutter | Native | React Native   | Flutter | Native |
| Тест процесора з допомогою алгоритму Борвейна                       | 582          | 180     | 26     | 822            | 285     | 144    |
| Тест використання пам'яті з використанням алгоритму Гаусса-Лежандра | 2'992        | 189     | 173    | 3'289          | 273     | 223    |

**На стільки значна різниця результатів обумовлена декількома причинами:**

– Продуктивність рендеру

React Native використовую Native Views и передає івенти через JavaScript. Це напряду впливає на продуктивність рівня уявлення, хоча і не є проблемою для досягнення шістдесяти фпс.

Flutter же використовує власний 2D-движок Skia, не маючи ніякого спеціального з'єднання між вью-елементами і іншим кодом. Це робить рендер доволі швидким.

– Час запуску

React Native має певну проблему з цим, адже він має завантажити віртуальну машину JavaScript, після чого сам JavaScript код. Але і ця проблема не є значною, адже всі версії React Native мають підтримку Hermes: віртуальної машини JavaScript, що призначена для швидкого завантаження.

В свій час Flutter також мав цю проблему, але вдало вирішив її в відносно нових версіях.

**Керування залежностями** також є важливим аспектом для розробки кросплатформових застосунків, котре в React Native представлене в виді пакетного менеджера NPM або Yarn. Залежності, котрі потребують код на Kotlin / Java / Swift / Objective-C зв'язані за допомогою модулів gradle і пакетів CocoaPods. React Native включає функцію автоматичної лінковки, що дозволяє запобігти мануальній зміні файлів gradle и Podfile.

В Flutter використовується менеджер dart, також відомий як інструмент pub, пакети котрого поставляються в виді вихідного коду і компілюються разом з основним застосунком. Як і React Native, ці пакети можуть мати власні залежності, але в цьому випадку може знадобитися вручну додати ці залежності в файли gradle и Podspec.

**Наявність бібліотек і віджетів** в React Native і Flutter також не однорідна. React Native присутній на ринку вже більше 5 років і має в своєму розпорядженні тонни бібліотек для різних випадків, починаючи з push-повідомлень, відтворення відео та компонентів матеріалів, закінчуючи камерою та інтеграціями Apple HealthKit та Google Fit. Також значним плюсом є можливість використовувати бібліотеки, створені для React, наприклад Redux або axios, або використовувати бенефіти прогресуючого React, такі як React Hooks. Не варто забувати, що React Native має широкий асортимент компонентів користувацького інтерфейсу, представлений різними календарями, кнопками, date picker-ами та багатьом іншим. В ситуації з Flutter все трошки гірше. Уже існують певні рішення для навігації, слайдерів, компонентів користувацького інтерфейсу, інтеграцій і іншого. Але багато можливостей все ще залишаються на базовому рівні. Це також зв'язано з тим, що Dart майже не використовується за межами Flutter. Також цей фреймворк не базується на базі іншої бібліотеки, що сприяло би розвитку його функціоналу.

**Тестування** розподіляється на Unit-тести, тести компонентів та e2e тести. Unit-тести в React Native представлені в виді бібліотеки Jest, котра надає доволі широкий простір для різних видів тестування, в том числі й тестування компонентів. В Flutter альтернативою є Flutter-тест, що не здає позицій перед конкурентом. В питанні тесту компонентів обі бібліотеки мають майже ідентичні рішення, так що порівняння не доцільне. В плані e2e тестування React Native використовує бібліотеку Detox, Flutter же має інтегроване рішення для e2e тестування.

#### **Досвід розробника**

React Native має функцію fast refresh, коли Flutter має функцію швидкого завантаження, ці функції дозволяють моментально відображати зміни коду на симуляторі, емуляторі або смартфоні, це доволі сильно скорочує процес розробки і скорочує процес зворотного зв'язку до нуля, на відміну від нативної розробки. Сучасні IDE надають можливості для запуску і відладки коду, запуску тестів і автозаповнення.

#### **Можливості взаємодії з мережею**

React Native працює з базовим протоколом http(s) з поліфілом fetch, вбудованою підтримкою WebSocket, axios и rn-fetch-blob. Більша частина цього достатку прийшла в React Native як наслідок використання JavaScript. По цій же причині, React Native може парсити json без додаткових навантажень і бібліотек.

Flutter же має підтримку http(s) и WebSocket. Має доволі сиру бібліотеку axios, випущену в березні 2021 року. Парсинг json в Flutter потрібно робити вручну

#### **Медіаможливості**

React Native підтримує запис та відтворення аудіо і відео. Має підтримку відео в різних форматах, наприклад: ExoPlayer (Android) і AVPlayer (iOS). Також надає можливість взаємодії з елементами керування для пошуку, відтворення, редагування та іншого. Дозволяє відображати субтитри, SRT та VTT без додаткових залежностей. Більшість згаданого функціоналу поставляються з такими компонентами, як react-native-video, react-native-video-controls та багатьма іншими.

Флатер має пакет video\_player для відтворення відео, версія котрого, лише в минулому році, досягла 1.0. Він активно розвивається, хоча й є досить сирим навіть на наявній версії 2.2.6. Також, для елементів керування може використовуватися залежність chewie.

**Висновок аналізу фреймворків.** Хоча Flutter й робить значні кроки на шляху свого вдосконалення, він до цих пір є доволі сирим й через свою незрілість може призвести до проблем при розробці. React Native, в свою чергу, сформував досить широке коло можливостей й підтримується відразу декількома спільнотами. Це основна причина, через яку, ринок програмістів на Flutter поповнюється доволі повільно, хоча кросплатформенні додатки на Flutter й показують вищу продуктивність. За результатами проведеного дослідження для розробки було обрано платформу React Native.

**Розглянемо додатки,** що мають схожі властивості до тих, що плановано відтворити. Наразі існує досить багато подібних застосунків (рис. 2).

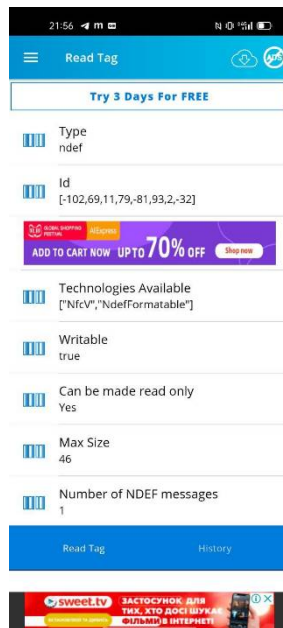


Рисунок 2 – Додаток для взаємодії з NFC марками

Це меню бачить користувач, як тільки входить до додатку, що відразу збиває з пантелику рядового користувача різноманіттю полей і інформації, що, частіше за все, навіть і не знадобиться. Також більшість таких застосунків має значну проблему з інтеграцією реклами. Той-же застосунок, при вході, показує неймовірно настирливу рекламу (рис.3).



Рисунок 3 – Привітальна реклама додатку

В додаток до цих проблем, застосунок має проблему з головною функцією, для котрої й був створений. А саме помилки зчитування й запису, котрі більш ніж очікувані. Але інформування користувача, далекого від програмування, про ту чи іншу помилку, бажає кращого, адже не надає ніякого контексту формування помилки, не відповідає користувачеві на питання: "що я зробив невірно?", "що сталося під час читання/запису NFC марки" і "як виправити ситуацію, щоб в наступний раз процес пішов по плану?".

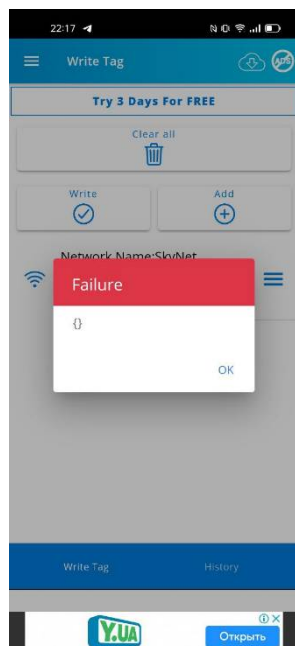
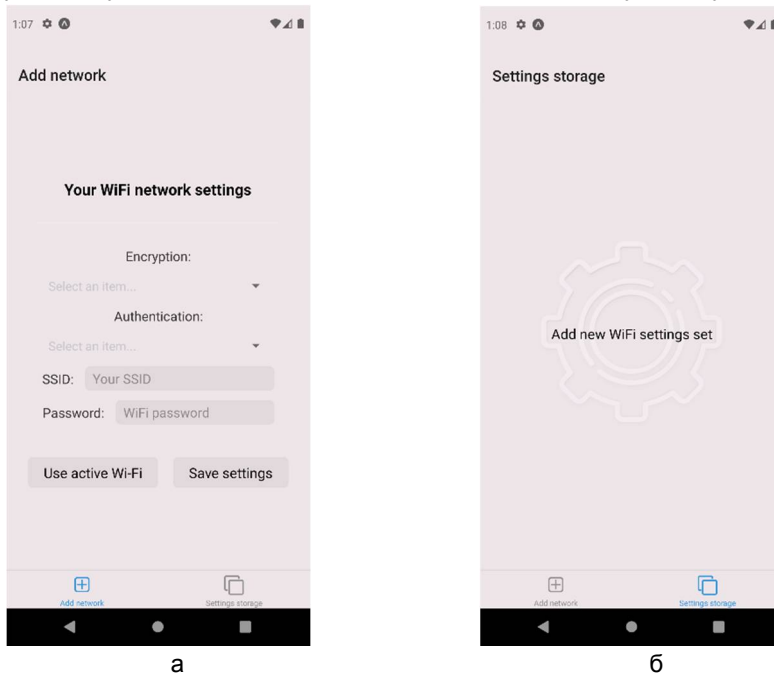


Рисунок 4 – Помилка зчитування NFC марки

В маркеті повністю відсутні спеціалізовані додатки. Кожен з них навантажений різноманітним фіч, полей, інформації, отже якщо користувачу потрібно функціоналу на один мегабайт, він все одно буде зобов'язаний завантажувати всі двадцять мегабайт застосунку й розбиратися з нагромадженим інтерфейсом.

**В даній роботі буде розроблено** мобільний додаток для зчитування та запису інформації до NFC марок, взаємодії з мережею WiFi за допомогою останніх. Даний додаток повинен містити інформацію для створених налаштувань WiFi в певному місці. За основу буде взято бібліотеку React Native, на якій буде створено лицьову сторону та роутинг додатку. Для взаємодії з технологією NFC та WiFi будуть використовуватись допоміжні інструменти й бібліотеки екосистеми React Native.

Додаток матиме наступний вигляд (рис. 5,а). Головним функціоналом буде запис налаштувань мережі WiFi, додання його до списку налаштувань мереж, (рис. 5,б) для подальшого запису, редагування чи видалення.



а

б

Рисунок 5 – Розроблюваний застосунок

а – форма створення й додавання налаштувань мережі WiFi

б – вкладка для списку налаштувань мереж WiFi

Також користувач не буде обмежений в можливості зчитуванні NFC марки окремою вкладкою. При будь-якому стані застосунку користувач матиме змогу зчитати NFC, після чого застосунок зобов'язаний під'єднати його до мережі вайфай.

**Висновки.** В цій статті було розглянуто підходи до сучасної мобільної розробки, описано випадки використання та основні технології, які використовуються при створенні мобільних додатків. Описано переваги та недоліки розглянутих інструментів для кросплатформової розробки й додатків, що розширюють їх можливості. Проведена аналіз існуючих мобільних застосунків, що надають подібних можливостей по взаємодії з окремими частинами нативного API. Описано додаток, що розроблюється, призначений для автоматизованого доступу користувачів до локальної мережі.

#### Список використаних джерел

1. Фленаган Д. JavaScript. Полное руководство.:Пер. с англ. – К.: "ДМК Пресс", 2021. 722с.
2. Закас Н. JavaScript. Оптимизация производительности.:Пер. с англ. – К.: "Символ-Плюс", 2012. 256с.
3. Баккет К. Dart в действии.: Пер. с англ. – К.: "ДМК Пресс", 2013. 528с.
4. Mitchell D., Akopkokhyants S., Balbaert I. Dart: Scalable Application Development. – Birmingham: Packt Publishing, 2017. – 1297 p.
5. Eisenman B. Learning React Native: Building Native Mobile Apps with JavaScript. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2017. – 242 p.
6. Scott A. JavaScript Everywhere: Building Cross-Platform Applications with GraphQL, React, React Native, and Electron. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. – 300 p.
7. Заметти Ф. Книга Flutter на практике. Прокачиваем навыки мобильной разработки с помощью открытого фреймворка от Google.; Пер. с англ. – К.: "ДМК Пресс", 2020. 328с.
8. Мартин Р. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. – СПб.: Питер, 2019. – 464 с.: ил.
9. Макконелл С. Совершенный код. Мастер-класс / Пер. с англ. – М.: Издательство "Русская редакция", 2010. – 896 с.: ил.
10. Фримен Э., Робсон Э., Сьерра К., Бейтс Б.Х99 Head First. Паттерны проектирования. Обновленное юбилейное издание. – СПб.: Питер, 2018. – 656 с.: ил.

## СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК 004.72

Доманський О.Ю., студент, Жук О. К., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### БЕЗПРОВІДНА ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНА СИГНАЛІЗАЦІЯ

Мікроелектроніка є дуже прибутковою галуззю сучасної промисловості. Позиція держави у світовій економіці значною мірою визначається розвитком мікроелектронної промисловості. Її продукти використовуються в усіх інших сферах професійної діяльності людини.

Для виготовлення конкурентних обчислювальних пристроїв необхідна наявність дорогої апаратури в поєднанні з висококваліфікованими спеціалістами. Велике число компаній, керівники яких розуміють, що неможливо наздогнати монополістів виробництва мікроелектронних приладів за сучасними технологічними процесами, переорієнтувалися на виробництво силових напівпровідникових приборів.

Якщо немає можливості розробляти і виробляти напівпровідникову продукцію, необхідно принаймні використовувати її.

Питання захисту приватної власності ніколи і ніде не втрачало своєї актуальності. В розвинених країнах Заходу зловмисники рідше посягають на майно «простих людей», але в Україні маргінали не гребують крадіжками будь-чого, що можна здати на метал. Окрім крадіїв, завдати шкоди власності можуть вандали.

**Мета роботи:** розробити безпроводну енергоефективну сигналізацію, призначену для охорони приватної власності у віддалених від міста населених пунктах, де відсутнє покриття стільникових операторів, а також можуть відбуватися довготривалі відключення електроенергії. Сигналізація повинна повідомляти про проникнення на пункт охорони, а також здійснювати світло-звукове сповіщення.

**Огляд наявних рішень.** Існують охоронні системи, у яких для передачі інформації про проникнення зловмисника використовується технологія LoRa. Переваги технології такі: низьке енергоспоживання, велика дальність передачі, висока завадостійкість. Головним недоліком усіх наявних охоронних систем є їх висока вартість, що обмежує сферу їх використання.

**Огляд розробленої системи.** Окрім виконання своєї основної функції, сигналізація також дозволяє з пункту охорони контролювати стани датчиків на об'єкті та управляти цифровими виходами. Встановлені вимоги до сигналізації: її робота не має залежати від покриття стільникових операторів; працездатність має підтримуватися впродовж тривалого часу за відсутності напруги в мережі; не має потребувати додаткової апаратури чи специфічного стороннього ПЗ; має бути надійною і захищеною від втручання зловмисників, дешевою, простою у використанні, функціональною і гнучкою у налаштуванні.

Структура системи наведена на рис. 1.

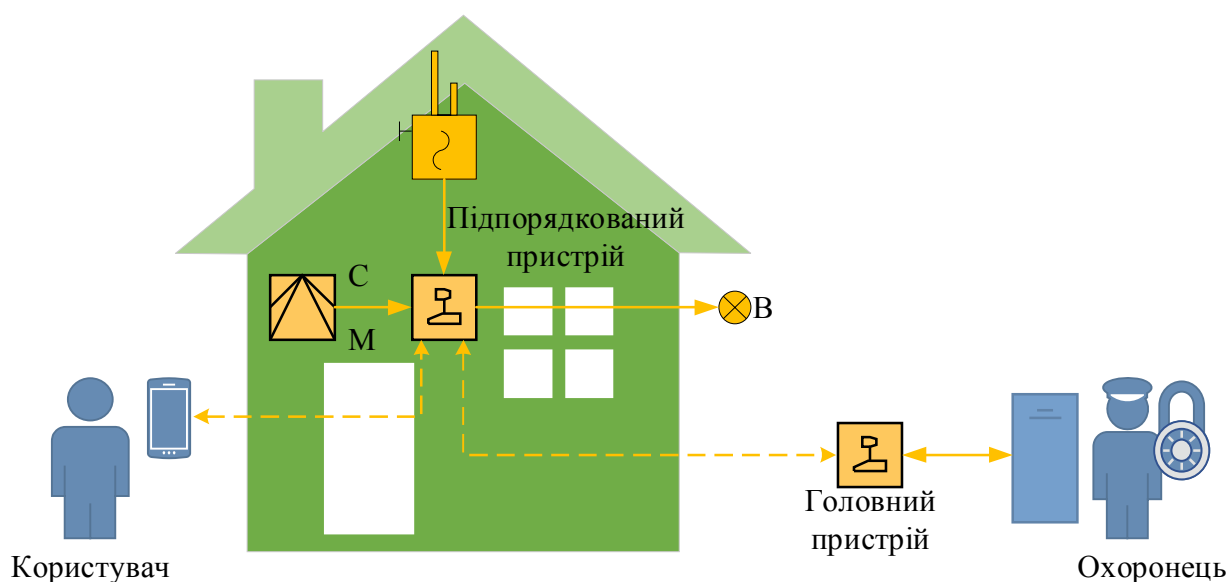


Рис. 1. Структура системи

Розроблені такі елементи системи: головний пристрій і програма для нього, підпорядкований пристрій і програма для нього, програма з ГІК для комп'ютера, протокол зв'язку між елементами системи.

Досліджені і використані у розробці засоби захисту інформації у безпроводних мережах, способи апаратної генерації випадкових чисел.

Підпорядкований пристрій виконує такі функції: перевірка стану цифрових і аналогових датчиків, виявлення проникнення й інших подій; передавання інформації про події на пункт охорони; надання відповідей на запити головного пристрою; перевірка працездатності підпорядкованого пристрою (перевірка заряду акумулятору); вимкнення сигналізації за командою користувача; взаємодія з ГІК (зміна налаштувань, у тому числі пароллю для зняття з сигналізації).

До складу підпорядкованого пристрою входять: плата з мікроконтролером STM32F103C8 [1],[2], передавач E32-868T20D на базі модему SX1276, Bluetooth модуль AT-09, 2 літєві батареї з контролером заряду.

Головний пристрій виконує такі функції: отримання інформації про спрацювання сигналізації від багатьох об'єктів та передавання цієї інформації у ГІК; періодичне опитування підпорядкованих пристроїв; відправлення команд на керування виходами; генерація і зберігання ключів шифрування; взаємодія з ГІК.

До складу головного пристрою входять: плата з STM32F407VE [3],[4] і мікросхемою flash пам'яті W25Q16BV, E32-868T20D, USB-TTL перетворювач.

Програми для мікроконтролерів написані на МП Сі з використанням регістрів і бібліотек HAL, CMSIS, а також ПЗ STM32CubeMX і середовища розробки STM32CubeIDE.

Програма для комп'ютеру написана на мові Сі++, використовує бібліотеку Qt [5]. Програма забезпечує взаємодію користувача з головним та підпорядкованим пристроями, інтерпретацію отриманих від «заліза» даних. Програма призначена для відображення станів датчиків на об'єктах і повідомлення про спрацювання сигналізації; ведення журналу спрацювань; зміни налаштувань передавачів, зміни пароллю і ключів шифрування; додавання і видалення підохоронних об'єктів (підпорядкованих пристроїв); відправка у головний пристрій команд на запит станів цифрових та аналогових датчиків, підключених до підпорядкованого пристрою, в тому числі стану акумулятору; управління цифровими виходами підпорядкованого пристрою; встановлення періоду автоматичного опитування підпорядкованих пристроїв головним; зміна списку підключених входів і виходів (з метою енергозбереження); завантаження дати і часу у годинник реального часу мікроконтролерів (для виявлення тимчасового вимкнення пристроїв злоумисниками).

Захист інформації у системі здійснюється шифром AES-128 у режимі CBC і кодом автентифікації HMAC на основі хеш-функції SHA-256. Використана бібліотека STM32 Cryptographic Library.

Досліджені способи апаратної генерації випадкових чисел: схеми на основі стабілітронів і операційних підсилювачів, де джерелом випадковості є тепловий шум напруги на стабілітроні. Усупереч доказам їх розробників, схеми виявилися не робочими. Використані 2 різних генератори: криптографічний генератор випадкових чисел RNG у STM32F4, RNG використовується для генерації ключів шифрування; призначений не для захисту інформації, а для запобігання колізій, генератор на шумі 12-розрядного АЦП мікроконтролера, доповнений алгоритмом Фібоначчі з запізненням  $a = 17$ ,  $b = 5$ . Проведена оцінка результатів роботи цих генераторів графічним методом при різному числі вибірок  $N$  (рис. 2, 3, 4). Для цього написана відповідна програма на Qt.

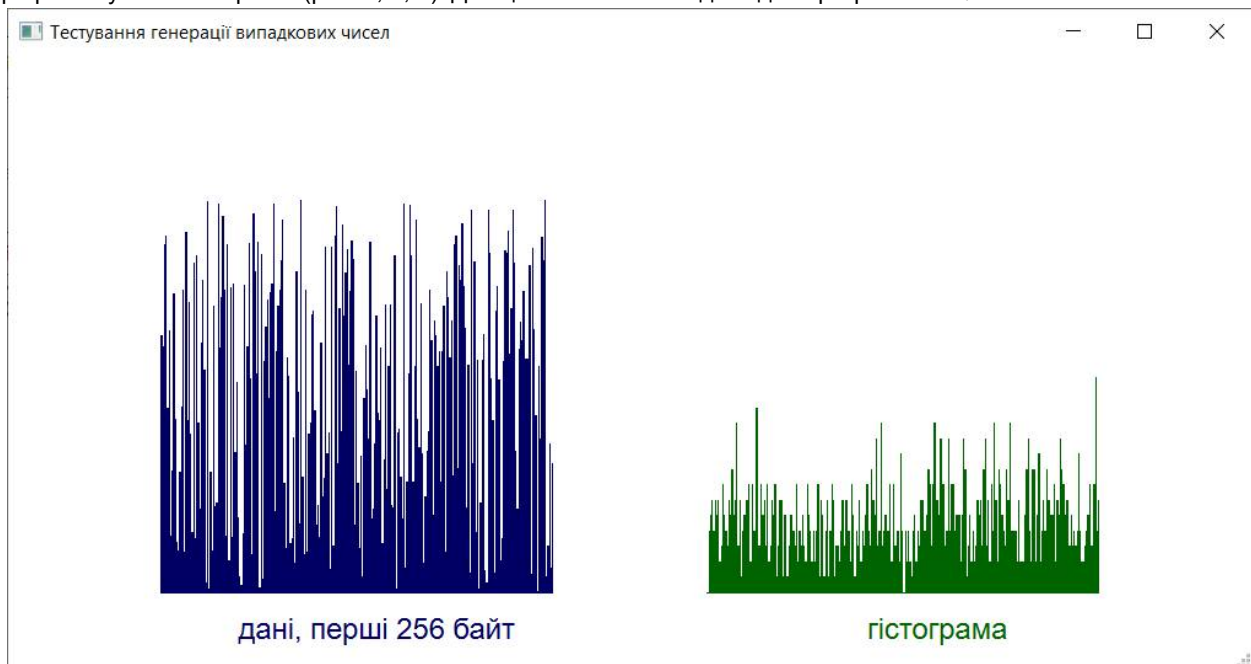


Рис. 2. Результат роботи генератору на шумі АЦП + метод Фібоначчі при  $N = 1280$

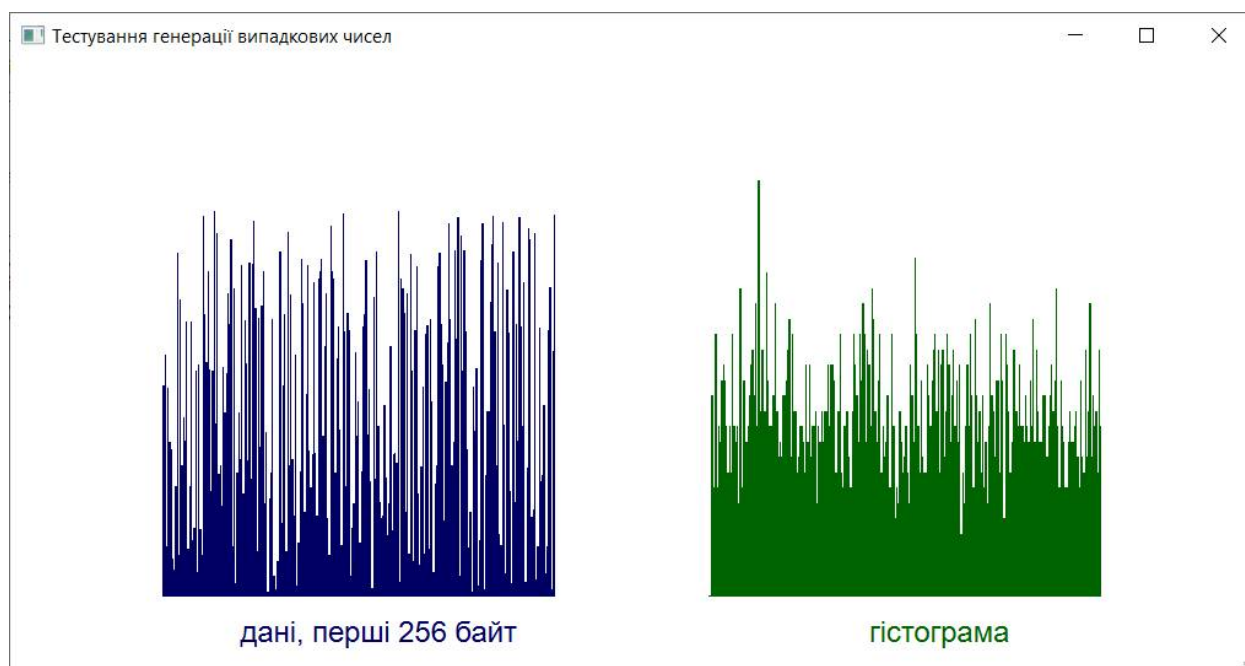
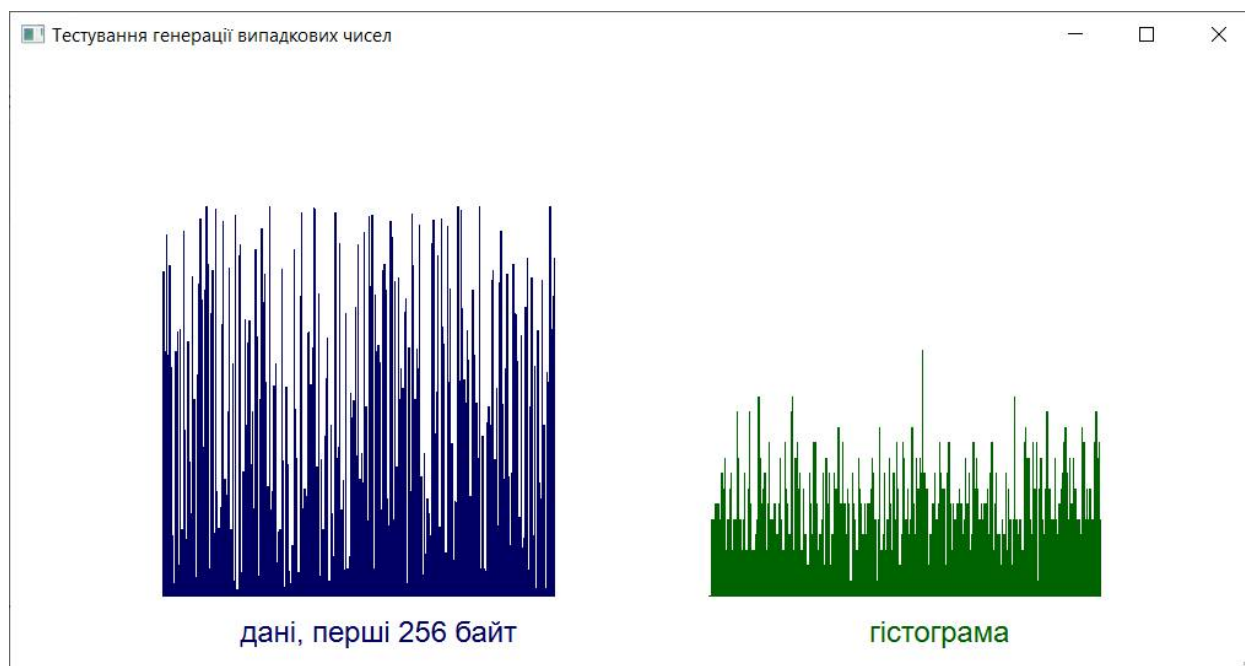
Рис. 3. Результат роботи генератору на шумі АЦП + метод Фібоначчі при  $N = 3200$ 

Рис. 4. Результат роботи RNG у STM32F4 послідовності з 1600 байт

З незначною перевагою у категорії «випадковість» перемагає RNG.

**Висновки.** Розроблена захищена енергоефективна сигналізація, що використовує перспективну технологію LoRa, і сучасну елементну базу. Хоча дачний кооператив не вичерпує можливостей системи, завдяки своїй дешевизні сигналізація може бути використана на дачах, і цим визначається її велика практична цінність. Система може бути покращена у таких напрямках: відмова від «модульності», розробка друкованих плат; перехід на більш відповідну до визначених вимог елементну базу (STM32L0/L4/WB/WL замість STM32F1/F4, SX1276 замість E32-868T20D, NFC замість Bluetooth, призначені для зберігання ключів шифрування мікросхеми пам'яті) в зв'язку з відмовою від модульності; перехід до використання досконалого протоколу LoRaWAN (у зв'язку зі зміною передатчиків); використання USB замість UART для з'єднання пристроїв з комп'ютером; використання баз даних у програмі для ПК.

**Список використаних джерел**

1. STM32F103xx reference manual rev.21. – STMicroelectronics, 2021. 1136 с.
2. STM32F103x8 datasheet rev.17. – STMicroelectronics, 2015. 117 с.
3. STM32F405xx/07xx reference manual rev.19. – STMicroelectronics, 2021. 1751 с.
4. STM32F407xx datasheet rev.9. – STMicroelectronics, 2020. 203 с.
5. Шлее М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. 1072 с.

**УДК 681.326.7**

*Батченко В.О., Гайдай Г.Ю. к.т.н.*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

**МОБІЛЬНИЙ КАБЕЛЬНИЙ ТЕСТЕР З ПЛАВАЮЧОЮ КІЛЬКІСТЮ ЖИЛ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА**

В останній час технології зробили великий крок вперед, але інструмент для перевірки кабелів залишається усе таким же необхідним для інженера будь-якої спеціалізації для оперативного знаходження несправностей. Така необхідність у тестерах будь-якого роду виникає у людей, у тому числі неспеціалістів, через все зростаючу електроенергетичну інфраструктуру, що їх оточує.

У базовій комплектації кабельні тестери складаються з двох модулів – приймального модуля (приймач) і передавального модуля (передавач). Передавальний модуль передає сигнал по жилах кабелю, приймальний - його отримує, інтерпретує та відображає результати перевірки. Передавач і приймач мають у основі своєї структури мікроконтролери, виходи для їх програмування, світлодіоди для індикації під час роботи, виходи до жил кабелю. Індикація в найпростіших моделях здійснюється за допомогою світлодіодів.

Деякі кабельні тестери виділяються змогою тестувати кабелі без передавача, а інші використовують приймач для безконтактного зняття показань з кабелю за рахунок зчитування антеною електромагнітного поля, що утворюється при протіканні через кабель струму. І навіть проводити струм у кабелі можна не напряму, а за допомогою електромагнітного поля, що повинно бути зручним за умови недопустимості розриву кабелю. Для того щоб знайти прихований, наприклад, в стіні кабель, можна скористатися функцією трасошукача. Але більшість із цих функцій стосується лише кабелів витой пари.

**Метою роботи** є розробка кабельного тестеру, який можна застосовувати для перевірки багатожильних, з різною кількістю жил (до 22-х жил включно), кабелів. Цей прилад має виступати як самодостатній мобільний базовий кабельний тестер із специфічним функціоналом, а також одним з приладів, що можуть надати підґрунтя для подальшої автоматизації процесів перевірки на підприємстві, виступаючи як датчик, показання котрого отримуються, аналізуються і використовуються керуючою або відстежуючою автоматичною або автоматизованою комп'ютерною системою.

Ця можливість є суттєвою, оскільки значно зменшить кількість аварій та нещасних випадків на підприємстві, витрати часу, зусиль персоналу та матеріальних ресурсів на регулярну перевірку кабелів.

**Аналіз загальних особливостей побудови спільних для передавача та приймача елементів принципової схеми**

Живитися обидві частини тестеру кабелів з плаваючою кількістю жил у мобільній варіації будуть від батареї 4.5-5В оскільки він буде використовуватись у польових умовах. Налаштування приладу під вольтаж батареї буде реалізовано за допомогою одного з виходів мікроконтролера, модуля мікроконтролера АЦП та резистивного дільника.

Ввімкнення буде реалізовано за допомогою ключа, а його плавність – за допомогою конденсаторів (за рахунок їх реактивності).

Підтягуючий резистор виходу RESET мікроконтролера AVR має бути дубльовано ззовні мікроконтролера резистором з більшим опором, для запобігання випадкового стирання його програми роботи.

**Аналіз загальних особливостей побудови принципової схеми приймача**

Оскільки даний прилад буде використовуватись у першу чергу у польових умовах його слід захистити від перепадів напруги. Супресор повинен захистити вхідний ланцюг приймача від викидів напруги. Він буде приєднуватись до повітряного дроту кабелю, що може бути під напругою, та до нульового дроту передавача.

Виводиться інформація про номер жили буде на двох 7-ми сегментних індикаторах. Окрім того треба сигналізувати про стан жили за допомогою двоколірного індикатора.

Деякі входи мікроконтролера слід виділити для його живлення, програмування, керування катодом 7-ми сегментного елемента через транзистори та вісім виходів для виводу елементів 7-ми сегментного елемента.

Десяти виходів для цього завдання буде достатньо за рахунок почергового високочастотного оновлення сигналу на катодах елементів. Сигнал буде подаватись від батареї, а контролювати його рівень будуть два протранзистори.

#### Аналіз загальних особливостей побудови принципової схеми передавача

З огляду на кількість жил кабелів, що зазвичай потребують повірки, було встановлено 22 виходи як найбільш оптимальну кількість виходів передавача.

У центрі принципової схеми передавача буде мікроконтролер, який повинен мати змогу кодувати 22 лінії передачі сигналу.

Є необхідність у індикаторі, що свідчить би про справність і готовність до роботи передавача сигналу.

Також слід захистити схему від зворотного викиду напруги. Для цієї цілі можна використати мікросхеми на основі транзисторної збірки Дарлінга.

**Конкретна реалізація приймача** (рис. 1) як більш складної частини приладу потребує більш детального опису встановлених елементів та їх роботи:

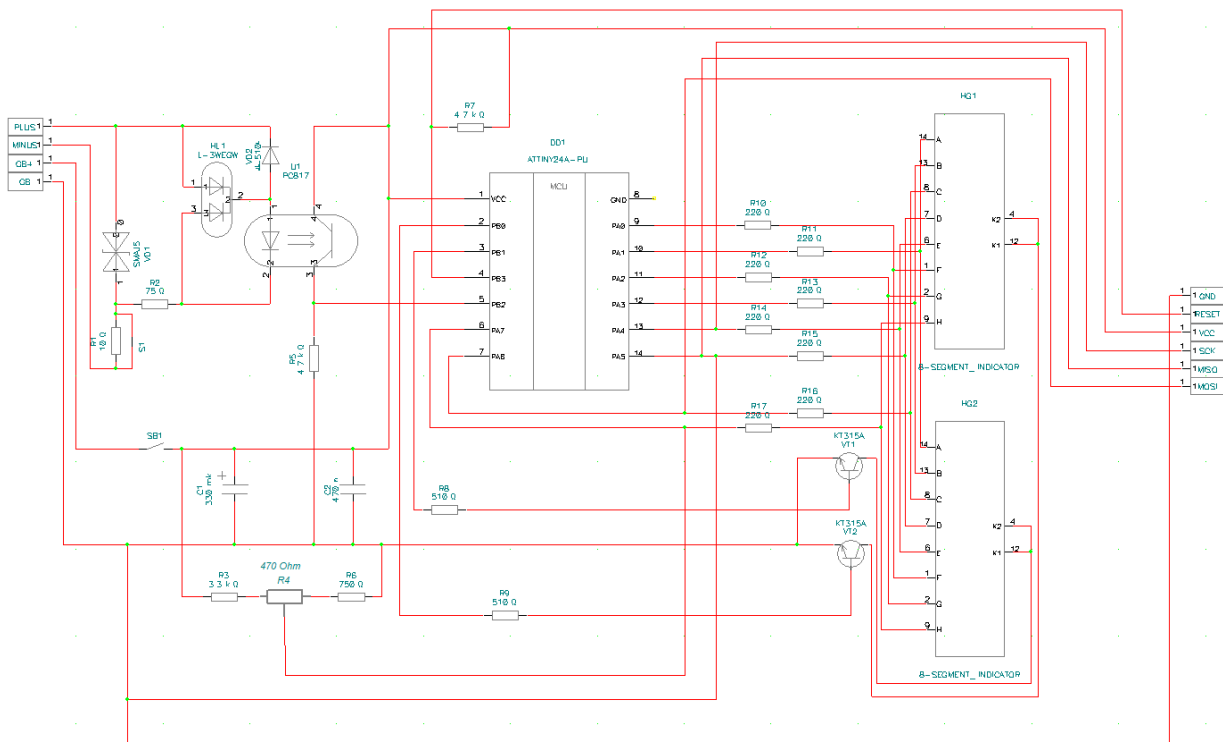


Рисунок 1 – Принципова схема приймального модуля тестеру кабелів з плаваючою кількістю жил

- мікроконтролер ATTINY24A-PU[1] (DD1);
- супресор (VD1), потрібний для захисту ключових елементів від перенапруження за рахунок гасіння коротких імпульсів;
- підвищена напруга на вході може призвести до перегорання запобіжного резистора (R1) і розриву вхідного ланцюга;
- у такій ситуації за відсутності адекватної заміни резистора можна тимчасово вийти з положення, встановивши перемичку (S1), і продовжити роботу;
- запобіжний резистор (R7), що не дозволяє простим дотиком ніжки мікроконтролера скинути встановлену на ньому програму. Виходи для програмування мікроконтролеру;
- двокольоровий індикатор (HL1), що має сигналізувати про цілісність жили. Сигналу правильної передачі відповідатиме зелений колір індикатора, неправильному – червоний;
- ключ (SB1) для ввімкнення та вимкнення приймача;
- два конденсатори (C1-C2) для плавного зростання напруги та струму при ввімкненні та вимкненні через їх реактивність;
- понижуючий резистор (R2) на вході;
- понижуючі резистори (R10-R17), що йдуть від виводів мікроконтролеру до анодів 7-ми сегментного індикатора;

- понижуючі резистори (R8-R9), що йдуть від виводів мікроконтролеру до транзисторів;
- транзистори (VT1-VT2), що керують подачею струму на катоди 7-ми сегментних індикаторів, та будуть вмикатись один після одного з високою частотою;
- діод для гасіння зворотних імпульсів (VD2);
- гальванічна розв'язка (U1) у даному випадку використовується для зниження кількості поміх при знятті сигналу та для захисту обладнання від пошкодження і оператора пристроєм від ураження електричним струмом.

**Конкретна реалізація передавача** (рис. 2) простіша за рахунок реалізації основної задачі аналізу результатів перевірки механізмів захисту життєдіяльності оператора у приймачі сигналу. До неї входять:

- мікроконтролер ATMEGA8A-PU [1] (DD1);
- виходи для програмування мікроконтролеру;
- запобіжний резистор (R1);
- ключ (SB1) для ввімкнення та вимкнення передавача;
- конденсатори (C1-C3) для плавного ввімкнення та вимкнення;
- індикатор, що блиматиме у такт праці передавача;
- 4-ри мікросхеми ULN2003A (DD2-DD5) для захисту від зворотного викиду напруги, виходи яких і поєднано з 22-ма виходами передавача у вказаній на схемі послідовності;
- понижуючі резистори R2-R3;
- батарея 4.5В;
- до виходів передавача мають бути приєднані дроти з клемми типу бульдог.

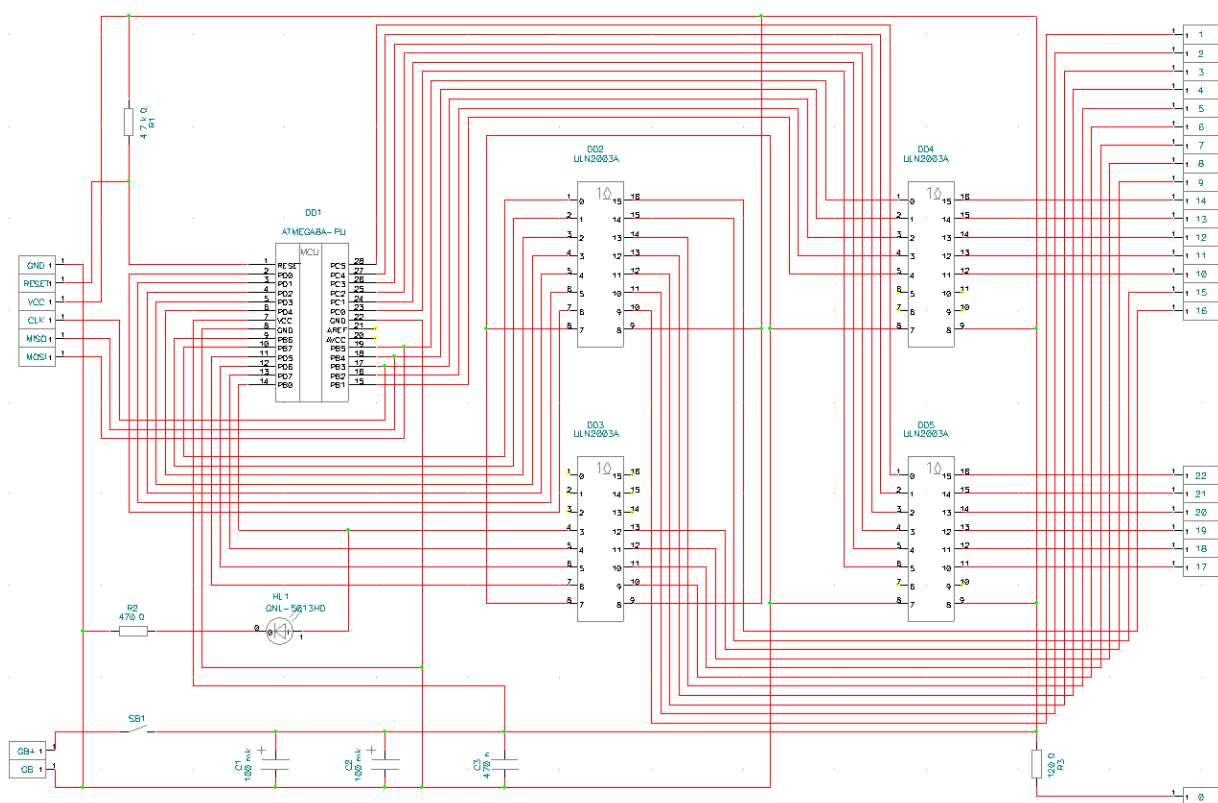


Рисунок 2 - Принципова схема передавального модуля тестеру кабелів з плаваючою кількістю жил

### Опис алгоритму роботи програми передавача

Текст програми написано на мові C [2] через простоту її розуміння та можливість її застосування для мікроконтролерів різних серій та моделей. Сенс її лежить у тому, що передавач посилає набори сигналів по жилах кабелю до приймача. Набори сигналів відправляються послідовно і відповідають номеру виходу плати на жилу кабелю.

Сигнали утворюють такти роботи програми як передавача так і приймача. Тактова частота обох модулів приладу однакова. Початковий сигнал, що буде відправлено у перший такт роботи передавача, складається з одиниць, що з урахуванням інверторів у компоненті ULN2003A означає, що на вихід плати подається набір з сигналів низького рівня. Під час кожного такту, окрім останнього, у циклі проводиться логічний зсув вліво над однією

зі змінних, що зберігає набір сигналів наступного такту. За рахунок цього у наступному такті активується на один вивід порта більше (починаючи з D0).

Порядок вмикання саме такий – D, B, C, тому що відповідність виходів мікроконтролера до виходів плати на жили кабелю наступна:

1. Порт D відповідає за виходи 1-8;
2. Порт B відповідає за виходи 9-16;
3. Порт C відповідає за виходи 16-22.

До і після припинення подання сигналу на жили у коді є пауза. Перша пауза довша за другу, що збільшує час подання сигналу на жили і тим самим зменшує похибки вимірювань. За умови повного обнуління змінних програма досягає кінця циклу і змінні стану наступного циклу заповнюються початковими значеннями, що складаються з одиниць.

Внутрішній цикл мікроконтролера ATmega8A-PU [3] реагує на переривання циклу лише за рахунок посилення сигналу при вимкненні приладу.

#### **Опис алгоритму роботи програми приймача**

Текст програми написано на мові високого рівня Bascom [4], тому що вона спеціально розроблена для сімейства мікроконтролерів AVR [5]. Сенс її полягає у тому, що модуль приймає сигнали передавача відправлені через жили кабелю і прийняті у виводі PB2/INT0 мікроконтролера ATtiny24A-PU [6].

При ввімкненні приладу проходить його налаштування, тимчасово вихід A7 мікроконтролера переконфігурується на роботу з вбудованим у мікроконтролер АЦП для зняття напруги батареї, що впродовж незначного часу виводить на 7-ми сегментний індикатор та сигналізує про стан батареї, далі значення на індикаторі змінюється на «--», що сигналізує про відсутність сигналу на вході PB2 – настає час роботи основного циклу алгоритму та основного коду програми.

Основний цикл алгоритму неперервно виконується доки не буде викликано переривання «початку такту» (Tact). Якщо це перший прийнятий сигнал, стартує таймер T1, інакше його рахунок буде скинуто і він почне лічити з нуля. Окрім того, після його виклику підраховується номер жили кабелю і по завершенню підрахунку, що може зайняти декілька тактів, виводить його на два 7-ми сегментних індикатори.

**Висновки.** Розроблено тестер кабелів з плаваючою кількістю жил, що складається з двох взаємопов'язаних модулів, які мають інтерфейс підключення до ПК для програмування їх роботи. Прилад виконує свою функцію – перевірку кабелів без стандартних штекерів з різною кількістю жил (до 22-х у даній реалізації). До виходів передавача під'єднані дроти з клемми типу бульдог для міцного зціплення з жилами. Набори сигналів передаються через дроти та жили і один з них зчитується приймачем сигналу. Номер повіряемого дроту виводиться на двох 7-ми сегментних індикаторах приймача, даючи, тим самим, інженеру знати про його цілісність. Прилад не потребує стороннього живлення окрім батареї у самому приладі. Низька напруга батареї та прийняті конструктивні рішення сприяють безпечному використанню приладу. Напруга батареї виводиться на 7-ми сегментний елемент при ввімкненні приладу, що сприяє польовому використанню приладу.

На базі цього приладу можна створити прилад з будь-якою кількістю виходів, а також використовувати прилад як датчик у більш складних системах та комплексах.

#### **Список використаних джерел**

1. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семействTiny и Megaфирмы «ATMEL» М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.
2. Брайан У. Керниган, Деннис М. Ритчи. Язык программирования С. М.: «Диалектика-Вильямс», 2015. 288 с.
3. Документація мікроконтролера «ATmega8A-PU Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation» [Електронний ресурс] URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/313648/ATMEL/ATmega8A-PU.html> (дата звернення: 27.10.2021).
4. Цикл статей «BASCOM ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ» [Електронний ресурс] URL: <http://avr.ru/beginer/bascom> (дата звернення: 28.10.2021).
5. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR. От азов программирования до создания практических устройств. М.: «Наука и техника», 2016. 544 с.
6. Документація мікроконтролера «ATTINY24A-PU Datasheet (PDF) ATMEL Corporation» [Електронний ресурс] URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/533465/ATMEL/ATTINY24A-PU.html> (дата звернення: 27.10.2021).

## УДК 654.924.5

Занін Ю. С., Гайдай Г. Ю. к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## АВТОНОМНА МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Система пожежної сигналізації є невід'ємною і неоціненною частиною безпеки кожної споруди в сучасних населених пунктах. Тому що наявність працюючої пожежної сигналізації дозволяє вчасно виявити займання та почати протидію на ранній стадії, мінімізуючи матеріальні та людські втрати. Основним призначенням такої системи є забезпечення безпеки людей та збереження майна.

Під системою пожежної сигналізації слід розуміти цілий комплекс технічних пристроїв, які сприяють своєчасному виявленню, обробці і передачі сигналу про початок займання, подачі певних команд на включення оповіщення людей про пожежу, виклик пожежного загону, а також забезпечення спрацьовування протидимного захисту, протипожежних клапанів і інших пристроїв, необхідних для комплексного забезпечення безпеки на об'єкті [1]. Пожежна сигналізація – це базовий елемент в системі безпеки будь-якого об'єкта.

Автономна система пожежної сигналізації – це система, яка не призначена для підключення до пульта охорони. Її головним завданням є моніторинг наявності диму і температурного режиму, а при їх появі (підвищенні) на телефон власника приміщення відправляється відповідний сигнал [1]. Автономна сигналізація нікуди не виведена, обслуговування та контроль ведеться власником, уповноваженою особою або робочим персоналом об'єкту, що охороняється. Автономна система пожежної сигналізації складається з пожежних сповіщувачів, оповіщувачів, приймально-контрольного приладу, устаткування електроживлення та пристроїв керування автоматичними засобами протипожежного захисту за наявності таких (рис. 1).

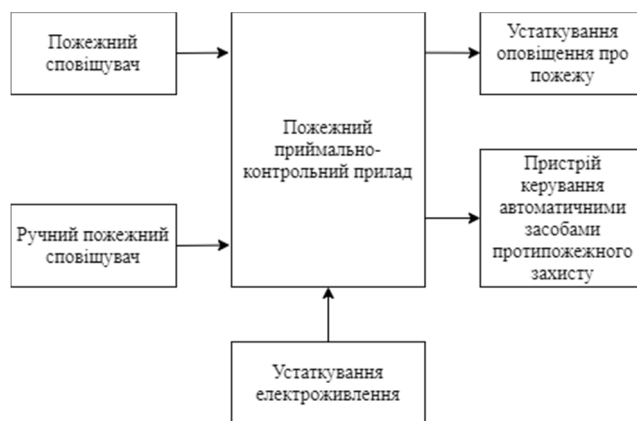


Рисунок 1 – Структурна схема автономної системи пожежної сигналізації та оповіщення

Будь-який об'єкт може бути обладнаний однією або декількома установками пожежної сигналізації, що об'єднуються в систему. Установки і системи пожежної сигналізації, оповіщення та управління евакуацією людей при пожежі повинні забезпечувати автоматичне виявлення пожежі за час, необхідний для включення систем оповіщення про пожежу, в цілях організації безпечної (з урахуванням допустимого пожежного ризику) евакуації людей в умовах конкретного об'єкта [1].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій у будівлях і спорудах житлового сектору, підприємствах, в організаціях і закладах за 2020 рік виникло 32 тис. 107 пожеж. Матеріальні втрати від пожеж становили близько 12 млрд. 607 млн. грн. [2]. Наявність пожежної сигналізації дозволяє істотно знизити матеріальні збитки і кількість постраждалих.

**Метою роботи** є розробка автономної пожежної сигналізації, яка базуватиметься на мікроконтролерній платі сімейства Arduino з модульним підключенням різних датчиків. Система має бути автономною, мати кілька різних типів оповіщувачів та сповіщувачів, без обов'язкового підключення до централізованого пульта охорони. Пристрій повинен бути простим і функціональним, а також модульним з можливістю залежно від потреб підключати різні модулі та перепрограмувати пристрій під необхідні умови роботи.

**Аналіз побудови автономної мікроконтролерної системи пожежної сигналізації**

Система повинна бути побудована на основі мікроконтролерної плати, яка повинна контролювати всю систему, приймати сигнали з датчиків-сповіщувачів, обробляти їх та відправляти сигнал на оповіщувачі у разі тривоги чи несправності системи. Найкращим чином для цього підійде апаратно-обчислювальна платформа Arduino, а саме мікроконтролерна плата Arduino Uno R3. Оскільки плата має потрібний набір характеристик для поставле-

них цілей: 14 цифрових та 6 аналогових портів вводу/виводу, мікроконтролер ATmega328, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB та живлення. Для програмування мікроконтролера програматор не потрібен, програмування відбувається через USB порт та інтегроване середовище розробки Arduino IDE мовою програмування Arduino C [3].

До портів введення/виводу плати підключатимуться модулі пожежних сповіщувачів, які повинні сигналізувати про наявність фізичних чи хімічних явищ, що асоціюються з процесом горіння. Тому для більш швидкого і точного спрацьовування системи потрібно вибрати кілька різних типів датчиків, які будуть реагувати на різні прояви пожежі, такі як: чадний газ, температура та інфрачервоне випромінювання. Як димові сповіщувачі доцільно обрати два модулі MQ-2 та MQ-7.

Перший модуль MQ-2 є хімічним резистором типу метал-оксид-напівпровідник, коли чадний газ вступає в контакт з чутливим матеріалом всередині датчика, він змінює свій опір, по якому можна обчислити концентрацію газу в повітрі. Датчик працює при постійній напрузі 5 В та споживає близько 800 мВт. Модуль може виявляти вміст у повітрі чадного газу, пропану, метану, а також водню в концентрації від 200 до 10000 ppm. Датчик є аналоговим, на виході якого буде змінюватися напруга в залежності від концентрації чадного газу в повітрі: чим вища концентрація, тим вища напруга на виході [4].

Другий модуль MQ-7 для вимірювання концентрації газу використовує керамічну трубку з оксиду алюмінію і нанесеного на неї діоксиду олова. У середині трубки знаходиться нагрівальний елемент, що нагріває діоксид олова. Для початку роботи датчика потрібно прогрівання протягом 60 - 90 секунд. Після прогріву діоксид олова змінюватиме свій опір залежно від концентрації чадного газу в повітрі [5].

Параметри модулів MQ-2 та MQ-7 наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики модулів MQ-2 та MQ-7

| Модуль | Діапазон чутливості, ppm | Опір нагрівача, Ом | Потужність нагрівача, мВт | Опір датчика, кОм |
|--------|--------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| MQ-2   | 200 - 10000              | 33 ± 5%            | <800                      | 10 - 60           |
| MQ-7   | 10 - 10000               | 31                 | 350                       | 2 - 20            |

Як тепловий сповіщувач найкращим варіантом буде модуль з датчиком Dallas DS18B20, оскільки, на відміну від інших датчиків, він має унікальний 64-бітний код для ідентифікації датчика та бібліотеку для роботи з ним. Підключення модуля може бути здійснено за протоколом 1-Wire. Датчик Dallas DS18B20 має власну пам'ять, в яку зберігаються граничні значення температури, при перевищенні яких буде подано сигнал тривоги, а час відгуку датчика менше 1 секунди. Характеристики датчика Dallas DS18B20 наведено у табл. 2 [6].

Таблиця 2 – Технічні характеристики датчика Dallas DS18B20

|                                           |                 |
|-------------------------------------------|-----------------|
| Діапазон вимірюваної температури, °C      | від -55 до +125 |
| Похибка вимірювання, °C                   | ±0.5            |
| Максимальне споживання струму, mA         | 1               |
| Споживання струму в режимі очікування, nA | 750             |
| Роздільна здатність, біт                  | 9 - 12          |

У якості сповіщувачу вогню було обрано модуль з інфрачервоним датчиком вогню виробництва PhiRobotics. Датчик вогню вловлює інфрачервоне випромінювання в діапазоні від 760 до 1100 нм, яке властиве вогню. Але датчик може реагувати не лише на вогонь, а й на інфрачервоне випромінювання сонця чи лампи накаливання. Тому це варто враховувати при розміщенні датчика, та фотодіод краще закрити з боків непрозорим матеріалом. Характеристики інфрачервоного датчика наведено у табл. 3 [7].

Таблиця 3 – Технічні характеристики модуля інфрачервоного датчика

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Напруга живлення, В | 3.3 - 5 |
| Компаратор          | LM393   |
| Кут виявлення       | <60°    |
| Габарити модуля, мм | 32 x 14 |

В якості ручного пожежного сповіщувача полум'я було обрано кнопку тактова TACT 6×6-7.3 SMD, підключену з підтягуючим резистором. При натисканні кнопки мікроконтролер буде переходити в режим «тривоги».

Крім сповіщувачів до портів введення/виведення плати Arduino підключаються модулі оповіщення. Першим модулем оповіщення є пасивний зумер, за допомогою якого можна генерувати сигнал з різними частотами. Частота імпульсів визначає частоту звуку: чим частіше імпульси, тим «вищий» звук. Для керування зумером використовується спеціальна бібліотека TONE, яка у разі сигналу тривоги подає звуковий сигнал. Технічні характеристики пасивного зумера наведено у табл. 4 [8].

Таблиця 4 – Технічні характеристики пасивного зумера

|                        |            |
|------------------------|------------|
| Струм, мА              | 50         |
| Діапазон частот, Гц    | 50 - 14000 |
| Резонансна частота, Гц | 2300 ±300  |

Також у системі для оповіщення може використовуватися модуль зв'язку GSM SIM 900A, який надсилатиме SMS-повідомлення у разі зміни статусу системи. Модем працює на частотах 900/1800 МГц і являє собою повний модуль типу SMT, оснащений одночиповим процесором AMR926EJ-S. Для керування модулем використовується окрема бібліотека [9].

#### Розробка принципової схеми автономної мікроконтролерної системи пожежної сигналізації

Головною частиною системи є плата мікроконтролера Arduino Uno R3, яка живиться від зовнішнього джерела живлення, 9-вольтового акумулятора 6F22. Плата має 6 аналогових та 14 цифрових портів вводу/виводу, які використовуються для підключення зовнішніх модулів. Модулі MQ-2(DD2) та MQ-7(DD3) підключені до аналогових портів, а модулі реле KY-019(DD4), GSM SIM900A(DD5), інфрачервоний датчик вогню (DD6), датчик температури Dallas DS18B20(DD7), пасивний зумер (B1), ручний сповіщувач (S1) та світлова індикація (VD1, VD2, VD3) підключені до цифрових портів. Для світлової індикації у системі використовується три світлодіоди: зелений (VD1), червоний (VD2) та жовтий (VD3), які підключені через резистори номіналом 200 Ом.

Модуль реле KY-019(DD4) подає живлення на автоматичну систему пожежогасіння, знаходиться в розімкнутому стані і, при сигналі тривоги, на нього подається сигнал, який замикає реле і активує систему пожежогасіння.

Тактова кнопка ТАСТ 6x6-7.3 SMD(S1), яка є ручним сповіщувачем підключена через підтягуючий резистор (R1). Коли кнопка не натиснута, цифровий контакт підключений тільки до землі через підтягуючий резистор номіналом 10 кОм; коли кнопка натискається з'являється контакт між цифровим піном і живленням в 5 В, що зчитується мікроконтролером як натискання.

Модулі реле KY-019(DD4), GSM SIM900A(DD5), інфрачервоний датчик вогню (DD6), датчик температури Dallas DS18B20(DD7), MQ-2, MQ-7 потребує окремого живлення по 5-вольтовій лінії (VCC) від плати Arduino. Усі кнопки, крім кнопки ручного сповіщувача та GSM SIM900A підключаються до лінії VCC через резистор номіналом 100 Ом. Також усі модулі одним із контактів підключені до контакту заземлення (GND), розташованого на платі Arduino. Принципову схему, побудовану у системі автоматизованого проектування P-CAD автономної мікроконтролерної системи пожежної сигналізації, зображено на рис. 1.

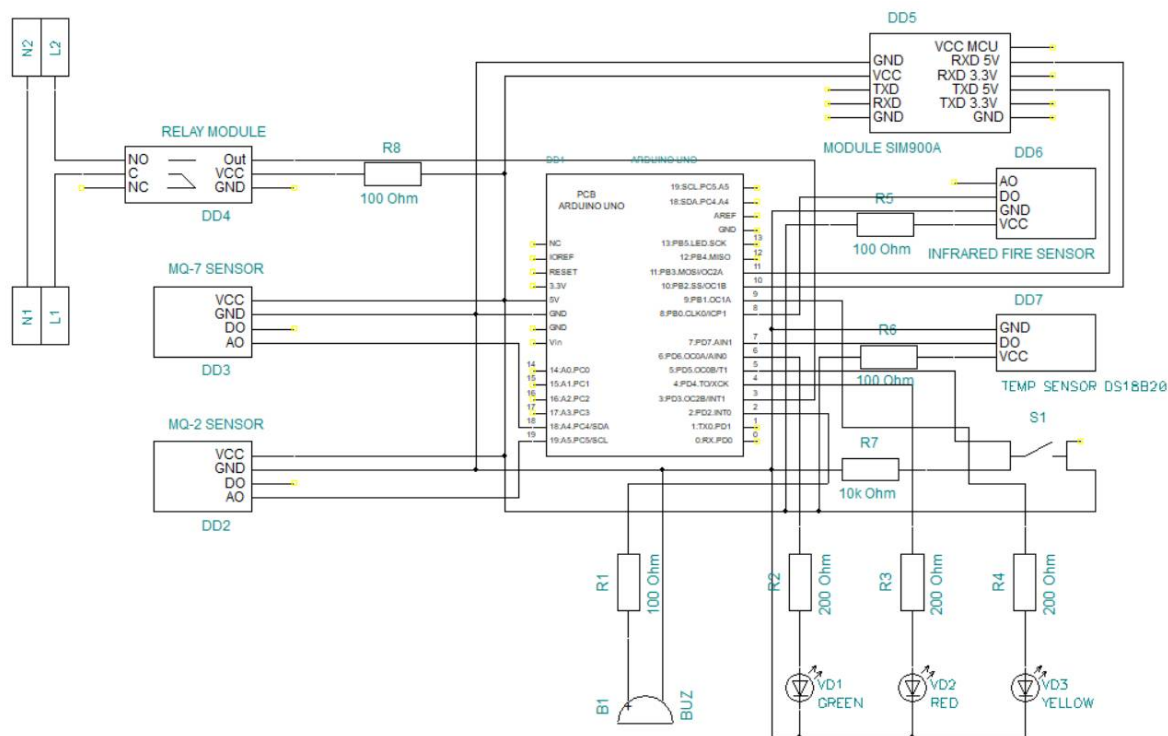


Рисунок 2– Принципова електрична схема автономної мікроконтролерної системи пожежної сигналізації

#### Алгоритм роботи автономної мікроконтролерної системи пожежної сигналізації

Код програми пишеться в середовищі розробки IDE Arduino. Система використовує три бібліотеки: OneWire.h, DallasTemperature.h, SoftwareSerial.h. Після запуску системи відбувається ініціалізація пінів вво-

ду/виводу, підключених до мікроконтролера, підключення бібліотек та прогрівання датчиків MQ-2 і MQ-7 протягом однієї хвилини.

Після етапу "прогрівання" система переходить у черговий режим роботи. У цьому режимі роботи мікроконтролер раз на секунду або кілька разів на секунду опитує датчики сповіщувачі та порівнює показники з допустимими граничними значеннями. У разі перевищення порогового значення одного з датчиків йде перевірка датчика, що спрацював. Якщо це ручний сповіщувач, система перейде в режим "пожежа". Якщо це був не ручний сповіщувач, система продовжує опитувати інші датчики протягом 90 секунд, поки не спрацює другий сповіщувач. Це зроблено для уникнення помилкового спрацювання і підвищення надійності системи. Якщо другий сповіщувач не спрацює у відведений час, система повернеться в черговий режим роботи. Якщо ж другий сповіщувач спрацював у відведений час, то система перейде в режим "пожежа".

Паралельно з цим мікроконтролер у черговому режимі перевіряє всі сповіщувачі на обрив лінії, і у разі зниження показників або втрату сигналу, система перейде в режим несправності. У режимі несправності система виведе індикацію жовтим світлодіодом і надішле повідомлення власнику системи через модуль GSM про несправність. Після цього система повернеться до чергового режиму.

Коли система переходить у режим "пожежа", відбувається оповіщення власника системи через модуль GSM, включення пожежних оповіщувачів, а також подача керуючого сигналу на реле системи пожежогасіння. Система буде перебувати в режимі "пожежа" до тих пір, поки на GSM модуль не прийде сигнал скидання системи або система не буде вимкнена вручну.

Програма розділена на функції, залежно від режиму системи. Початкове налаштування системи відбувається у функції setup, яка запускається один раз при включенні мікроконтролера і через неї відбувається налаштування системи та підключення всіх бібліотек. Програма розділена на функції, залежно від режиму системи. Початкове налаштування системи відбувається у функції setup, яка запускається один раз при включенні мікроконтролера і через неї відбувається налаштування системи та підключення всіх бібліотек.

Окремі функції "пожежа", "несправність", відключення та скидання тривоги розташовані у функції основного циклу loop. Функція loop зациклена і займається опитуванням сповіщувачів та аналізом даних, якщо відбувається будь-яка подія викликаються функції різних режимів. На рис. 3 зображено алгоритм роботи системи.

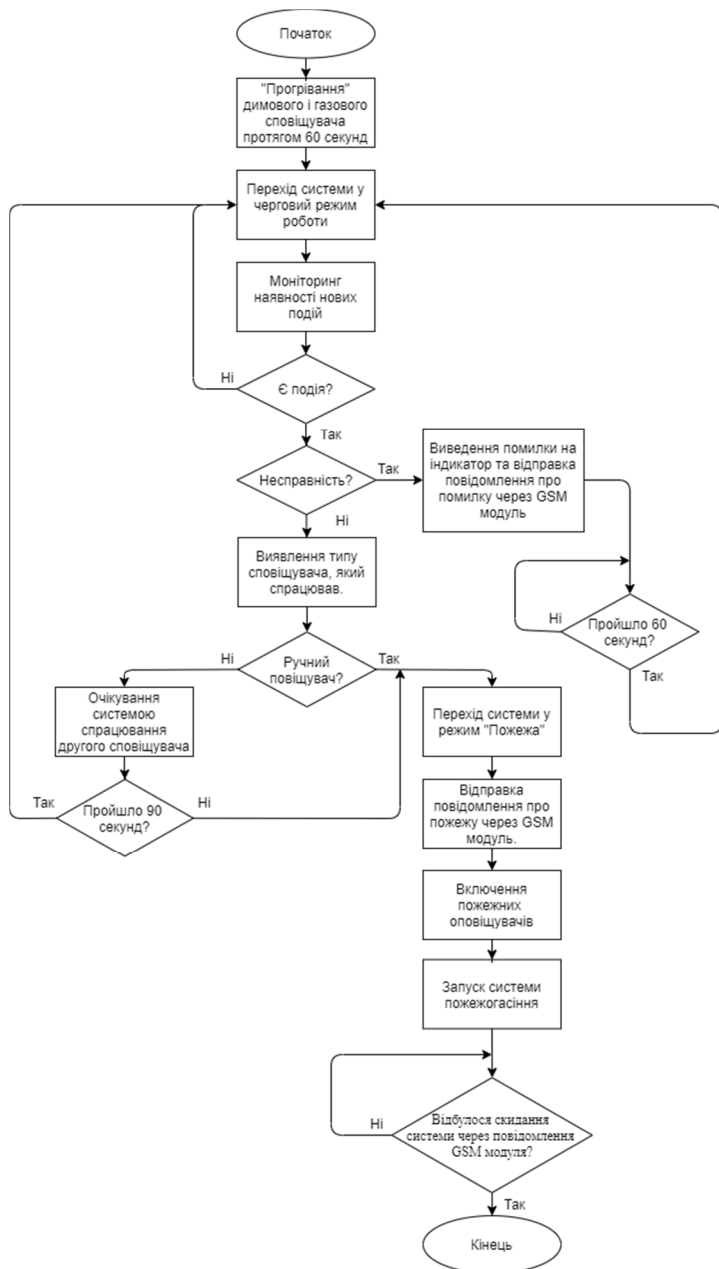


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму роботи автономної мікроконтроллерної системи пожежної сигналізації

**Висновки.** Розроблена система повинна моніторити ознаки пожежі та сигналізувати у разі пожежі чи несправності системи. Система має модульну структуру, що дозволяє зібрати конфігурацію залежно від потреб об'єкта встановлення. Сповіщувачі системи можуть виявити різні ознаки виникнення пожежі, такі як чадний газ, дим, підвищення температури навколишнього повітря, а також інфрачервоне випромінювання вогню. Також у сис-

темі передбачено ручний сповіщувач для ручної активації режиму "тривоги". У разі виникнення пожежі система може активувати систему автоматичного пожежогасіння за допомогою реле, сповістити оточуючих за допомогою звукової та світлової індикації, а також надіслати SMS повідомлення через модуль GSM. Для підвищення надійності та запобігання помилкових спрацювань у розробленому алгоритмі роботи режим "тривоги" активується тільки в тому випадку, якщо протягом 90 секунд спрацюють два різні автоматичних сповіщувачі. Також передбачено діагностику та індикацію несправностей у разі обриву лінії між мікроконтролером та датчиками.

#### Список використаних джерел

1. Дерев'янюк О.А., Антошкін О.А., Бондаренко С.М. Системи пожежної та охоронної сигналізації: Текст лекцій. Х.: УЦЗУ, 2008. 144 с.
2. «ЗВІТ про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/публічний%20звіт%20Голови%202020%20остаточний%20.pdf>
3. Документація мікроконтролера «Arduino Uno datasheet» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf>
4. Документація модуля «MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf>
5. Документація модуля «MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://www.pololu.com/file/0J313/MQ7.pdf>
6. Документація модуля «DS18B20 - Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
7. Документація модуля «Phi Robotics Product Manual Flame sensor Version 1.0» [Електронний ресурс]:  
URL:<https://www.narinocomicro.com/uploads/files/80e0cbfb0f5ac21414722001b04e9aa4.pdf>
8. Документація модуля «Buzzer Datasheet» [Електронний ресурс]:  
URL:[https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/Buzzer%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Buzzer%20Datasheet.pdf)
9. Документація модуля «Hardware design SIM900A\_HD\_V1.01» [Електронний ресурс]:  
URL:[https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/SIM900A%20Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SIM900A%20Datasheet.pdf)

#### УДК 681.52

*Труненко В.В.*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### КОНТРОЛЛЕР КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

Теплиці є досить простою і ефективною спорудою для вирощування різних рослин (як декоративних так і різних овочів та фруктів), яку можна розмістити де завгодно. Так як за останні роки кількість опадів в Україні істотно знизилася, із-за чого несуть збитки не лише звичайні господарі, а й великі підприємства, від чого необхідність у використанні теплиці з кожним днем все більше, а можливість автоматизації максимально зменшує потребу людського втручання у процес вирощування рослин, що робить теплиці дуже вигідним рішенням для багатьох людей.

**Метою роботи** є розробка системи контролю мікроклімату, основною задачею якої є: підтримка заданої температури та вологості повітря, керуючись відповідними датчиками, своєчасний полив рослин у заданий час або за показниками датчика вологості ґрунту та контроль вуглекислого газу за допомогою датчика CO<sub>2</sub>, сервопривода або більш потужного електропривода (для відкривання і закривання вікна чи дверей, для провітрювання теплиці, так як правильне розподілення газів позитивно впливає на зростання рослин).

**Опис основних процесів і приладу.** Вміст управляючої функції є створення рішень і реалізація керуючих впливів на технічні засоби забезпечення параметрів мікроклімату. До управляючих функцій системи відносяться: визначення раціонального режиму проведення регулювання параметрів мікроклімату; формування і передача на входи виконуючих пристроїв керуючих впливів, які забезпечують реалізацію обраного режиму. До допоміжних функцій відносяться такі, які забезпечують вирішення внутрішньо-системних задач і призначені для забезпечення власного функціонування (забезпечення заданого алгоритму функціонування, контроль стану тощо). Система автоматичного контролю та забезпечення оптимального мікроклімату з урахуванням функціональних вимог складається з двох модулів: проектування і, власне, самої системи (рис. 1). Вимірювальний блок відповідає за вимірювання параметрів мікроклімату температури та вологості. Інформація тут отримується від вимірювальних

пристроїв: температура вимірюється за допомогою датчиків температури. Інформація з вимірювального блоку надходить на блок управління, який видає управляючі сигнали на блок виконання [1].



Рисунок 1 – Функціональна схема системи

До складу блоку виконання входять: сервоприводи, реле, твердотільні реле та силові ключі (транзистори, модулі на основі транзисторів). На рис. 2 наведений алгоритм визначення кількості датчиків температури та вологості повітря [2].

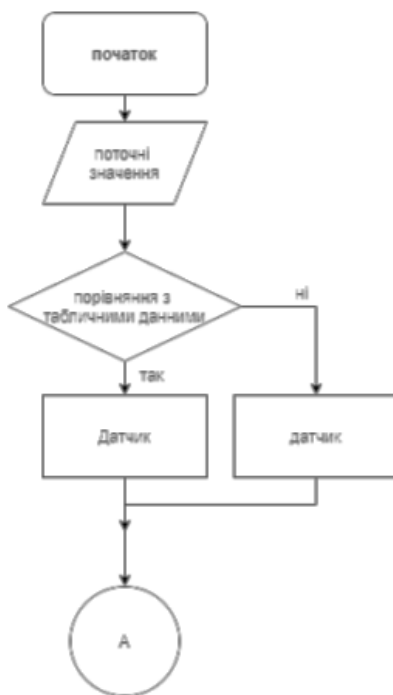


Рисунок 2 – Блок-схема модулю проектування

**Аналіз характеристик приладу.** Контролер керування мікроклімату теплиць (ККМТ) – універсальний контролер, який може працювати як на базі Arduino Nano, так і окремо на МК ATmega 328 p, завдяки мікросхемі FT232RL ККМТ визначається як Arduino [3]. Якщо не використовувати FT232RL, то живлення мікросхеми буде спільне із сервоприводами та датчиками, що показано на рис. 3 [4], що не дуже добре сказується на роботі МК, а прошивка МК відбуватиметься за допомогою інтерфейса ICSP [5].

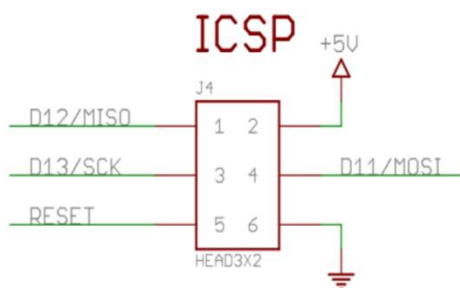


Рисунок 3 – Інтерфейс ICSP

**Аналіз характеристик приладу.** ККМТ – автоматизована система, котра моніторить різні показники із різних датчиків і на основі аналізу цієї інформації підбирає і управляє оптимальними умовами для росту, розвитку рослин, котрі потребують певного діапазону температури, вологості ґрунту і повітря, світла, складу повітря і допоміжних речовин (добрива):

- температура: так як кожна рослина має свій температурний режим і плодородить лише за сприятливих умов;
- світло: за допомогою правильної регуляції освітлення забезпечується кращий ріст рослин та анулюється недостача світла;

- полив: контроль поливу за заданим часом, або за даними із датчиків вологості, а також температурою води та часом поливу, що теж є важливим фактором у зростанні рослин;

- контроль CO<sub>2</sub>: вуглекислий газ такий же необхідний рослинам як і звичайний кисень, адже без вуглецю не можливий фотосинтез;

- шкідники: шкідники не можуть пробратись через міцний полікарбонат, скло чи звичайний поліетелен, але можуть пролізти через відкриті фрамуги чи двері. Для боротьби зі шкідниками, окрім звичайної системи оприскування використовується аналогічна система, єдиною різницею якої є лише те, що замість звичайної води розпилюється розбавлений у воді спеціальний яд, піретрин або перитроїди.

**Основні недоліки системи.** Даний контролер працює від зовнішнього джерела живлення і не має резервних, або автономних джерел живлення.

**Висновки.** Представлено систему контролю мікроклімату, основною задачею якої є: підтримка заданої температури та вологості повітря, керуючись відповідними датчиками, своєчасний полив рослин у заданий час або за показниками датчика вологості ґрунту та контроль вуглекислого газу за допомогою датчика CO<sub>2</sub>, сервопривода або більш потужного електропривода (для відкривання і закривання вікна чи дверей, для провітрювання теплиці, так як правильне розподілення газів позитивно впливаю на зростання рослин).

#### Список використаних джерел

1. Сацик В. О. Апаратне забезпечення автоматизованого регулювання мікроклімату теплиці. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". 2013. Вип. №40. С. 245-250.
2. Економічне обґрунтування впровадження робототехнічних систем у тепличні господарства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 174(2). С. 53-59. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau\\_tech\\_2012\\_174\(2\)](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2012_174(2))
3. Коломієць Т. І. Автоматизована система управління параметрами мікроклімату в теплицях: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції.
4. Лисенко В. П. Програмно-апаратне забезпечення системи фітотомоніторингу в теплиці. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. 2014.
5. Белов А.В. Микроконтроллеры AVR. От азов программирования до создания практических устройств. М.: «Наука и техника», 2016. 544 с.

## УДК 621.396.99

Дьяконов О.С., к.т.н., Чуєв Д.Ю., магістр.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

**ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КУРСУ «ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ»**

**Сфери застосування Інтернету речей.** Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це система фізичних пристроїв («речей»), яка дозволяє передавати і отримувати інформацію за допомогою бездротових мереж без людського втручання [1].

Серед сфери застосування Інтернету речей можна виділити наступні:

- розумне місто;
- розумна логістика;
- телеметрія;
- автоматизація будівель;
- розумна медицина;
- розумне сільське господарство.

Як і у випадку з розумним будинком, в бізнесі Інтернет речей дозволяє автоматизувати процеси. Це в свою чергу:

- знижує трудовитрати;
- здешевлює процес виробництва;
- скорочує обсяги відходів;
- підвищує якість послуг або виробленого продукту;
- спрощує логістику.

Впровадження IoT буде корисно для будь-якої галузі або сфери бізнесу:

- для електроенергетики, щоб за допомогою дистанційного моніторингу поліпшити контроль роботи підстанцій і ліній електропередачі;
- для медицини, щоб смарт-пристрої допомагали цілодобово контролювати стан пацієнта;
- для сільського господарства, щоб розумні ферми і теплиці самостійно дозували полив і кількість добрив;
- для логістики, щоб максимально скоротити вплив людського фактора і зменшити вартість вантажоперевезень;
- для пасажирського транспорту, щоб краще контролювати рух, оптимізувати маршрути, навігацію, системи оповіщення, безпеки на дорогах і багато іншого.

**Метою роботи** є розробка інформаційного забезпечення курсу «Інтернет речей» у вигляді програми навчального курсу, переліку лабораторних робіт та навчального комплексу для підготовки фахівців у галузі Інтернету речей, які здатні обслуговувати існуючі та впроваджувати нові системи IoT.

**Огляд технологій підключення до Інтернету речей.** Пристрої Інтернету речей можуть бути підключені до мережі дротовим або бездротовим способом. Ethernet – це провідна технологія для дротового зв'язку. Підтримує широку смугу пропускання з низьким енергоспоживанням, а дальність може бути маленькою або великою і залежить від типу використовуваного кабелю: до 100 метрів при використанні мідних кабелів і декількох кілометрів – при використанні оптичного волокна.

Для бездротового підключення існує ряд можливостей в залежності від різних факторів. Один з них – це відстань до місця, де будуть підключатися пристрої IoT. Бездротові технології ближньої дії включають Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), Zigbee, Thread, NFC і RFID і інші. Технології середньої дальності включають LTE і 5G, дальнього радіусу дії – LoRaWAN, SigFox і супутниковий зв'язок.

Згідно з недавнім аналізом ринку інфраструктури WLAN [4], проведеним 650 Group, співвідношення бездротового IoT на основі WLAN і без WLAN в розбивці за кількістю одиниць становить близько 40% для Wi-Fi і 60% для технологій, відмінних від WLAN. З них Bluetooth і Zigbee разом представляють 50%, в той час як LTE, 5 G, LoRaWAN і SigFox ділять решту половини з іншими.

**Розгортання мереж Інтернету речей українськими операторами мобільного зв'язку.** Велика трійка українських мобільних операторів, хто в пілотному форматі, хто вже в комерційному, запустили мережі для Інтернету речей. Зараз в країні паралельно розвивається дві технології-NB-IoT і LoRaWAN [8].

Стандарт NB-IoT працює на базі мережі LTE. Його розробив Консорціум 3GPP. Першу тестову мережу в стандарті NB-IoT розгорнув Vodafone в партнерстві з Huawei в 2015 році в Іспанії. Перша специфікація з'явилася в 2016 році, пристрої почали з'являтися на рубежі 2016-2017 рр.

LoRaWAN розроблений Асоціацією Lora Alliance (в неї входить більш ніж 500 учасників) і працює в неліцензованій частини спектра. Технологія отримала розвиток досить швидко. Тому в той час, як стандарт NB-IoT ще затверджувався, у LoRaWAN вже було національне покриття в Нідерландах, Південній Кореї та Сінгапурі, а також невеликі мережі в ряді інших країн. Звичайно ж, і перші комерційні кейси.

**Lifecell.** Найменший з "великої мобільної трійки" оператор першим розгорнув мережу для Інтернету речей, скооперувавшись з компанією IoT Ukraine. Разом вони запустили кілька комерційних проектів на базі технології LoRaWAN [5]:

- Харківська обл. - агробізнес, контроль вологості і температури ґрунтів, дистанційний збір показників газу;
  - Чернівці - "розумне" управління відходами, контроль якості повітря в приміщенні, CO, CO<sub>2</sub>, задимлення;
  - Львів - дистанційний збір показників електроенергії;
  - Луцьк - дистанційний збір показників води;
- Київський регіон - дистанційний збір показників води, Smart Parking, моніторинг навколишнього природного середовища, "розумне" освітлення, логістика, агробізнес, контроль вологості і температури ґрунтів, контроль параметрів зберігання харчових продуктів.

Пілотні проекти lifecell стартували в наступних регіонах: Одеса, Луцьк, Івано-Франківськ, Київ і Дніпро.

IoT-покриття lifecell: Київ-повністю (outdoor) і, частково, indoor. При необхідності під конкретного клієнта компанія обіцяє оперативно забезпечити деер indoor в потрібних локаціях протягом одного-двох тижнів. Крім столиці, мережа працює ще в 20 обласних центрах і декількох дрібніших населених пунктах. Це, зокрема, Дніпро, Івано-Франківськ, Кропивницький, Луцьк, Львів, Миколаїв, Одеса, Рівне, Тернопіль, Харків, Черкаси, Чернігів, Чернівці, Ужгород, Запоріжжя, Херсон, Житомир, Хмельницький, Вінниця, Суми.

**Vodafone Україна.** Компанія нещодавно запустила в комерційну експлуатацію NB-IoT-мережу на основі LTE 1800 [3]. При цьому зазначивши, що "для користувачів і Партнерів це означає високий стандарт безпеки". Наприклад, шифрування і аутентифікацію на базі SIM-карти, недоступні в таких технологіях як, LoRaWAN.

Ще одна особливість стандарту – висока проникаюча здатність сигналу. Це дозволяє з'єднуватися з мережею навіть у важкодоступних місцях – в підвалах або шахтах ліфтів. А також підтримка режимів збереження енергії. Вони забезпечують мінімально можливе споживання енергії, і, відповідно, максимальний термін роботи пристроїв-до 10 років. Це критично важливо для пристроїв, що працюють від батарейки.

Почав оператор з установки в будинках обладнання – радіомодулів, які передають показники – для передачі показань лічильників води. У січні 2020-го налічувалося по десять таких установок у кожному місті. Переговори про запуск компанія почала з підприємствами Львова, Луцька та Івано-Франківська.

Процес тестування триватиме три-чотири місяці. Оператор отримає зворотний зв'язок від водоканалів, адаптує послугу під практичні потреби користувачів. Потім вже запропонує автоматизацію обліку води в масштабах усього міста.

На питання "навіщо це потрібно водоканалам?" у компанії відповіли, що, по-перше, автоматизація дозволить заощадити людські ресурси. Адже лічильники, встановлені в підвалах будинків, не потрібно буде регулярно перевіряти, вся інформація буде доступна в "робочому кабінеті".

По-друге, "розумний" облік води дозволить виявити місця несанкціонованих витоків води і отримувати точну інформацію про те, скільки кожен будинок витрачає водних ресурсів.

"Ми не очікуємо занадто швидкого повернення коштів. Це довгострокові інвестиції", – відповіли в Vodafone на питання про терміни окупності нового проекту. І привели в приклад світовий досвід, коли три-п'ять років – це звичайний термін окупності для IoT-рішень.

**"Київстар".** Лідер мобільного ринку поки придивляється до нової ніші. "Київстар" розгорнув тестові дільниці "Інтернету речей" у Києві, Харкові, Одесі, Львові, Дніпрі та Сумах [6].

Разом з партнерами оператор почав тестування NB-IoT датчиків в "розумних" зонах паркінгів. Тестування проходять лічильники і накладки на лічильники для моніторингу швидкості потоку води, витрат і контролю витоку води. Є також рішення "розумного" освітлення, як внутрішнього, так і зовнішнього. Серед проектів "Київстар" в області IoT – рішення з контролю за переміщенням персоналу, транспорту та обладнання компаній. Воно призначене для забезпечення ефективної роботи на підприємствах.

Відповідаючи на питання про перспективи нової технології, в компанії відзначили, що сенсорні можливості, міжмашинне спілкування, автоматизація і штучний інтелект створюють раніше недоступні рішення і можливості для міста і його жителів.

За різними даними, до 30% водіїв шукають вільні місця для паркування на центральних дорогах міст. На освітлення вулиць міста витрачають до 40% муніципальних витрат. До 25% витрат води відбувається після підключення мережі водоканалу до будинкової інфраструктури. Тому в "Київстарі" очікують поступового зменшення відсотка неефективного використання ресурсів.

**Підготовка фахівців в області Інтернету речей.** Як було показано вище, Інтернет речей – нова стадія розвитку технологій, яка повністю змінить наше життя і торкнеться як споживчого, так і промислового сегмента [2]. Поява технології Інтернету речей обумовлено розвитком бездротових технологій і технологій датчиків і тягне за собою появу абсолютно нових завдань, таких як необхідність розробки нових стандартів зв'язку, підвищення ступеня інтеграції датчиків і управління енергоспоживанням. Це ускладнює проектування і перевірку пристроїв Інтер-

нету речей (IoT-пристроїв), оскільки розробники повинні постійно впроваджувати інноваційні технології, щоб швидко і успішно створювати і розгортати пристрої Інтернету речей на ринку.

Наступне покоління інженерів буде відігравати ключову роль у розвитку Інтернету речей, тому важливо, щоб студенти, які навчаються за інженерно-технічними спеціальностями, були готові до вирішення актуальних завдань, затребуваних в промисловості, таких як проектування, вимірювання характеристик і випробування електронних пристроїв. Для досягнення даної мети викладачі повинні не тільки навчити студентів основам тестування і проектування систем Інтернету речей, але і дати їм уявлення про всю екосистему IoT і успішно співвіднести ці знання з реальними завданнями.

**Програма навчального курсу.** Навчальний курс розбитий на наступні теми [9]:

1. Основи технології Інтернету речей. Знайомство з основними елементами вбудованої системи для пристроїв IoT, апаратною платформою IoT (наприклад, шлюзом і вимірювальним вузлом), функціональними блоками IoT (такими як датчики, інтерфейси і засоби обробки даних), додатками і екосистемою IoT.

2. Апаратні засоби для розробки пристроїв Інтернету речей. Знайомство з різними типами апаратних засобів для розробки пристроїв: IoT-датчиками, дискретними компонентами, мікросхемами і платами.

3. Програмне забезпечення для розробки пристроїв Інтернету речей. Знайомство з різними мовами програмування (Python, Java і C), які можуть використовуватися у вбудованій системі IoT, хмарних додатках і додатках кінцевого користувача.

4. Протоколи зв'язку для пристроїв Інтернету речей. Знайомство з різними протоколами дротового і бездротового зв'язку для пристроїв Інтернету речей (наприклад SPI, I<sup>2</sup>C, Bluetooth LE, WLAN 802.11, Z-wave, 6lowpan, NFC та ін.), а також сучасними стандартами (наприклад MQTT), використовуваними при створенні вбудованих систем IoT.

5. Основи проектування пристроїв і додатків для Інтернету речей. Знайомство з концепцією інтерфейсу програмування додатків для хмарних обчислень і мобільних пристроїв (наприклад REST і JSON) для забезпечення сумісності рішень IoT. У цьому розділі розглядаються також питання ідентифікації та безпеки.

6. Від Інтернету речей до аналізу даних. Знайомство з основами аналізу та візуалізації даних з використанням технологій хмарних обчислень.

7. Практичні приклади. Практичні приклади охоплюють широкий діапазон тем - від розумного будинку до промислових/комерційних додатків автоматизації.

**Навчальний комплект.** З точки зору апаратного забезпечення, комплект повинен являти собою легко конфігуровану вбудовану систему, яка може виконувати функції шлюзу або обслуговувати дані.

Для навчального комплекту пропонується використовувати наступне обладнання:

- одноплатні комп'ютери Raspberry Pi 3 B+ (2 шт.);
- плати розширення LoRaWAN Shield (2 шт);
- LoRaWAN-шлюз Mikrotik (1 шт);
- комунікаційні модулі XBee ZigBee (2 шт);
- комунікаційний модуль LTE з підтримкою функції NB-IoT (1 шт.).

Як датчики пристроїв IoT можуть використовуватися:

- датчик зовнішнього освітлення;
- цифровий мікрофон;
- магнітний датчик;
- датчик вологості;
- датчик тиску;
- акселерометр;
- гіроскоп;
- магнітометр;
- датчик температури об'єкта;
- датчик температури навколишнього середовища.

В якості програмного забезпечення можуть використовуватися проекти з відкритим вихідним кодом, розміщені на ресурсі github.

**Плани лабораторних робіт.** Нижче наведені теми лабораторних робіт:

1. Основи технології Інтернету речей. Налаштування системи, налаштування зв'язку між master- і slave-пристроями, тестовий запуск готового додатка з використанням типового рішення в якості демонстрації, створення простого IoT-дodatku, що здійснює зчитування даних з датчиків і відображення результатів на ПК-дисплеї.

2. Вивчення протоколів зв'язку LAN/PAN і призначення шлюзу IoT. Використання різних протоколів зв'язку для з'єднання пристрою, що тестується, з датчиками.

3. Вивчення хмарного сервісу для IoT. Вивчення можливостей веб-сервісів, що надаються Google і XAMPP, налаштування і використання хмарних сервісів.

4. Вивчення протоколу обміну повідомленнями MQTT для IoT. Використання різних протоколів зв'язку для підключення датчиків до хмари, налаштування і тестування низхідних з'єднань IoT так, як це виконується із застосуванням технології MQTT для мобільних пристроїв.

5. Вивчення можливостей аналізу та візуалізації даних. Модифікація готового користувацького додатка взаємодії з хмарою за допомогою підтримуваних мов програмування і різних методів аналізу даних.

6. Додаток IoT з підтримкою хмарних технологій. Розміщення вузла IoT в хмарі і візуалізація результатів на дисплеї кінцевого користувача (на базі програми IoT для розумного будинку).

На рис. 1 наведена типова схема лабораторної роботи.

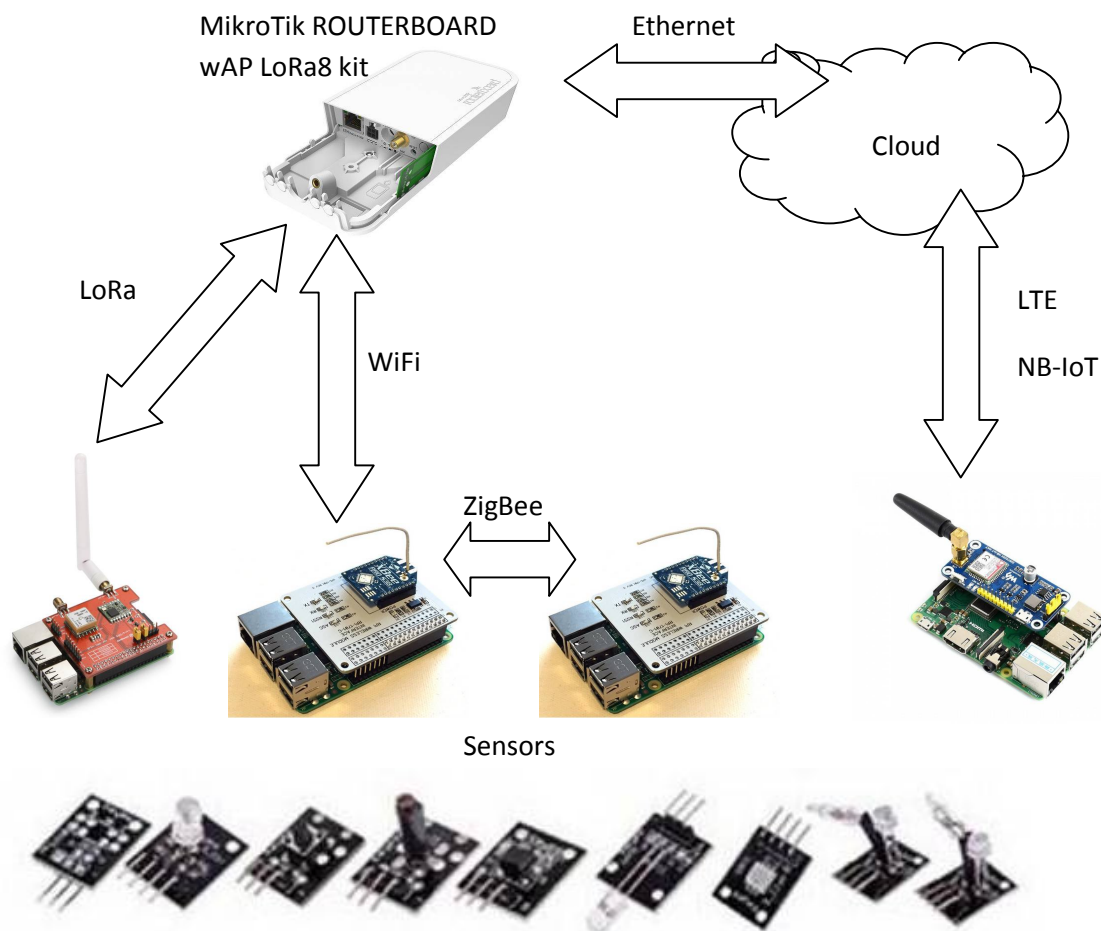


Рисунок 1 – Типова схема лабораторної роботи

**Висновки.** Розроблений курс об'єднує практичний галузевий досвід і успішний досвід проектування і тестування реальних IoT-пристроїв, що дозволить студентам освоювати практичні методи проектування і тестування пристроїв, що використовуються в галузі. Навчальний комплект для розробки IoT-пристроїв надає студентам можливість експериментувати з бездротовими інтерфейсами WLAN 802.11, Bluetooth LE, ZigBee, LTE, LoRaWAN. Завдяки модульній конструкції комплексу, в нього можна легко додати інші бездротові інтерфейси і датчики.

#### Список використаних джерел

1. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.
2. Мачей Кранц. Интернет вещей. Новая технологическая революция. – М.: Эксмо, 2018. – 336 с.
3. Vodafone підготував мережу для Інтернету речей до комерційного запуску в Україні. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vodafone.ua/ru/news/start-test-nb-iot>
4. 650 Group, «Обзор долгосрочных прогнозов о подключенных беспроводных устройствах и Интернете вещей (IoT)», 30 июня 2020 г. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.650group.com>
5. Lifecell Інтернет речей. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.lifecell.ua/uk/malii-biznes-lifecell/m2m/iot/>

6. Kyivstar. Інтернет речей у бізнесі: як це працює? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-ueiznesi-yak-cze-praczuje/>

7. Медленно и уверенно. Более десятка городов Украины уже подключились к "интернету вещей" [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ubr.ua/market/telecom/medlenno-i-uverenno-bolee-desjatka-horodov-ukrainy-uzhe-podkljuchilis-k-internetu-veshchej-3890134>

8. Как работает интернет вещей в Украине: технологии и проекты операторов. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gagadget.com/iot/60667-kak-rabotaet-internet-veschej-v-ukraine-tehnologii-i-proektyi-operatorov/>

9. Keysight Technologies. Прикладной учебный курс «Основы технологии Интернета вещей» U3801A/02A [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.keysight.com/zz/en/assets/7018-05600/data-sheets/5992-2086.pdf>

#### УДК 681.5

Горбов В.Ю.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### БЕЗКОТАКТНА ЗАРЯДКА СУДНОВИХ ТЯГОВИХ БАТРЕЙ З ШИРОТНО-ЧАСТОТНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ

Понад 80% торгових вантажних перевезень підпадає на морську галузь, що робить її важливою частиною світової економіки. Незважаючи на те, що судноплавство, будучи найбільш енергоефективним видом масових вантажних перевезень, має досить незначний внесок у загальні викиди парникових газів (ПГ) [1], значна частка глобальних викидів двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та оксидів сірки ( $\text{SO}_x$ ), як і раніше, все ж припадає на цю промисловість та істотно впливає на екологію навколишнього середовища. Так, наприклад, судна, що прямують до та з портів Європейського союзу (ЄС), наразі виділяють 140 Мт двоокису вуглецю за рік [2]. Судна також сприяють появам локальних проблем зв'язаних з поганою якістю повітря, що в свою чергу в значній степені загрожує здоров'ю людей у глобальному масштабі. На добавок до чорного вуглеця (ЧВ), що викидається кораблями безпосередньо, оксиди азоту та діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) в результаті хімічних реакцій перетворюються у повітрі на дрібні частинки нітратних та сульфатних аерозолів. Ці вторинні дрібні частинки можуть поглинатися дихальними шляхи і мати погані наслідки для здоров'я [3]. Наразі викиди від міжнародної морської діяльності, пов'язаної з ЄС, контролюються, звітуються та перевіряються згідно з Регламентом 2015/757 [4]. Щоб зменшити викиди від морського транспорту, ЄС прагне запропонувати заходи поряд з узгодженими заходами в Міжнародній морській організації (ММО).

Все вищенаведене не оставляє сумнівів, що від морської галузі на сьогоднішній день вимагається більш інноваційне мислення та вивчення рішень у напрямку альтернативних та екологічних джерел енергії, а також екологічних і безпечних технологій, які запропонували би рентабельні варіанти скорочення викидів.

Вже існує багато праць та досліджень, які продемонстрували значний потенціал як для покращення економії палива, так і для скорочення викидів, що мають технології накопичення енергії у морській галузі [5]. В останні роки вже багато країн, які мають відношення до суднобудування, активно зайнялися будівництвом електричних суден на тягових батареях. Для поромного сегмента привабливими виявилися як гібридні конструкції середньої та великої дальності, так і повністю електричні поромі меншої дальності. В даний час технологія літій-іонних (Li-Ion) акумуляторів є, безумовно, найбільш перспективною і зрілою технологією зберігання енергії для морської індустрії і використовується на різних типах суден. Ще одним поштовхом до цього був різкий стрибок вниз цін на літій-іонні акумулятори. Продовж останніх десяти років ціни на літій-іонні акумулятори зменшилися майже в десять разів [6]. Таким чином, **актуальною проблемою** є ефективна зарядка тягових батарей морських суден.

Використання повністю електричних суден створює безпрецедентні проблеми та виклики для технології заряджання акумулятора. На маршрутах, де судна перебувають у гавані протягом кількох годин і більше, час, необхідний для ручного або автоматичного з'єднання кабелів з механічним штекерами неістотно впливають на загальну роботу, навіть якщо час підключення досягає декількох хвилин. Але це неприйнятний час для поромів з меншим часом стикування, наприклад, 4-5 хв. Ще одним недоліком є механічне значення контактів та штекерів, а також необхідність точного розташування, якого буває важко досягти під час несприятливих погодних умов. Суворе солоне середовище додає додаткової електричної загрози, а вимоги безпеки на випадок екстреного покидання судном доку вимагають надійних механізмів швидкого та автоматичного від'єднання системи зарядки. Користь від використання бездротової зарядки акумулятора за допомогою індуктивної передачі енергії стають очевидними.

Індуктивна зарядка підходить для повністю автоматизованої роботи, так як немає ніяких механічних інтерфейсів. Цей спосіб також усуває прямі електричні контакти та проблеми, які пов'язані з погодними опадами, підвищує безпеку, надійність та забезпечує гальванічна розв'язку між зарядним обладнанням на землі та бортовою електричною системою. Така передача живлення дозволяє ефективно використовувати час шварту судна у доку для заряджання акумулятора та не збільшувати необхідну потужність як наземного, так і бортового обладнання.

Варто також розуміти, що у такої технології рівень потужності значно вищий, ніж той, що є звичайним для автомобільних або залізничних застосувань. Крім того, система має більш динамічні умови роботи через частково вільно плаваючий рух судна відносно доку, через вітер та хвилі, осадки та навантаження судна.

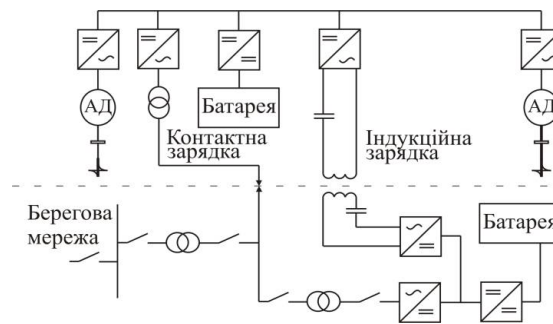


Рис. 1. Типовий зарядний комплекс тягових батарей судна з індукційною та контактною зарядкою, береговою мережею та сховищем енергії.

Таким чином, індуктивний зарядний пристрій повинен забезпечувати потужність у мегаватному діапазоні. Основними пристроями, що забезпечують індукційну зарядку, є берегова і суднова котушки індуктивності, або індуктори, як елементи резонансного контуру інвертора. Індуктори в системах індукційної зарядки суднових тягових батарей забезпечують передачу потужності близько 500 кВт на квадратний метр площі індукторів з ККД передачі енергії до 97% [7]. Площа індукторів може становити 2 і більше квадратних метрів. Оскільки не усі мережі можуть забезпечити такий рівень, на березі теж слід встановлювати накопичувальну батарею (рис. 1) [8].

Також, система повинна мати високу толерантність до зміщення та коливань відстані повітряного зазору між індукторами, і що нею слід керувати, щоб автоматично компенсувати вплив таких змін у відносному положенні. Реактивні параметри резонансного контуру внаслідок цього можуть змінюватися, і буде змінюватися відповідно резонансна частота [9]. Тому в суднових індукційних системах постійний струм зарядки і постійне відношення комутаційної і резонансної частот забезпечується зазвичай за рахунок частотного регулювання резонансного інвертора шляхом зміни комутаційної частоти в діапазоні від 1 до 8 кГц. Система керування перетворювачем буде підтримувати сталість переданої енергії в судновий індуктор при будь-яких рухах судна, загалом не перевищуючих межу в 20-50 см повітряного зазору.

**Метою роботи** є дослідження ефективного методу керування зарядкою тягових батарей на морських суднах.

Більш високої ефективності передачі енергії в процесі зарядки можна досягнути за рахунок використання широтно-частотного регулювання в резонансному інверторі. Випадкова зміна положень індукторів може призводити до зниження зарядного струму. Напруга живлення зарядного комплексу може змінитися в результаті відхилень напруги мережі і буферних накопичувачів електроенергії. Тому для зменшення діапазону зміни робочої частоти інвертора доцільно поєднувати широтне і частотне регулювання.

Широтне регулювання інвертора орієнтоване тільки на компенсацію змін напруги живлення. А частотне регулювання буде компенсувати тільки зміни параметрів резонансного контуру.

Модельована асинхронна система керування призначена для транзисторного послідовно-резонансного перетворювача (ПРП) (рис. 2).

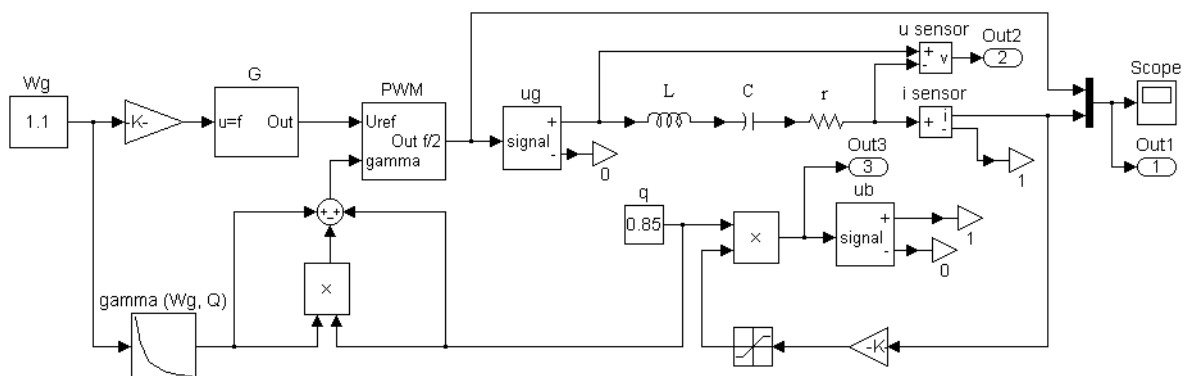


Рис. 2. Схема моделювання системи широтно-частотного управління.

Підсистеми керованого генератора G та широтно-імпульсного модулятора PWM показані на рис. 3.

Як можна побачити на рис 4 і 5, система ефективно працює в вузькому діапазоні зміни регулюючого сигналу та напруги навантаження. Наведені осцилограми демонструють, що струм при широтно-частотному регулюванні має синусоїдальну форму у всьому діапазоні регулювання, що дає малий рівень комутаційних втрат в транзисторах.

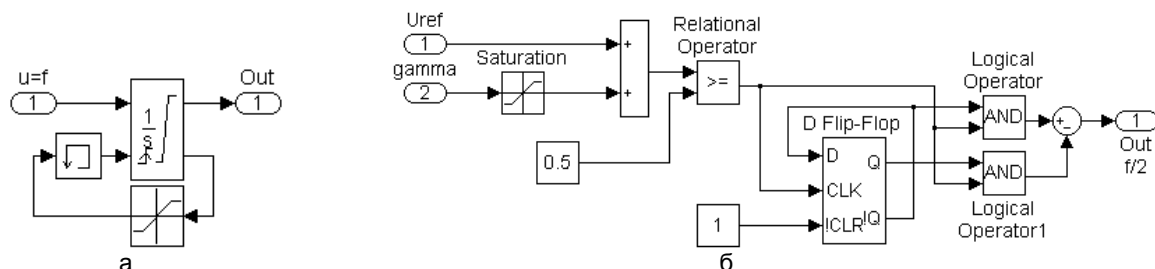


Рис. 3. а - підсистеми керованого генератора G, б – підсистема широтно-імпульсного модулятора PWM

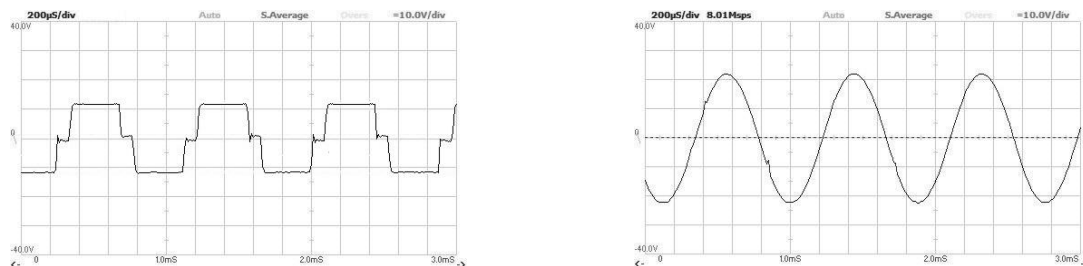


Рис. 4. Осцилограми для напруги живлення 250В і робочої частоти 1170Гц

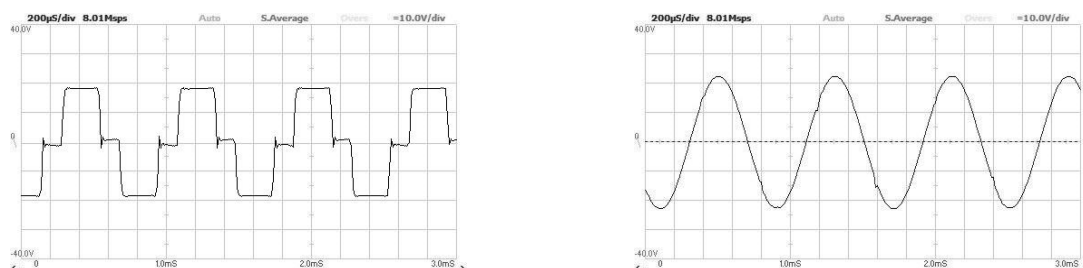


Рис. 5. Осцилограми для напруги живлення 380В і робочої частоти 1250Гц

**Висновки.** Широтно-частотне регулювання індуктивної зарядки морських суден підвищує енергоефективність системи зарядки в цілому та забезпечує електромагнітну сумісність берегової мережі та зарядного комплексу тягових батарей судна. А наведені аргументи щодо розвитку електричних суден, перелічені проблеми використання застарілих суден демонструють актуальність та прагнення різних країн сприяти розробці технологій, інфраструктури та розвитку цього напрямку. Тому цілком актуальним завданням є створення пристрою для зарядки морських суден, який реалізовував би цю технологію.

#### Список літератури

1. IMO (2020) Fourth IMO Greenhouse Gas Study, MEPC 75/7/15, [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=125134>
2. EMSA, online database for the purpose of information in line with Article 21 of Regulation (EU) 2015/757 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://mrv.emsa.europa.eu/#public/emission-report>
3. Transport & Environment. Shipping is responsible for over a tenth of transport CO2 emissions and is a major source of air pollution. - T&E's Publications, 2021 [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.transportenvironment.org/challenges/ships/>
4. Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC

[Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02015R0757-20161216>

5. O. Alnes, S. Eriksen and B. Vartdal, "Battery-Powered Ships: A Class Society Perspective," in IEEE Electrification Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 10-21, Sept. 2017, doi: 10.1109/MELE.2017.2718823. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8025676>

6. BloombergNEF's annual battery price survey, Eric Bangeman, Ars Technica. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>

7. S. Karimi, M. Zadeh and J. A. Suul, "Evaluation of Energy Transfer Efficiency for Shore-to-Ship Fast Charging Systems," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2020, pp. 1271-1277, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152219. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152219>

8. Jagdish Kumar, Lauri Kumpulainen, Kimmo Kauhaniemi, Technical design aspects of harbour area grid for shore to ship power: State of the art and future solutions, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 104, 2019, Pages 840-852, ISSN 0142-0615, [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.07.051>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061517325231>)

9. Zainol M.Z., Zainol I., Bakar A.A.A., Razak M.F.A., Zoolfakar R. (2020) Application of Contactless Inductive Charging for Ship—A Review. In: Saw C., Woo T., a/I Karam Singh S., Asmara Bin Salim D. (eds) Advancement in Emerging Technologies and Engineering Applications. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0002-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0002-2_29)

10. G. Guidi, J. A. Suul, F. Jensen and I. Sørfohn, "Wireless Charging for Ships: High-Power Inductive Charging for Battery Electric and Plug-In Hybrid Vessels," in IEEE Electrification Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 22-32, Sept. 2017, doi: 10.1109/MELE.2017.2718829. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8025701>

#### УДК 621.314.26

Клюшин С. К., Нікуліна А. О..

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### РОЗГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ЖИВЛЕННЯ БЕЗДРОВОТИХ СИСТЕМ

Сьогодні в світі все більше розвивається напрямок малопотужних мікроконтролерів. Такі фірми, як Analog Devices, Microchip Technolog, Atmel випускають все більш різноманітні моделі малопотужних мікроконтролерів. Якщо такі мікроконтролери налаштувати на періодичну відправку даних з досить великим інтервалом, то енергія, яку вони потреблятимуть, значно зменшиться.

Використання таких малопотужних мікроконтролерів дозволяє створити датчики з автономним живленням. Бездротові системи забезпечують портативність, знижують витрати на установку, виключаючи електропроводку. Вони є значно надійнішими, пропонують гнучкість, простоту реалізації та можливість модернізації систем без витрат і незручностей кабельної прокладки. Крім того, знявши дроти постає можливість для вбудовування датчиків у раніше недоступні місця. В даний час більшість бездротових сенсорних вузлів просто живляться від батарейок. Створення таких систем на основі батарейок додає небажаний тягар технічного обслуговування заміни або їх перезарядки.

Альтернативні джерела в таких системах є пріоритетними. Такі відновлювані джерела можуть збільшити термін служби пристроїв, покращити якість мережі та пом'якшити вплив на навколишнє середовище, викликаний утилізацією батарейок. В цьому контексті, сонячна енергія є найвідомішою. Проте не є всюди доступною. Так, наприклад, говорячи про судові відсіки чи заводські приміщення, більш перспективним є генерація енергії з вібрацій. Вібрації є побічним продуктом роботи двигунів, виробничих установок, та ін.. Вібрації привабливі джерела, оскільки енергію можна зібрати за допомогою компактного пристрою, що підсилює високу добротність базової амплітуди збудження.

**Метою роботи** є аналіз існуючих джерел альтернативної енергії для використання їх у бездротових сенсорних системах з автономним живленням.

Розглянемо різні способи видобутку електроенергії з вібрацій. На сьогодні існує декілька варіантів добування енергії таким чином:

1. Електромагнетичні генератори. Їх принцип полягає в виникненні струмів магнітної індукції в котушці при русі магніту відносно котушки.

Щодо таких генераторів, сьогодні проводяться дослідження. Так, зазначається, що за допомогою чотирьох магнітів, розташованих на кранштейні з намотаною котушкою, яка розташована всередині рухомого магнітного поля, генератор перетворює 30% енергії, що подається від навколишнього середовища до корисної електричної

потужності в навантаженні. Було отримано середньоквадратичне значення напруги в 428 мВ від котушки з 2300 витків за резонансної частоти в 52 Гц, від рівня прискорення в  $0.59 \text{ мс}^{-2}$  [1].

2. Ще одним видом генерації енергії з вібрацій є електростатичні інерційні генератори. В них механічна енергія може бути перетворена в електричну, за допомогою використання заряду конденсатора. Для цього необхідно помістити заряд на пластини конденсатора, а потім переміщувати пластини. Таким чином механічна енергія перетвориться на, енергію, яку потім можна накопичувати та використовувати.

Такий проект може бути реалізовано за допомогою змінного конденсатора, що складатиметься з кремнієвої структури розмірами 1.5 см на 0.5 см, у пластині завширшки 0.5 мм. Пластини можуть бути розділені тонким шаром діоксиду кремнію. Діє діоксид кремнію як ізолятор, утворюючи таким чином паразитичний конденсатор між пристрій і пластинами. В результаті дослідів зазначених генеруватиметься напруга приблизно 10 мкВ [2].

3. П'єзо генератори. Засновані на прямому п'єзо ефекті. За якого на гранях кристала при прямому, впливі на нього, виникає електричний потенціал.

Перший випадок зареєстрованих п'єзоелектричних мікрогенераторів зустрічається в патентній літературі. У [3] і [4] Снайдер описує використання п'єзоелектричного генератора, вбудованого в колесо автомобіля для живлення датчика тиску в шинах. Генератор буде живитися від вібрації колеса під час водіння, і дозволить інформувати водія про ненормальний тиск у шинах за допомогою радіозв'язку малої потужності. Можливість такого застосування викликає великий інтерес [5]. Проектування та виготовлення тонкоплівкових п'єзоелектричних генераторів описано в [6]. Консольна балка 800 800 м<sup>2</sup> з пробною масою 24,7 пг на наконечник променя генерував 5 мВ і 24,5 пВт. Початкова питома потужність прототипу становила 13 Вт/см<sup>3</sup>.

4. Говорячи про альтернативні джерела енергії також можна відзначити можливість використання енергії повітряного потоку. За останні роки з'явилися проекти, в яких було розроблено генератори засновані на принципі вітрової турбіни. Наприклад, Федершпіль і Чен [7] об'єднали ротор вентилятора, безщітковий двигун постійного струму, який працює як генератор і трифазна мостова схема. Пристрій може видавати до 28 мВт при швидкості потоку 5,1 м/с або 8 мВт при 2,5 м/с. Зовсім недавно Rancourt et al. [8] продемонстрували менший пристрій з ротором діаметром 4,2 см, який забезпечує потужність 2,4 і 130 мВт при швидкості потоку 5,5 і 12 м/с відповідно в обох випадках використовувалися наявні комерційні частини ротора та генератора. Myers et al. [9] розробили п'єзоелектричний генератор, який при з'єднанні з трьома вентиляторами ротора, через кривошипний вузол, можуть видавати 5 мВт потужності при швидкості повітряного потоку 4,4 м/с.

Серед розробок генераторів вітрових потоків є досить компактні моделі. Невеликий пристрій було реалізовано за допомогою технології MEMS [10]. Він був розрахований на велику швидкість потоку. Генератор містить вісь діаметром 12 мм, турбіна інтегрована з осьовим електромагнітним потоком генератора. Хоча його не було протестовано у звичайному потоці повітря, випробування каналів показали, що вихідна потужність може бути 1 мВт. Для роботи у реальному потоці повітря для такої ж вихідної потужності очікується, що швидкість потоку має становити приблизно 40 м/с.

Хоча результати, про які йшлося вище, є обнадійливими, вони призначені для відносно великих пристроїв, та не можуть бути застосовані для багатьох бездротових систем.

**Висновки.** Альтернативні джерела енергії все більше привертають дослідницьку увагу. Бездротові сенсорні вузли є перспективною сферою застосування для генераторів енергії з вібрацій. Автономні мережі мають широкий спектр сфер застосування та зможуть житися з різних джерел вібрацій. П'єзоелектричні, електростатичні та електромагнітні пристрої широко досліджуються, проте рівень потужності залишається нижче теоретичних максимумів. Найвищі значення ефективності були досягнуті для більших пристроїв, що працюють в діапазоні частот 10-100 Гц. Практична експлуатація генераторів вимагає ефективну схему обробки та керування електроенергією, і, відповідно, ця тема є швидко зростаючою підтемою досліджень. Успішна експлуатація, можливий збір енергії руху для різних сфер застосувань вимагають відповідного проектування всієї бездротової мережі системи, включаючи роботу з розрахунком електричної схеми.

#### Список використаних джерел

1. "A micro electromagnetic generator for vibration energy harvesting" S P Beeby<sup>1</sup>, R N Torah, M J Tudor, P Glynne-Jones, T O'Donnell.
2. IEEE TRANSACTIONS ON VERY LARGE SCALE INTEGRATION (VLSI) SYSTEMS, VOL. 9, NO. 1, FEBRUARY 2001.
3. D. S. Snyder, BVibrating transducer power supply for use in abnormal tire condition warning systems,[ U.S. Patent 4 384 382, May 1983.
4. D. S. Snyder, BPiezoelectric reed power supply for use in abnormal tire condition warning systems,[ U.S. Patent 4 510 484, Apr. 1985.
5. S. Bush, BPower source scavenges energy from environment,[ Electron. Weekly, p. 3, Feb. 9, 2005

6. K. E. Reilly and P. Wright, BThin film piezoelectric energy scavenging systems for an on chip power supply,[ in Proc. Int. Workshop Micro Nanotechnol. Power Generation Energy Conversion Applicat., Berkeley, CA, Dec. 2006, pp. 161–164
7. C. C. Federspiel and J. Chen, BAir-powered sensor,[ in Proc. IEEE Sensors, 2003, vol. 1, pp. 22–25.
8. D. Rancourt, A. Tabesh, and L. G. Fre'chette, BEvaluation of centimeter-scale microwind mills: Aerodynamics and electromagnetic power generation,[ in Proc. PowerMEMS, Freiburg, Germany, Nov. 2007, pp. 93–96.
9. R. Myers, M. Vickers, and H. Kim, BSmall scale windmill,[ Appl. Phys. Lett., vol. 90, 2007, paper 054 106.
10. A. S. Holmes, G. Hong, K. R. Pullen, and K. R. Buffard, BAxial-flow microturbine with electromagnetic generator: Design, CFD simulation and prototype demonstration,[ in Proc. IEEE MEMS, 2004, pp. 568–571
11. "Introduction to Vibration Energy Harvesting" Francesco Orfei

## УДК 621.314.26

Жук О.К., к.т.н., Дзисюк Я.В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАРЯДНИХ СИСТЕМ БЕРЕГ – СУДНО

**Актуальність.** Останнім часом зростає практичне використання чисто електричних суднових рухових установок, що обумовлено розвитком виробництва літій-іонних акумуляторних батарей високої ємності при постійному зниженні їхньої вартості. На судах з короткими маршрутами (наприклад, на поромках або портових буксирах) акумуляторні батареї забезпечують роботу без використання вуглеводневого палива 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, 2].

Отже, необхідні подальші дослідження напрямів удосконалення зарядних систем берег-судно (ЗСБС) для підвищення їхньої енергоефективності з урахуванням типу суднових електроенергетичних систем (СЕЕС), що обслуговуються, необхідного часу зарядки, наявності берегових накопичувачів та можливості використання відновлювальних джерел енергії в «розумних» портах. В [2] виконано початковий, чисто якісний порівняльний аналіз можливих топологічних рішень ЗСБС. Розглянуто три основні структури зарядних систем великої потужності для акумуляторних суден: дві дротові з живленням судна від берега змінним або постійним струмом (АС або DC) та бездротова з індуктивною передачею енергії (IPT). Крім того, додатково виконано аналіз застосування кожної дротової структури при двох варіантах СЕЕС, що обслуговується: з головними шинами постійного або змінного струму. Однак, в [2] відсутні аналітичні дослідження показників енергоефективності для систем передачі енергії берег-судно різної архітектури. Для вирішення цієї задачі слід виконати аналіз втрат потужності в основних компонентах зарядних систем берег-судно на шляху передачі і перетворення параметрів електроенергії.

**Метою** роботи є порівняльна оцінка ефективності передачі енергії для трьох основних структурних рішень ЗСБС (АС, DC та індуктивної) при двох різних архітектурах бортової енергетики: головні шини постійного струму (DC Main-Bus) та головні шини змінного струму (AC Main-Bus). Дослідження повинні виконуватись з урахуванням такого визначального фактору як відношення потужності, одержаної безпосередньо від берегової мережі  $P_G$ , до потужності, одержаної від берегової накопичувальної батареї  $P_B$ . Як основний показник енергетичної ефективності розглядаємо коефіцієнт корисної дії (ККД) ЗСБС, тобто відношення енергії, спожитої бортовим акумулятором до сумарної енергії, що надходить від берегової мережі безпосередньо та через береговий акумуляторний накопичувач.

**Моделі втрат потужності у компонентах зсбс на шляху заряджання бортової батареї.** Основні компоненти: напівпровідникові перетворювачі (двонаправлений інверторний перетворювач напруги - DC/AC; двонаправлений перетворювач постійної напруги - DC/DC; випрямляч - AC/DC); система індуктивної передачі енергії – IPT; акумулятор; силовий трансформатор.

Трифазний дворівневий PWM-інвертор з LCL фільтром показано на рис.1.

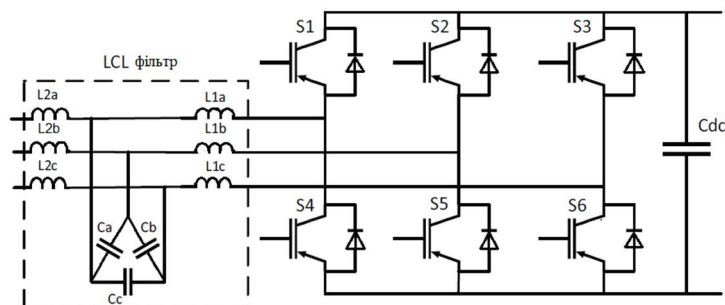


Рис. 1. Дворівневий PWM-інверторний перетворювач напруги з LCL фільтром

Втрати потужності у IGBT на дві частини: статичні – втрати провідності та динамічні – перемикання або комутаційні.

Вихідна характеристика IGBT апроксимується у вигляді [3]:

$$U_{CE}(t) = U_{CE0} + r_{CE} i_C(t). \quad (1)$$

Отже, втрати потужності провідності у IGBT дворівневого інвертора можна розрахувати наступним чином:

$$P_{втр.провід.T} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{CE}(t) i_C(t) dt. \quad (2)$$

У припущенні синусоїдальної форми струмів та ідеального робочого циклу втрати провідності в IGBT будуть розраховані за таким виразом [4]:

$$P_{втр.провід.T} = (1/2\pi + m \cos(\theta)/8) U_{CE0} I_c + (1/8 + m \cos(\theta)/3\pi) r_{CE} I_c^2, \quad (3)$$

де  $m$ ,  $I_c$ ,  $\omega$  та  $\theta$  – відповідно коефіцієнт модуляції, пікове значення вихідного струму, частота вихідного сигналу і фазовий зсув між вихідним струмом і основною гармонікою вихідної змінної напруги.

Потужність, розсіювана у відкритому стані діода, розраховується за виразом [4]:

$$P_{втр.провід.D} = (1/2\pi - m \cos(\theta)/8) U_{FW0} I_D + (1/8 - m \cos(\theta)/3\pi) r_F I_D^2. \quad (4)$$

Для розрахунку потужності втрат, що виникають у ланці DC постійного струму та фільтрах LCL, використовуються наступні вирази:

$$P_{Cdcвтр} = r_{Cdc} (2\pi f_{sw} C_{DC} \Delta U_{DC}); \quad (5)$$

$$P_{LCLвтр.провід} = 3(r_{L1} + r_{L2}) I_{вух}^2, \quad (6)$$

де  $r_{Cdc}$ ,  $r_{L1}$  – еквівалентний послідовний опір (ESR) конденсатора проміжного контуру і котушок індуктивності у фільтрі LCL і відповідно,  $\Delta U_{DC}$  – пульсація напруги на стороні постійного струму проміжної ланки. Включення та вимкнення лінійно і нелінійно залежать від струму колектора  $I_{вух}$  та напруги блокування  $U_{cc}$  відповідно. У зв'язку з цим наближений вираз для втрат перемикання IGBT має вигляд [3]:

$$P_{swвтр.T} = \sqrt{2f_{sw} (E_{вмк} + E_{вумк})} / \pi \cdot I_{вух} / I_{ном} (U_{cc} / U_{ном})^{1.3}, \quad (7)$$

де  $E_{вмк}$  та  $E_{вумк}$  втрати енергії при увімкненні та вимкненні, що визначаються з технічної специфікації за відповідними значеннями напруги та струму, що визначаються за довідковими даними у частках від відповідних номінальних значень  $U_{ном}$  та  $I_{ном}$ . Для діодів враховуються лише втрати потужності при вимкненні, обумовлені зворотним струмом відновлення [3]:

**Двонаправлений DC/DC перетворювач.** Як перетворювач постійної напруги DC/DC для батарейної системи зберігання енергії розглядається знижувально-підвищувальний перетворювач, показаний на рис. 2, а. Він діє як знижувальний, коли акумулятор заряджається, і як підвищувальний при розряді акумулятора. Складовими енергетичних втрат є 1) втрати провідності та 2) втрати перемикання. Усереднені втрати провідності розраховуються за лінійною апроксимацією вихідних характеристик IGBT і діода, як показано в [5].

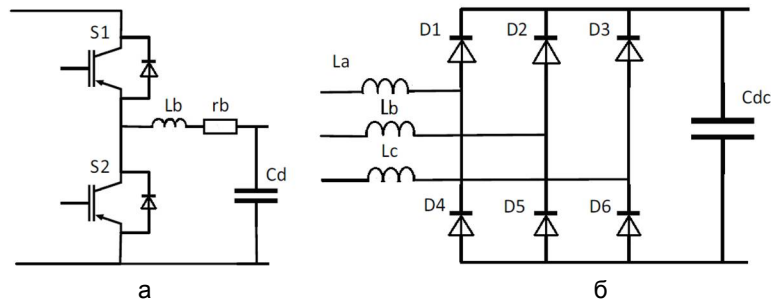


Рис. 2. а – двонаправлений понижуально-підвищувальний перетворювач; б – трифазний діодний випрямляч

$$P_{втр.провід.T} = D U_{CE0} I_{Lb} + D r_{CE} I_{Lb}^2; \quad (8)$$

$$P_{втр.провід.D} = (1-D) U_{FW0} I_{Lb} + (1-D) r_F I_{Lb}^2; \quad (9)$$

$$P_{втр.провід.Lb} = r_{Lb} I_{Lb}^2, \quad (10)$$

де  $r_{Lb}$  та  $I_{Lb}$  – виміряні значення опору і струму підвищувального дроселя,  $D$  – шпаруватість перетворювача, яка дорівнює відношенню напруги батареї до напруги шини постійного струму. Комутаційні втрати транзистора і діода розраховуються наступним чином [3].

$$P_{sw.втр.T} = f_{sw} (E_{вкл} + E_{вумк}) \cdot I_{вух} / I_{ном} (U_{cc} / U_{ном})^{1.3}; \quad (11)$$

$$P_{sw.emp.D} = f_{sw} E_{rr} (I/I_{ном})^{0.6} (U_{cc}/U_{ном})^{0.6}. \quad (12)$$

**Трифазний діодний випрямляч.** Для перетворення змінного струму на постійний у випадках, коли немає необхідності регулювання вихідної напруги та потужності, використовується діодний випрямляч, зображений на рис. 2, б.

Діоди моделюються як джерело постійної напруги  $U_{FW0}$  та опір  $r_F$ . Усереднена потужність втрат провідності для діодного випрямляча розраховуються згідно з (13), в якій  $I_{dc}$  величина вихідного постійного струму випрямляча [5].

$$P_{втр.провід.D} = 2U_{FW0}I_{dc} + \pi/3 r_F I_{dc}^2. \quad (13)$$

Оскільки частота мережі становить 50 або 60 Гц, втрати потужності при перемиканні діодів є незначними і ними можна знехтувати.

**Система індуктивної передачі енергії IPT.** Як показано на рис. 3, система індуктивної передачі енергії складається з інвертора, пари резонансних контурів (передавального і приймального) з виділеними послідовними котушками  $L_t$  та  $L_r$  і компенсаційними конденсаторами  $C_1$  та  $C_2$ , а також випрямляча на приймальній стороні.

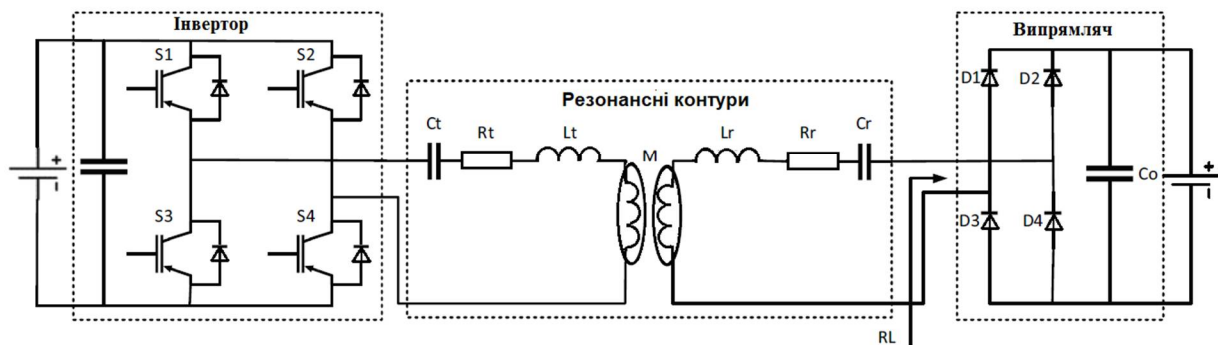


Рис. 3. Система індуктивної передачі енергії IPT, що використовується для бездротової зарядки

Для розрахунку загальної ефективності системи кожна її частина має бути проаналізована окремо. Ефективність (ККД) контурів індуктивної передачі потужності  $\eta$  на резонансній частоті ( $\omega_0 = 1/\sqrt{L_t C_t} = 1/\sqrt{L_r C_r}$ ) обчислюється за виразом, який залежить від взаємної індуктивності  $M$ , опору навантаження  $RL$  та інших параметрів ( $R_t$  і  $R_r$  - еквівалентні опори котушок і послідовних конденсаторів в передавальному і приймальному контурах) [7].

$$\eta = \frac{R_L (\omega_0 M)^2}{((R_s + R_t)(R_L + R_r) + (\omega_0 M)^2)(R_L + R_r)}. \quad (14)$$

Оскільки в резонансній системі IPT виконується умова увімкнення IGBT при нульовій напрузі (ZVS), втрати потужності в транзисторах і діодах інвертора складається з втрат провідності та втрат лише при вимиканні [8]. Перший член розраховується шляхом врахування основної гармоніки вихідного струму у виразах (3) та (4) для повномостової конфігурації. Втрати потужності перемикання розраховуються згідно з (7), але з заміною ( $E_{вмк} + E_{вумк}$ ) на  $E_{вумк}$ . У випрямлячі враховуються лише втрати потужності провідності згідно з (13).

**Акумулятор.** Втрати енергії в накопичувальній батареї складають різницю між енергією, необхідною для заряджання батареї, і енергією, що вивільняється при її розряді. Ці втрати необхідно враховувати для оцінки загальної ефективності ЗСБС. Вони залежать від ступеня заряду (state of charge - SoC), зарядного струму і режиму роботи, будь то процес заряджання або розрядки. Для оцінки втрат потужності застосовується спрощена еквівалентна схема [9], показана на рис. 4, у якій моделюються втрати потужності при заряджанні та розрядці акумуляторної батареї.

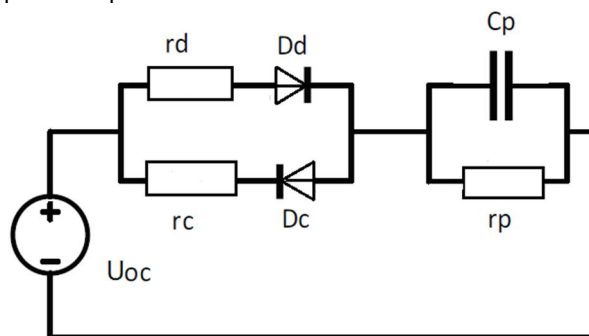


Рис. 4. Модель літій-іонного акумулятора

Для розрахунку втрат у батареї використовується наступний вираз, в якому  $n_s, n_p, r_b, P_{бат.}$  та  $U_{бат.}$  - відповідно кількість комірок, включених послідовно і паралельно, внутрішній опір комірки, потужність та напруга акумуляторної батареї [9]:

$$P_{втр.бат.} = n_s / n_p \cdot r_b (P_{бат.} / U_{бат.})^2. \quad (15)$$

**Силовий трансформатор.** Розподільний трансформатор 50 або 60 Гц з'єднує мережу із зарядною станцією. Силовий трансформатор створює дві складові втрати потужності: 1) практично незмінні втрати холостого ходу (у сталі), які залежать від напруги мережі та 2) втрати в міді, які залежать від величини навантаження. Таким чином, загальні втрати в трансформаторі можна розрахувати за таким виразом:

$$P_{TR.втр.} = P_{хол.х} + P_{cu} (P_{нав.} / P_{ном.})^2. \quad (16)$$

**Приклад дослідження.** Розглядається розрахунок показника енергоефективності ЗСБС (ККД) для акумуляторного порома, призначеного для коротких дистанцій. На енергоефективність впливає розклад цього порома, який впливає на тривалість режимів заряджання бортових акумуляторів, що здійснюються протягом світлового дня. Другий фактор впливу - програма заряджання берегових акумуляторних батарей. Для розрахунку енергоефективності системи зарядки необхідно визначити план зарядки і потужність перетворювачів, що впливає на вибір напівпровідникових ключів. У зв'язку з цим, припустимо, що розклад порома складається з двох переходів між протилежними причалами по 30 хв. та двох зупинок по 15 хв. Це означає, що бортова батарея заряджається протягом 15 хв., а берегова батарея - протягом 75 хв. Загальні характеристики та розрахункові параметри ЗСБС, а також характеристики режимів заряджання акумуляторних батарей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Загальні схемні та режимні параметри ЗСБС

| Параметри                                                                                                            | Символ              | Значення              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Ємність та номінальна напруга берегової батареї                                                                      | $C_{OSB}, U_{OSB}$  | 400 кВТ·год,<br>650 В |
| Внутрішній опір літій-іонної батареї при заряджанні та розрядці [9]                                                  | $r_c, r_d$          | 15 мΩ, 10 мΩ          |
| Потужність розрядки берегової батареї                                                                                | $P_B$               | 100~500 кВт           |
| Потужність зарядки берегової батареї                                                                                 | $P_{c-OSB}$         | 100~500 кВт           |
| Потужність мережі (11 кВ, 50 Гц)                                                                                     | $P_G$               | 100~500 кВт           |
| Час зарядки бортової батареї                                                                                         | $t_{c-ONB}$         | 15 хв                 |
| Час зарядки берегової батареї                                                                                        | $t_{c-OSB}$         | 75 хв                 |
| Енергія зарядки бортової батареї                                                                                     | $E_{c-ONB}$         | 100~500 кВт·год       |
| Трансформатор мережевого інтерфейсу, номінальні потужність та напруги                                                |                     | 1 МВА, 11кВ:0,69кВ    |
| Трансформатор мережевого інтерфейсу, номінальні втрати потужності в режимі холостого ходу та короткого замикання [9] | $P_{nl}, P_{Cu}$    | 2 кВт,<br>10 кВт      |
| Напруга основної бортової шини постійного струму                                                                     | $U_{DC}$            | 980 В                 |
| Напруга основної бортової шини змінного струму                                                                       | $U_{AC}$            | 690 В                 |
| Параметри IGBT (FF1000R17IE4P)                                                                                       | $U_{CES}, I_{Cnom}$ | 1,7 кВ, 1 кА          |
| Параметри діодів (SKKD 701)                                                                                          | $U_{RSM}, I_{FAV}$  | 1,7 кВ, 701 А         |

Нехай Система індуктивної передачі енергії має передачі максимальну потужність 600 кВт [6]. Таблиця 2 показує конструктивні параметри системи індуктивної зарядки, необхідні для розрахунку енергоефективності.

Таблиця 2. Конструкційні параметри системи індуктивної зарядки

| Параметри                    | Символ               | Значення      |
|------------------------------|----------------------|---------------|
| Власні індуктивності котушок | $L_t, L_r$           | 400 мГ        |
| Взаємна індуктивність        | $M_{min}, M_{max,i}$ | 80 мГ, 200 мГ |
| Активні опори котушок        | $R_t, R_r$           | 40 мΩ         |
| Резонансна частота           | $f_r$                | 3 кГц         |

**Результати і висновки.** Методологія розрахунку енергоефективності, що використовується в цій роботі, заснована на використанні викладених вище моделей втрат потужності для визначення складових загальної ене-

ргії, які подаються на бортову батарею і споживаються безпосередньо від мережі та опосередковано через берегову батарею. Для оцінки потоку потужності протягом одного 90-хвилинного циклу зарядки втрати розраховані при роботі різних схемних рішень ЗСБС. Передбачається, що напруга бортової батареї залишається незмінною при її номінальному значенні внаслідок невеликих змін SoC (ступеня заряду) акумулятора в процесі зарядки. Оскільки втрати потужності в силових компонентах залежать від робочої точки, енергоефективність змінюватиметься залежно від необхідної потужності заряджання та схеми заряджання. Одним з факторів, що впливають на енергоефективність, є співвідношення потужності  $P_G$ , що споживається при зарядці безпосередньо від мережі та потужності  $P_B$ , що споживається через берегову систему накопичення енергії – БСНЕ (onshore Battery Energy Storage System – BESS). На рис. 5 наведено розраховані графіки залежностей показника енергоефективності (ККД) від співвідношення  $P_G/P_B$  для різних структур ЗСБС (AC, DC, IPT) і схем бортової енергетики (DC Main-Bus, AC Main-Bus).

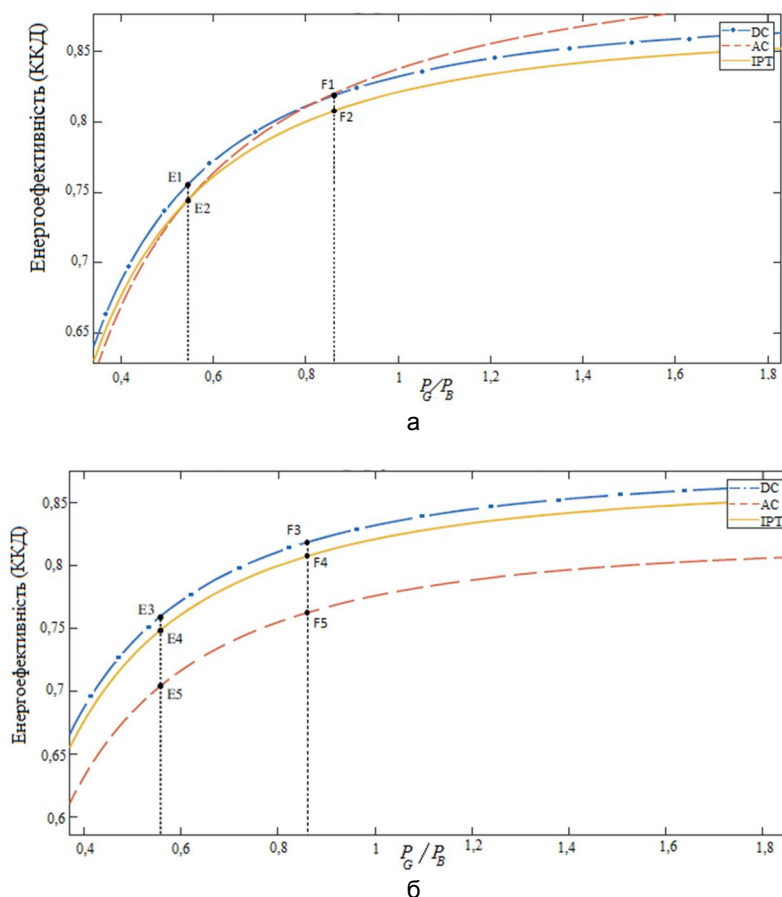


Рис. 5. Криві залежностей загальної енергоефективності (ККД) ЗСБС: а – для бортової установки постійного струму; б – для бортової установки змінного струму.

Аналіз одержаних залежностей дозволяє зробити наступні висновки:

1. Чим вище відношення потужності мережі до потужності берегової батареї, які споживаються у процесі заряджання бортової батареї, тим вище загальний ККД системи. Це відбувається через додаткові втрати енергії, що виникають у процесі зарядки та розрядки берегових акумуляторів у складі БСНЕ. Однак, при збільшенні частки енергії берегових акумуляторів навантаження на мережу і плата за електроенергію, спожиту для підтримки бортового зарядного навантаження зменшується. Таким чином, таке відношення слід оптимізувати з точки зору енергоефективності з урахуванням можливостей місцевої мережі та наявності власних відновлювальних джерел електроенергії.

2. З графіків на рис. 5, а, б випливає, що за прийнятих у прикладі параметрах система індуктивної зарядки завжди ефективніша, ніж дровтова система змінного струму для бортової установки з головною шиною постійного струму, а при  $P_G/P_B < 0,54$  вона також ефективніша, ніж дровтова система змінного струму і для бортової установки з головною шиною змінного струму.

Хоча енергоефективність дровтової системи постійного струму завжди дещо вища, ніж у індуктивній системі, остання має деякі безпрецедентні переваги, а саме усуває необхідність використання ненадійних контактних стикувальних вузлів та надає можливість повного використання короткого часу стикування для заряджання незалежно від складних погодних умов та впливу обмерзання та засоленості.

3. Для порома з основною шиною постійного струму найбільш ефективним рішенням за прийнятих параметрах є заряджання від системи постійного струму при  $P_G / P_B < 0,83$ . В іншому випадку ( $P_G / P_B > 0,83$ ) найбільш ефективним є заряджання від системи змінного струму. Варто зазначити, що за наявності берегового накопичувача енергії заряджання постійним струмом є найбільш ефективним вибором, оскільки у цьому випадку відношення потужностей, споживаних від мережі і від батареї не перевищує 1. Наприклад, з розгляду точок E1 та E2 на рис. 5, а, випливає, що при заміні системи заряджання змінного струму зарядним пристроєм постійного струму енергоефективність підвищується на 1,2%. Якщо пором здійснює 10 рейсів на день і споживає 150 кВт енергії з мережі в двох портах, економія енергії протягом місяця приблизно дорівнює енергії, необхідної для роботи протягом цілого робочого дня.

4. Для порома з основною шиною змінного струму найбільш ефективним рішенням є берегова зарядна станція з постійного струму. Це пов'язано з тим, що при заряджанні від станції змінного струму енергія берегової батареї спочатку перетворюється на енергію змінного струму у береговій шині і потім знову перетворюється у енергію постійного струму на судні для зарядки бортової батареї. Навпаки, у системі зарядки постійного струму шлях розрядки акумуляторної батареї берегового накопичувача до бортової батареї не містить будь-яких ступенів перетворення постійного струму змінний. Наприклад, з розгляду точок E3 та E5 на рис.5(b) випливає, що при заміні системи заряджання змінного струму на систему заряджання постійного струму енергоефективність зростає на 4%.

5. Із врахуванням практичних переваг системи індуктивної зарядки слід вважати перспективним рішенням, незважаючи на їхню дещо меншу енергоефективність.

#### Список використаних джерел

1. Жук О. К., Дзисюк Я. В. Забезпечення ефективності індуктивної системи передачі енергії зі змінкованими умовами зв'язку // Суднобудування та морська інфраструктура. – 2021. – №1– С. 24– 35.
2. Жук О. К., Дзисюк Я. В., Слабодчиков А.А. Берегові зарядні системи для акумуляторних суден // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: XII Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали. – Миколаїв: НУК, 2021– С. 603–611.
3. A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky and T. Reimann, "Application Manual Power Semiconductors," SEMIKRON International GmbH, Ilmenau, Germany, 2015.
4. M. H. Bierhoff and F. W. Fuchs, "Semiconductor losses in voltage source and current source IGBT converters based on analytical derivation," in 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, Aachen, Germany, 2004.
5. B. Z. a. L. E. Norum, "Efficiency analysis of shipboard dc power systems," in IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, 2013.
6. Vilathgamuwa D.M., Sampath J.P.K. , "Wireless Power Transfer (WPT) for Electric Vehicles (EVs)—Present and Future Trends," in Plug In Electric Vehicles in Smart Grids, Singapore, Springer, 2015.
7. A. Kjellevoll, "Analysis and control of inductive power transfer systems for wireless battery charging in subsea applications," in Master's Thesis, Trondheim, Norway, Norwegian University of Science and Technology, June 2019.
8. G. Guidi and J. A. Suul, "Minimizing Converter Requirements of Inductive Power Transfer Systems With Constant Voltage Load and Variable Coupling Conditions," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 11, pp. 6835-6844, Nov. 2016.
9. R. Barrera-Cardenas, O. Mo and G. Guidi, "Optimal Sizing of Battery Energy Storage Systems for Hybrid Marine Power Systems," in 2019 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), Washington, DC, USA, 2019.

### СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 629.1

*Войтасик А. М., к.т.н., Златов Р. С. студент гр. 6363м**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ГВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА

Однією з задач для яких може бути призначений компресор на судні є його використання в якості джерела стисненого повітря під час пуску та протягом подальшої роботи двухтактного дизельного двигуна [1]. Компресор на судні здатний забезпечувати такий дизельний агрегат необхідною кількістю стисненого повітря забезпечуючи його ефективне та безпечне використання протягом всього робочого циклу. Адже, сам по собі двухтактний дизельний двигун не здатний без сторонньої допомоги компресора запуститися та функціонувати в номінальному режимі. Актуальності набувають напрямки дослідження цієї ситуації [2-6]. Для повноцінної роботи такого агрегату необхідно забезпечити його примусову подачу повітря більшу ніж 0,12 МПа (не більше 0,25 МПа) [7]. При цьому варто зважити саме на необхідність паралельної роботи компресора разом з працюючим в такт дизельним двигуном.

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей суднових компресорів, які застосовують електропривод та вибір певного варіанту для його подальшої розробки та реалізації.

Різноманіття суднових компресорів досить широке [8]. Відрізняються вони і конструкціями, і принципами дії, а також технічними характеристиками, які здатні забезпечувати компресорні агрегати під час своєї роботи. Для вирішення задач, які потребують забезпечення невеликого рівня тиску достатньо використовувати осьові, або центробіжні компресори ( $<1$  МПа). Для більшої продуктивності, вже варто віддавати перевагу конструкціям з використанням рухомих поршнів ( $10$  МПа  $> \dots > 1$  МПа). Конструктивне виконання компресора, за різних типів конструкцій, може бути як горизонтальної так і вертикальної установок.

Загальний принцип роботи однопоршневого компресора (рис. 1) полягає у нагнітанні необхідного рівня тиску повітря шляхом його циклічного переміщення вперед/назад [9]. При цьому при русі поршня вперед – повітря потрапляє в камеру циліндра через спеціальний клапан в конструкції, а при русі поршня назад – вже стиснене повітря потрапляє через нагнітаючий клапан в робочу магістраль.



Рис. 1. Судновий поршневий компресор

Багатопоршневі компресори працюють за таким же принципом, відмінність може полягати лише в кількості пар циліндрів та поршнів, а також їх розташування. Тут вже мова йде про певну кількість ступенів стиснення компресора та можливу зміну напрямку руху стисненого повітря. Тобто, чи надходить стиснене повітря в одну магістраль, або рухається декількома ступенями, переходячи з однієї магістралі в іншу.

Компресори описаних типів більше мають відношення до агрегатів низького та середнього тисків. Якщо ж мова йде про необхідність забезпечувати тиск  $>10$  МПа, то це вже агрегати високого тиску нагнітання. Вагомим показником якості компресора є рівень чистоти повітря з яким він здатний працювати. Стороння наявність мастила або води в стисненому повітрі може мати різні негативні наслідки: від ушкодження конструкційних складових механізмів до виникнення вибухонебезпечних ситуацій. Для того, щоб уникнути подібних наслідків варто передбачати наявність спеціального масляного або водяного відділювача. Також, варто приділяти достатню кількість уваги номінальній температурі нагрівання стисненого повітря. Для контролю за її рівнем потрібно передбачати

наявність охолоджуючих контурів. Реалізовані вони можуть бути по різному, проте основна їх мета забезпечення достатньої кількості відведення надлишкової температури.

Існують конструктивні варіанти компресорів коли мастило та повітря взагалі не контактують в процесі роботи. Це більше має відношення до так званих центробіжних повітряних компресорів, в яких симетричні робочі колеса при виконанні обертового руху направляють спеціальними лопатками стиснене повітря в круговий дифузор, який саме передбачений для накопичення потенціальної енергії. На відміну від центробіжних компресорів конструкція гвинтових (роторних) агрегатів (рис. 2) навпаки використовує змішення повітря разом з мастилом, яке потім подається в окрему ємність де і виконується його стискання. Їх відмінною рисою від поршневих є більш зменшена гучність та вібрація під час роботи [10].

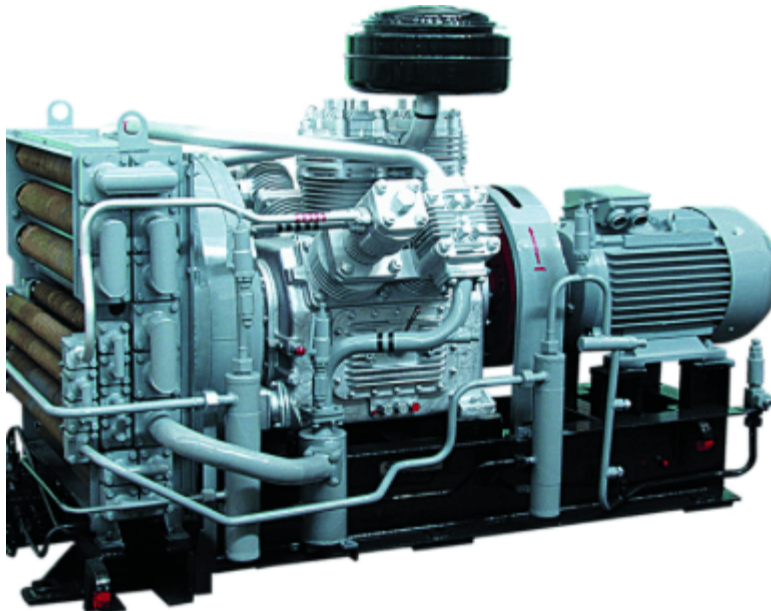


Рис. 2. Судновий гвинтовий компресор

Принцип роботи гвинтових компресорів полягає у стисканні повітря шляхом постійних обертових рухів роторів. Роторний блок має конструкцію, яка складається з одного спільного корпусу та двох гвинтів, які між собою не мають механічних контактів. Відстань між цими гвинтами являє собою невеличкий зазор, котрий постійно заповнюється мастилом. Попереднє очищення повітря, яке потрапляє в роторний механізм виконується з застосуванням клапана. Далі повітря змішується з мастилом та направляється до окремої ємності де і виникає процес стискання. Після чого, стиснене повітря надходить на віддільник повітря від мастила. У свою чергу мастило, яке проходить через фільтруючий елемент та контур охолодження, знову направляється в роторний блок.

Суднові гвинтові компресори добре зарекомендували себе при роботі від електричної мережі так як приведення механічної частини компресора в рух виконується за допомогою електродвигуна. Ще однією перевагою гвинтових компресорів від інших типів є можливість коригування його продуктивності за рахунок регулювання швидкості обертання виконавчого електродвигуна в досить широкому діапазоні, а це у свою чергу суттєво позначається на економічності агрегату.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод суднового гвинтового компресора. Застосування гвинтового компресора на судні дозволить забезпечити пуск та номінальний режим роботи двухтактного дизельного двигуна. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунки основних геометричних параметрів та характерних вузлів, ущільнень, необхідної кількості мастила, потужності електропривода, теплообмінника суднового гвинтового компресора з робочим тиском нагнітання 0,18 МПа.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода суднового гвинтового компресора.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

1. Холоменюк, М.В. Компресорні установки: навч. посібник. – Д.: НГУ, 2013. – 51 с.
2. Самарін, О.Є. Застосування продувних клапанів із заданим тиском відкриття в циліндрі двотактного двигуна. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 10-ї міжнародної науково-практичної конференції СЕУТТОО-2019.* – Х.: 2019. – С. 225-228.

3. Самарін, О.Є. Застосування продувних клапанів з механічним приводом в циліндрі двотактного двигуна. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 10-ї міжнародної науково-практичної конференції СЕУТТОО-2019.* – Х.: 2019. – С.229-232.
4. Самарін, О.Є. Застосування саморегульованих продувних клапанів в циліндрі двотактного двигуна. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 10-ї міжнародної науково-практичної конференції СЕУТТОО-2019.* – Х.: 2019. – С. 233-236.
5. Альохін, С.О., Пелепейченко, В.І., Перерва, П.Я., Куніцин, П.Є., Бородин, Д.Ю., Особливості процесу стиснення в малорозмірних двотактних двигунах з прямоочною продувкою. *Двигуни внутрішнього згоряння.* – Х.: 2005. – С. 40-43.
6. Кулешов, А.С. Развитие методов расчета и оптимизация рабочих процессов ДВС: дис. на здобуття наук. ступеня доктора технічних наук: 05.04.02. – М., 2011. – 235 с.
7. Бондаренко, Г. А. Компресорні станції: підручник. – Суми: СДУ, 2016. – 385 с.
8. Долганов, А.В. Стационарные машины. Магнитогорск.: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 218 с.
9. Блох Х. Компрессоры и современные технологические процессы. – М.: Техносфера, 2011. – 344 с.
10. Хлумский, В.Я. Ротационные компрессоры и вакуум-насосы. – М.: Машиностроение, 1971. – 126 с.

#### УДК 621.8

Войтасик А. М., к.т.н., Корунський В. В. студент гр. 6364мз

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОЇ ТРАЛОВОЇ ЛЕБІДКИ

Суднові тралові лебідки передбачають реалізацію режимів спуску трала, вибирання ваєрів та піднімання улову на борт судна. В залежності від глибини травлення, улова та конструкції трала зусилля, які виникають на ваєрах можуть варіюватися в широкому діапазоні [1, 2]. Додаткові зусилля створюють хвилювання водної поверхні, які проявляються у вигляді епізодичних ривкових навантажень. Зусилля на ваєрах, які створюються рухом судна, складають суттєву частину, яку має долати електропривод тралової лебідки. Саме тому, актуальності набуває питання дослідження впливу цих зусиль на роботу електропривода суднової тралової лебідки [3-7].

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей суднових лебідок, які застосовують електропривод та вибір певного варіанту для його подальшої розробки та реалізації.

Аналіз літератури [8, 9], свідчить, що від конструкції судна можливі два варіанти роботи з тралом: кормовий та бортовий. Другий є більш зручним та практичним для невеликих суден [9]. Сама по собі, тралова лебідка (рис. 1) є основним промисловим механізмом, який забезпечує виконання всіх необхідних операцій спуску – підйому трала та виконання допоміжних вантажних робіт, пов'язаних з промислом. Різноманітність та чисельність тралових операцій визначають основні конструктивні особливості тралових лебідок. Тралова лебідка повинна мати не менше двох ваєрних барабанів та не більше восьми допоміжних бокових барабанів. Барабани сполучаються таким чином, щоб було можливим виконати максимальну кількість операцій шляхом раціонального перемикання барабанів. Електропривод лебідки та міцність її деталей мають забезпечувати широкий діапазон швидкостей та навантажень вибирання і травлення ваєрів.



Рис. 1. Суднова однабарабанна тралова лебідка

За місцем установки електропривода тралові лебідки класифікують на лебідки з приводом, встановленим безпосередньо на станині лебідки, а також лебідки з приводом від електродвигуна, який знаходиться в окремому приміщенні. Застосування редукторів може бути дуже різноманітним: черв'ячні, циліндричні, конічні, а також змішані одношвидкісні та двошвидкісні редукторні механізми.

Існують варіанти коли у якості тралового пристрою застосовують декілька розділених електричних ваєрних лебідок (рис. 2). Керування ними реалізується з центрального поста керування, який розміщується в ходовій промисловій рубці судна. Такі ваєрні лебідки мають буди облаштовані пристроями для автоматичного травлення ваєрів при підвищенні заданого зусилля, а також сигналізацією та запобіжним пристроєм при залишенні на барабані малої кількості ваєра.



Рис. 2. Суднова двобарабанна тралова лебідка

Електропривод тралової лебідки має передбачати широкий діапазон регулювання швидкості та можливість резерву. При цьому коливання навантажень на барабані лебідки не повинні мати змінний характер навантаження на приводному валу виконавчого електродвигуна. Потужність же самого електродвигуна має гарантувати швидкий підйом трала з робочої глибини. Як правило, в якості виконавчого електродвигуна використовують машини постійного струму. Схеми керування судновими траловими лебідками зазвичай реалізують по типу генератор – двигун [10]. При цьому підтримання постійної потужності дизельного агрегату судна будь-яке збільшення моменту навантаження на валу виконавчого електродвигуна має постійно супроводжуватися зменшенням швидкості його обертання.

Основні характеристики суднової тралової лебідки полягають у тягових та підйомних зусиллях, швидкості вибирання та потужності електропривода в залежності від зовнішнього навантаження. Найбільшим впливом на статичний опір знаряддя лову виявляється швидкість, що змінюється за квадратичною залежністю. При цьому швидкість травлення для системи судно-трал розглядається при рівномірно прямолінійному русі. Сама ж статична потужність електропривода та тривалість включення тралової лебідки є визначальними параметрами при виборі виконавчого електродвигуна. Перевіркою на нагрівання електродвигуна визначається його відповідність до режимів роботи суднової тралової лебідки. Серед яких також можуть бути враховані режими вибирання тралу з можливим його задіванням об ґрунт або заклинення самого ваєра. Умови функціонування електродвигуна передбачають його роботу в повторно-короткочасному режимі.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод суднової тралової лебідки. Застосування тралової лебідки на судні дозволить забезпечити реалізацію режимів спуску трала, вибирання ваєрів та піднімання улову на борт судна. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунки силової частини електропривода та швидкісних характеристик виконавчого електродвигуна.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода суднової тралової лебідки.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

1. Гевко, Б.М., Колесник, О.А., Марчук, М.М., Клендій, В.М., Мельничук, С.Л. "Науково-прикладні основи проектування піднімально-транспортних лебідок". – Р.: 2016. – 197 с.
2. Колесник, О.А., Гурик, О.Я., Пік, А.І. Клендій, М.І., Мельничук, С.Л. Обґрунтування параметрів піднімально-транспортної лебідки. *Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ"*. – Л.: №57, 2017. – С. 88-93.
3. Сердюченко, Ю.Ю. Ловейкін, В.С. Експериментальне дослідження перехідного режиму пуску канатної лебідки. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. – Х.: ХНТУСГ, 2015. – С. 153-158.

4. Сердюченко, Ю.Ю. Ловейкін, В.С. Моделювання перехідного режиму пуску канатної лебідки. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. – Х.: ХНТУСГ, №155, 2014. – С 3-10.
5. Ляшук, О.Л., Колесник, О.Л., Мельничук, С.Л. Теоретичне дослідження підвісних механізмів піднімально-транспортних лебідок. *Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ"*. – Л.: №53, 2016. – С. 97-101.
6. Тисовський, Л.О., Рудько, І.М. Дослідження закономірностей руху вантажу вздовж канатної транспортної установки. *Підйомно-транспортна техніка*. – Т.: №4, 2005. – С. 22-28.
7. Пік, А.І., Фльонц, І.І., Мельничук, С.Л. Стенд для дослідження характеристик піднімально-транспортних лебідок. *Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*. – Т.: №168, 2016. – С. 92-96.
8. Баранников, В.Л. Эксплуатация электрооборудования рыбопромысловых судов: учеб. пособие. – М.: Моркнига, 2013. – 496 с.
9. Савенко, А.Е. Судовые электроприводы: учеб. пособие. – К.: КГМТУ, 2019. – 220 с.
10. Лесных, А.С., Романов, М.Н. Релейно-контакторные системы управления. Системы управления приводами постоянного тока: учеб. пособие. – Н.: НГАВТ, 2008. – 102 с.

#### УДК 621.8

*Войтасик А. М., к.т.н., Марцин М. В. студент гр. 6364мз*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО ВАНТАЖНОГО ЛІФТА

Ліфт є унікальним транспортним засобом, призначеним для перевезення як людей так і вантажів [1]. На відміну від інших транспортних засобів масового перевезення, ліфтом керує сам пасажир або персонал, якому не потрібна висока кваліфікація. Тому керування ліфтом має бути простим, надійним та зручним. Не дивлячись на це, ліфт є складним електромеханічним пристроєм підвищеної небезпеки в якому великої актуальності набувають задачі дослідження динаміки електропривода та його надійності [2-5].

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей суднових вантажних ліфтів, які застосовують електропривод та вибір певного варіанту для його подальшої розробки і реалізації.

Відповідно з існуючою класифікацією, вантажні ліфти бувають [6]:

- звичайні;
- вантажні з монорейкою. У цих ліфтах під стелею кабіни встановлюють балку (монорейку), до якої підвішують вантажопідйомний пристрій (таль, тельфер і т.п.);
- витискні, у яких піднімальна сила прикладена до низу кабіни;
- тротуарні, у яких кабіна виходить із шахти через розташований у її верхній частині люк. Ці ліфти як правило застосовують на об'єктах з необхідністю великої кількості міжрівневого переміщення, більшими підземними бункерами і т.п..

Аналіз літератури [8-10] показав, що для електропривода суднового вантажного ліфта вертикальний рух кабіни по вертикальних напрямних може бути реалізований у двох варіантах. Перший, з застосуванням барабаних лебідок, другий – лебідок з канатоведучими шківками.

У конструкції ліфтів з барабаними лебідками підймальний канат міцно закріплюється на барабані (рис. 1).



Рис. 1. Барабанна лебідка

Таке рішення, суттєво ускладнює систему контролю і захисту канату від постійного перевантаження та як наслідок – обриву, у випадку різкого зупинення, або заклинювання кабіни. Місце розташування барабаних лебідок обумовлює обов'язкову наявність машинного відділення. Це спричинено масогабаритними характеристиками основних компонентів виконавчого електрообладнання.

Більш ефективним варіантом є застосування ліфтів з канатоведучими шківом (рис. 2). Їх конструктивне виконання більш просте, а надійність системи захисту підймальних канатів від постійного перевантаження та як наслідок – обриву, значно вище. Також, їх перевагою є відсутність обов'язкової наявності машинного відділення для розташування основних компонентів виконавчого електрообладнання.

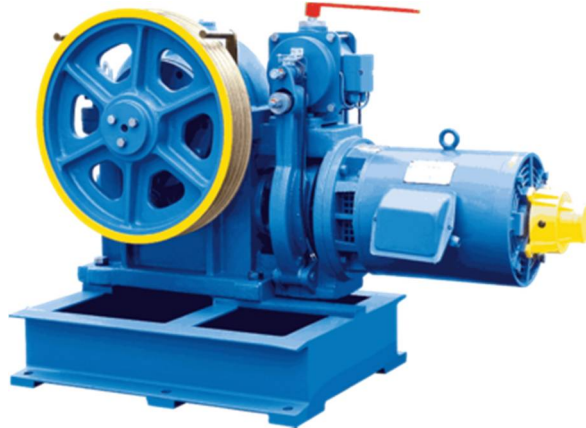


Рис. 2. Лебідка з канатоведучим шківом

Вибираючи матеріал для виготовлення електропривода суднового вантажного ліфта, слід враховувати його міцність, витривалість, зносостійкість, можливість отримання мінімальної металомісткості вузлів, складність термообробки. Треба враховувати ударну в'язкість та схильність металу до холодноламкості при низькій температурі.

Наявність противаги полегшує роботу електромеханічних гальм та дозволяє зменшити його масогабаритні характеристики, так як при цьому суттєво зменшується величина моменту, необхідного для утримання кабіни на заданому рівні при вимкненому електродвигуні (за умови повної рівноваги системи цей момент рівний нулю).

В свою чергу, вибір типу електропривода та параметрів виконавчого електродвигуна може вплинути на кінематичну схему ліфта. Таким чином, при використанні високошвидкісного асинхронного привода обов'язкове використання редуктора в механічній передачі для узгодження швидкостей електродвигуна та канатоведучого шківом. При виборі електропривода постійного струму досить часто використовують тихохідні електродвигуни, частота обертання яких співпадає з необхідною частотою обертання канатоведучого шківом, що виключає необхідність застосування понижуючого редуктора [11]. Це спрощує механічну передачу та зменшує втрати потужності на цій передачі. Система стає досить безшумною.

Вибираючи матеріали для побудови конструкції механізму електропривод суднового вантажного ліфта, слід мати на увазі, що вартість їх становить 40...75 % загальної вартості ліфта. Деталі, які інтенсивно стираються (диски тертя, шестерні, вали-шестерні тощо), треба виготовляти зі сталі 50Г; важко навантажені вали, вали-шестерні, черв'яки та зірочки механізмів виготовляти із сталі 40Х або 45Х; металеві конструкції з тривісним напруженням станом – з низьколегованих сталей 10ХСНД, 15ХСНД, 09Г2. З модифікованого чавуну виготовляють барабани, блоки та ходові колеса (для невеликих навантажень).

Болти, що з'єднують металоконструкції з маловуглецевої сталі, виготовляють із Ст3, а ті, що з'єднують металоконструкції з низьколегованих сталей, – зі сталі 40Х. Для теплоізоляції кабін використовуватимемо пінопласт, для облицювання стін – декоративний паперошаровий пластик, для буферів і втулок пальцевих муфт – гуму; для гальмівних колодок – азбестову фрикційну стрічку.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод суднового вантажного ліфта з застосуванням барабанної лебідки. Застосування вантажного ліфта на судні дозволить суттєво зменшити час обробки вантажів. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розробку та розрахунок кінематичних, силових та енергетичних параметрів механізму підйому/спуску вантажної платформи суднового ліфта вантажопідйомністю 2 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода суднового вантажного ліфта.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

## Список літератури

1. Григоров, О.В. Ліфти: навчальний посібник. Х.: «ХПІ», 2016. 172 с.
2. Поливода, В.М. Модернізація електропривода вантажного ліфта науково-дослідного судна: робота магістра. – Херсон: ХФ НУК, 2020. – 94 с.
3. Джелилов, Р.Э., Аблаев, А.Р. Классификация судоподъемных сооружений и их совершенствование. *Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений*. – Севастополь: СГУ, 2017. – С. 34-39.
4. Садыков, Д.Н., Бочкарев, И.В. Исследование динамики движения лифта при различных видах задания скорости приводного электродвигателя. – Б.: КГТУ им. И. Раззакова, 2020. – С. 88-95.
5. Афонин В.И., Балабанов, И.Н. Регулируемый электропривод лифтов с асинхронными электродвигателями. *Электротехника*. – М.: 2006, №5. – С.37.
6. Витчук, П.В., Фарафонтова, К.А. Современные конструкции грузовых лифтов. Материалы научно-технической конференции «Современные технологические процессы и методы контроля в электронике и микроэлектронике» – Калуга: КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, С. 224-228.
7. Манухин С.Б., Нелидов И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов: учебник. М.: «ACADEMA», 2004. 336 с.
8. Зелюкин, С.А., Сарсембаев, Д.Ж., Бисенгалиева, С.М. Электромеханик по лифтам. – Нур-Султан: «Talar», 2020. 299 с.
9. Бадагуев, Б.Т. Лифтовое оборудование. М.: «Альфа-Пресс», 2010. 61 с.
10. Правила техніки безпеки на судах морського і річкового флоту України КНДЗ 31.2.002.07, 2002 – 87 с.
11. Шашкин, С.В. Основы теории электропривода: учебн. пособие.– С.: ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – 45 с.

## УДК 621.8

Войтасик А. М., к.т.н., Фомін С. А. студент гр. 6363мз

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ СПУСКО-ПІДЙОМНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО СУДНА «ДЕЛЬТА»

На сьогоднішній день, існуванням підводної техніки мало кого здивуєш. Починаючи від маленьких робототехнічних засобів, які здатні вирішувати задачі пошуку та обстеження на невеликих підводних ділянках річок та озер, закінчуючи громіздкими потужними засобами призначеними для вирішення складних технічних операцій на океанських глибинах [1]. У світовій практиці досить широке застосування така техніка знайшла у військово-морських флотах багатьох країн, серед яких є США, Канада, Італія, Великобританія та інші. Проте, і Україна у цьому питанні має великий потенціал розробок, який вже успішно застосовується у Чорному морі. Але яким би мізерним, або повним функціоналом не були забезпечені підводні апарати слід пам'ятати, що це вже ж таки це коштовна техніка і ставитися до неї треба відповідно. Тому, будь-яка підводно-технічна робота з використанням підводних апаратів розпочинається з їхнього спуску на воду, а завершується з їх повернення на місце базування. Актуальним у цьому напрямку є питання дослідження впливу хвилювання водної поверхні на точку підвішування підводного апарата [2-5]. В залежності від набігання хвилі, відчувається зовнішній вплив натягування або попускання стропів через наявність блока плавучості підводного апарата.

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей спуско-підйомних пристроїв для підводних апаратів середнього класу (масою до 0,7 т), які застосовують електропривод та вибір певного варіанту його подальшої розробки та реалізації з прив'язкою до технічних характеристик науково-дослідного судна «Дельта».

Для виконання підводних робіт морська лабораторія «Дельта» в якості надводного носія використовує науково-дослідне судно «Дельта» (рис. 1). Це спеціалізоване судно, яке здатне виконувати унікальні підводні роботи – пошукові, аварійно-рятувальні, науково-дослідницькі та археологічні. Але для цього варто використовувати підводні апарати розробки і виробництва НУК. За останні 25 років їх вже чимало. І всі вони досить різноманітні і можуть бути виокремлені на фоні інших. Так, наприклад, багатоцільовий підводний апарат проекту «Гідрограф» призначений для:

- пошуку та виявлення з застосуванням відео-, магнітометричних та гідроакустичних пристроїв фактів несанкціонованого доступу на акваторію підводних об'єктів;
- оперативного виконання робіт як цивільного так і військового призначення з застосуванням підводного маніпулятора та тросового різак в режимі реального часу;
- підводної доставки в робочу зону виконання водолазних робіт необхідного обладнання;

– високоякісного документування процесів та результатів підводних місій з прив'язкою до GPS координат.



Рис. 1. Науково-дослідне судно «Дельта»

Всі ці задачі можна виконувати з борту судна-носія «Дельта», проте варто передбачити можливість безпечного спуску/підйому апарата [6]. Основні технічні характеристики судна представлені в табл. 1.

Табл. 1. Основні технічні характеристики науково-дослідного судна «Дельта»

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Довжина, м                                | 25   |
| Ширина, м                                 | 5,6  |
| Висота борту (від кіля до гол. палуби), м | 3,2  |
| Осадка, м                                 | 2,6  |
| Водотоннажність, т                        | 127  |
| Дедвейт, т                                | 24   |
| Потужність головного двигуна, к.с.        | 180  |
| Швидкість, вузлів                         | 9    |
| Дальність плавання, км                    | 1200 |
| Автономність (по паливу), діб             | 6    |
| Максимальне число пасажирів, чол.         | 7    |
| Кількість спальних місць, шт.             | 14   |

Аналіз літератури [3-6], свідчить, що спуско-підйомні пристрої дозволяють реалізувати переміщення вантажів у вертикальній площині з можливістю їх переміщення у горизонтальній площині з однією точки у іншу. Обмеження, які накладаються при цьому до вертикальної та горизонтальної складової характеризують робочу зону пристрою та залежать від його габаритних та технічних можливостей [7]. Існує велика кількість різновидів вантажопідіймального обладнання здатного виконувати аналогічні задачі переміщення вантажів. Так, для підйому вантажу на невелику висоту (0,8 – 1 м) можуть слугувати звичайні домкратні пристрої, що у свою чергу можуть також різноманітне конструктивне виконання. Це більше залежить від механізму за яким вони реалізують технологію спуску та підйому вантажів. Розрізняють гвинтові, зубчато-рейкові, ричажно-рейкові та інші типи домкратів.

Серед найпростіших спуско-підйомних пристроїв для роботи з переміщенням підводних апаратів добре зарекомендували себе вантажні лебідки [8]. Їх основне призначення переміщення вантажів у вертикальній площині, проте, якщо застосовувати не одну лебідку, то можна реалізувати і переміщення вантажів у горизонтальній площині. Лебідки в свою чергу можуть бути побудовані з застосуванням різних тягових органів, мати стаціонарне або пересувне виконання, бути облаштовані різною кількістю робочих барабанів.

Для механізму пересування вантажів у вертикальних та горизонтальних площинах добре підходять моторизовані електричні талі. У такому разі, спуско-підйомний пристрій, зазвичай, має вигляд поворотної одноконсольної балки в якій рух вантажів у горизонтальній площині забезпечується електроприводом вантажної каретки електричної талі. Швидкість пересування каретки залежить від довжини шляху та призначення самої талі. Робочим органом можуть слугувати або спеціалізовані захватні пристрої різного типу виконання, або звичайний однороговий гак. Це більше залежить від зручності використання спуско-підйомного пристрою загалом.

Більш вагомим та коштовним рішенням з обробки такого роду вантажів є застосування суднового крану. У такому разі, розуміється що мова вже йде про спуско-підйомні пристрої періодичної дії. Вони мають основну ферму, укомплектовуються окремими механізмами спуску-підйому, переміщення, повороту, або навіть пересування крану загалом. Причому, привод суднового крану може бути не лише електричним [9], а і бензиновим, дизельним, гідравлічним і т.п. Але, якщо ж говорити про економічність, то однозначно можна сказати, що саме електричний

привод постійного, або змінного струму буде найбільш прогресивним. Електродвигуни, які працюють від постійного струму здатні розвивати великі швидкості при зменшенні навантаження і володіють значним обертовим моментом при малій частоті обертання у порівнянні з шунтовими двигунами [10]. А це не аби як важливо при роботі з повним навантаженням. Стосовно змінного струму, можна відзначити, що застосування асинхронних електродвигунів отримало найбільше поширення в мостових і козлових кранах, і дещо менше у пересувних поворотних кранах.

Стрілові крани являють собою спуско-підйомні пристрої загальнопромислового призначення. Вони, у свою чергу, можуть бути стаціонарними, пересувними, повно або частково поворотними, із постійним і змінним вильотом стріли. При необхідності розширення площі обслуговування краном застосовують поворотні крани з змінним вильотом стріли. У цьому випадку кран може обслуговувати площу, розміщену між двома окружностями, радіусами яких є максимальний і мінімальний виліт стріли. Подібні крани знаходять застосування в різноманітних областях промисловості. Так, палубний кран використовується для навантаження і розвантаження судів. Зміна вильоту в цьому крані здійснюється підйомом стріли, шарнірно з'єднаний із поворотною частиною металоконструкції крана. Стріла крім повороту щодо осі колони має додаткове шарнірне зчеплення в середній частині стріли, що забезпечує поворот частини стріли в горизонтальній площині, чим і досягається зміна вильоту.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод спуско-підйомного пристрою для науково-дослідного судна «Дельта» з його розташуванням у кормовій частині. Застосування спуско-підйомного пристрою дозволить зменшити вірогідну кількість ушкоджень підводного апарата під час виконання спуско-підйомних операцій, які у свою чергу, можуть стати характерними джерелами поломок і аварій, особливо в штормову погоду. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунок електропривода спуско-підйомного пристрою вантажопідйомністю 0,7 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода спуско-підйомного пристрою.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

19. Blintsov O.V., Burunina Zh. Yu., Voityasyk A.M. Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. «Shipbuilding and Marine Infrastructure». 2018. № 1(9). P. 36-43
20. Кувшинов, Г.Е. Нечеткая система управления судовым спуско-подъемным устройством. Современные технологии и развитие политехнического образования. – В.: ДФУ, 2016. – С. 727-730
21. Кириченко, А. В. Специальные судовые устройства. Судовые грузовые и спускоподъемные устройства. – Д.: Моркнига, 2018. – 402 с.
22. Кириченко, А. В. Специальные судовые устройства. Судовые устройства грузопереработки. – Д.: Моркнига, 2018. – 436 с.
23. Кузнецов, Е.С., Никитин, К.Д., Орлов, А.Н. Специальные грузоподъемные машины: учеб. пособие. – Красноярск: СФУ, Ч.2, 2011. – 280 с.
24. Тё, А. М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: учеб. пособие. – В.: МГУ, 2013. – 208 с.
25. Правила щодо вантажопідймальних пристроїв морських суден. Правила про вантажну марку морських суден: официальное издание "Регістр судноплавства України". – К.: Регістр судноплавства України, 2011. – 212 с.
26. Пискунов, А.М. Судовые автоматизированные электроприводы. – Н.: НУК, Т2, 2008. – 144 с.
27. Пискунов, А.М. Электрооборудование судов. – Н.: НУК, 2006. – 144 с.
28. Пискунов, А.М. Теория электропривода. – Н.: НУК, 2007. – 84 с.

#### УДК 621.8

*Клочков О. П., к.т.н., Байтаз В. П. студент гр. 6363м*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНСОЛЬНО-ПОВОРОТНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 5 Т

Масова виробнича діяльність завжди потребує залучення до процесів її виконання різноманітного технологічного обладнання та пристроїв. Від збирального, сортувального, транспортувального обладнання необхідного для невеликих виробів до перевантажувальних вантажопідймальних машин великої тоннажності необхідних при роботі з важкими деталями і заготовками [1]. Залучення подібного обладнання до виробничого процесу матиме суттєвий економічний ефект та підвищить рівень продуктивності роботи підприємства. Серед широкого різнома-

ніття вантажопідіймальних машин окремої уваги заслуговують консольно-поворотні крани призначені для обробки вантажів на території виробничих майстерень, цехів та ангарів. Актуальними, на разі, є напрямки дослідження ефективності роботи вантажопідіймальних машин з можливістю енергозбереження [2-4].

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей перевантажувальних вантажопідіймальних кранів, які застосовують електропривод та вибір певного типу для його подальшої розробки та реалізації.

Вантажопідіймальні крани призначені для механізації піднімання і опускання вантажів [5]. Серед них найпоширенішими типами кранів є: мостові, козлові, консольні, будівельні. У кожного з цих типів кранів є певні технічні особливості, які вирізняють їх поміж один одного. Ці особливості говорять про конструкційні відмінності реалізовані для виконання певного призначення.

Мостовий кран використовується в різних режимах роботи: на відкритому повітрі, під навісом і в приміщенні. Він розрахований на всепогодне застосування в температурному діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  і призначений для переміщення практично будь-яких матеріалів, що знаходяться в розпеченому, сипучому або рідкому стані, а також отруйних і легкозаймистих речовин.

Козлові та напівкозлові крани призначені як для роботи всередині приміщень, так і на відкритих майданчиках. Вантажопідіймність таких кранів досягає до 200 т. Надійність конструкції забезпечується завдяки якісним матеріалам. А також точного дотримання технологічного процесу виробництва та збирання. Козлові і напівкозлові крани – види вантажопідіймного обладнання. І вони мають конструкції, які виконані за типом мостовому крана. Мости фіксуються на опорах, які переміщуються по рейках. Козлові крани істотно полегшують роботи на великих і малих підприємствах, які працюють з різними видами вантажів.

Будівельні крани це дуже поширений тип вантажопідіймального обладнання. Серед них найперспективнішими є стрілові, вантові, баштові та порталні вантажопідіймальні крани. Стрілові крани – досить популярний різновид вантажопідіймальних кранів. Вони бувають як стаціонарними так і пересувними. Головною їх відмінністю є вантажозахоплюючий пристрій зафіксований на стрілі чи транспортувальній платформі, який може пересуватися вздовж стріли. Виконання таких кранів можна реалізовувати на стіні, на стелі, або на колоні. Баштові крани бувають найрізноманітнішими за своєю конструкцією. Тут бувають як стаціонарні неповоротні башти з поворотним оголовком так і поворотні башти у рейковому, пневмоколісному або гусеничному виконанні.

Для обробки вантажів у морських та річкових портах вже застосовують порталні вантажопідіймальні крани. Вони також можуть мати різні варіанти ходових механізмів крана. В основному, баштові крани активно застосовують на промисловому та житловому будівництвах. Вони також облаштовані стрілою закріпленою у верхній частині башти.

Консольні крани – вантажопідіймне обладнання, яке широко застосовується в складських приміщеннях, ремонтних майстерень, виробничих цехах і на відкритих майданчиках. Консольні крани є ідеальним рішенням для роботи з великим і малим тоннажем в умовах обмеженого простору, а також обслуговування технологічних агрегатів, виробничих ліній і окремих верстатів. Консольні крани мають широкий діапазон вантажопідіймності від 0,125 т до 16 т. Так само мають широкий діапазон експлуатаційних і технічних параметрів, які за необхідності модифікуються, що робить консольні крани одним з найбільш затребуваних механізмів.

Залежно від конструктивних особливостей цього підіймно-транспортного устаткування розрізняють пересувні машини, які обслуговують пристінні ділянки цеху, і стаціонарну техніку, яка міцно фіксується до окремого механізму або майданчику (рис. 1). Другий варіант підрозділяється на кран консольний, який прикріплюється до стіни та консольний кран на опорі (колоні). Техніка цього типу може оснащуватися як тельфером, так і ручною талю і класифікується на неповоротну (нерухому) і поворотну (з ручним або електричним приводом) [6].

Консольні крани, можуть бути укомплектовані додатковим обладнанням, до якого входить: блок радіокерування, обмежувач вантажопідіймності, гальмо на пересування, пристрій плавного пуску на пересування і підйом, світлова та звукова сигналізація, доцільна при високому рівні шуму на майданчику і спостереженні за технічним процесом, анкерні болти для монтажу крана на фундамент, навіс для тельфера при роботі на відкритому повітрі.

При необхідності обладнання може виконуватися у вибухо- і пожежобезпечному виконанні, і працювати в температурному діапазоні від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . За своїми технічними характеристиками консольно-поворотні крани добре зарекомендували себе для виконання завантажувальних та розвантажувальних робіт на обмежених ділянках виробничих цехів.

За своєю конструкцією консольно-поворотний кран складається з наступних елементів [7]: консолі, вертикальної колони, платформи переміщення, поворотного опорного підшипника, вантажопідіймального каната або ланцюга, опорного кронштейна.



Рис. 1. Консольно-поворотний кран

Консольно-поворотний кран випускаються в мобільному і стаціонарному виконанні. Нерухомі моделі міцно прикріплюються до підлоги або закріплюються на стіні. Настінний різновид консольно-поворотного крана відрізняється високою надійністю і стійкістю. Крани, закріплені на стіні, застосовуються для роботи на локальних ділянках. В неробочому стані консоль можна наблизити до стіни, звільнивши вільний простір. Пересувні конструкції обладнуються несучими рамками з колесами.

Основні технічні характеристики консольно-поворотних кранів за якими проектується діючі зразки вантажопідйомного обладнання можуть бути різноманітними, проте як правило всі вони відповідають наступним характеристикам:

- максимальна вантажопідйомність – від 0,5 до 16 т;
- виліт стріли – до 5 м;
- висота підйому вантажу – до 8 м;
- відстань від осі повороту консолі – від 2,7 м до 5,2 м;
- діаметр вертикальної колони – до 1,3 м;
- тип привода – ручний або електричний.

Консольно-поворотні крани в більшості випадків комплектуються платформою переміщення. Моделі без електроталі мають максимальну вантажопідйомність в 3,2 т. Зазвичай, консольно-поворотні крани призначені для роботи в приміщенні. Керування здійснюється з дистанційного пульта, з'єднаного з платформою переміщення гнучким кабелем. Також можлива комплектація дистанційним керуванням по радіоканалу.

Виліт стріли крана визначає довжину робочої зони (для стаціонарних моделей). Для механізму підйому/спуску вантажу, при необхідності можлива установка обмежувача вантажопідйомності. Поворот консолі може бути повним – на 360°, або обмеженим – 240° для настінних моделей. При проведенні заводських випробувань статичні навантаження беруться в пропорції 1:1,25 до базових можливостей кранового обладнання (для динамічних – 1:1).

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод консольно-поворотного крана вантажопідйомністю 5 т. Основне призначення розробки – застосування для спуску/підйому парусних яхт у Миколаївському яхт-клубі [8-10]. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розробку та розрахунок силових та енергетичних параметрів механізмів підйому/спуску вантажу, переміщення платформи, повороту крана вантажопідйомністю 5 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода консольно-поворотного крана.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

## Список літератури

1. Боровских, А.М., Новопашин, Л.А. Влияние различных факторов на момент сопротивления прокручиванию и износ двигателя. – У.: 2007, №2. – С. 28-30.
2. Мухін, Б.Д. Міленін, Д.М. Енергозбереження в електроприводі. *Автоматизовані електромеханічні системи*. – Харків: 2020. – С. 96.
3. Серкутан, В.И. Шляхи енергозбереження в установках з регульованим електроприводом. *Вісник ПДТУ №11*. – Маріуполь: 2001. – С. 1-3.
4. Choi J.Y., Kwon S.H., Choy I., Song J.H., Intelligent energy saving using neural networks. *Proceed of conf. on NN, IEEE*. Piscataway, 1998, №1. – P.245-250.
5. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарев С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: 2009. – 734 с.
6. Принцип действия электрической кран-балки [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://rooa.ru/biznes/20751-princip-dejstvija-jelektricheskoy-kran-balki/> (дата звернення: 10.09.2021).
7. Буревестник. Технические характеристики консольно-поворотного крана [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bure-vestnik-mashlit.ru/o-kompanyi/stati/harakteristiki-konsolno-povotnogo-krana/> (дата звернення: 24.09.2021).
8. Kiseliov, A., Chernozub, A., Slavityak, O., Abramov, K. Historical aspects of sources and development of sailing sport in Nikolayev. – N.: National University V.A. Sukhomlinsky, №1 (21), 2013. – P. 18-22.
9. Траспов, Л.Ф. Яхт-клуб: материалы по истории парусного спорта и Николаевского яхт-клуба. – Н.: 2012. – 600 с.
10. Бугаенко, Б.А., Галь, А.Ф. По волнам времени. История николаевского кораблестроения и кораблестроительного образования в личностях и событиях. – Николаев: НУК, 2010. – 424 с.

## УДК 629.58

Ключков О. П., к.т.н., Балабан Д. Г. студент гр. 6363м

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДВОДНОГО БУКСИРУВАЛЬНИКА

З часів виникнення першого аквалангу розпочався активний розвиток дайвінгу не лише як професійного поняття, але і любительського [1]. Підводні занурення з застосуванням спеціального знаряддя можуть бути використані не лише для виконання професійної водолазної роботи, але і приносити масу емоцій під час дослідження підводних акваторій, споглядання за представниками морської флори та фауни і т.п.. У разі коли переміщення підводного плавця під водою вимагає долати великих відстаней це стає дуже виснажливим та фізично складним процесом. Тому, актуальності у цьому напрямку набувають наукові дослідження щодо розробки та проектування підводних буксирувальників [2-5], як засобів зменшення цих негативних навантажень на плавця.

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей підводних буксирувальників, які застосовують електропривод та вибір певного варіанту для його подальшої розробки та реалізації.

Аналіз літератури [6, 7] показав, що на сьогоднішній день підводний буксирувальник є досить розповсюдженим знаряддям серед професійних та любительських користувачів. Коли мова йде про професійний дайвінг, мають на увазі водолазні роботи, які виконують професійні водолази з метою виконання своєї профільної діяльності. Серед таких робіт можуть бути:

- підводно-технічні водолазні роботи;
- суднопідйомні водолазні роботи;
- судноремонтні водолазні роботи;
- суднові водолазні роботи;
- аварійні водолазні роботи і інші.

Підводно-технічні водолазні роботи виконуються водолазами при обстеженні, будівництві та ремонті підводних частин гідротехнічних споруд, прокладці трубопроводів, кабелів та інших комунікацій [2]. Також, це можуть бути і днопоглиблювальні роботи, експлуатація і обслуговування гідротехнічних споруд, обслуговування та очищення водних шляхів та акваторій. Суднопідйомні водолазні роботи виконуються водолазами при обстеженні затонулих суден, або підготовці до його підйому. Судноремонтні водолазні роботи виконуються на судах з метою їх ремонту. Суднові водолазні роботи виконуються при огляді, очищенні від обростань корпусу судна, усунення пошкоджень підводної частини корпусу і підводних пристроїв суден, які знаходяться в експлуатації. Аварійні водолазні роботи виконуються водолазами з метою порятунку людей, або недопущення екологічної катастрофи.

Любительський дайвінг має свої напрямки підводної діяльності:

- цивільний;
- комерційний;
- медіа;
- науковий і інші.

Цивільний дайвінг передбачає різноманітний спектр робіт. Серед яких можна відзначити ремонтні, інженерні, рятувальні та інші підводних робіт, які реалізуються водолазами в мирних цілях. Комерційний дайвінг має відношення до комплексу підводних робіт по забезпеченню та проведенню рекреаційного занурення. Медіа-дайвінг використовується коли виникає потреба в виконанні підводних журналістських та кінематографічних задач. Науковий дайвінг передбачає занурення з метою дослідження підводного світу.

У тих випадках коли дайверу, в залежності від його підводних задач необхідно долати великі дистанції під водою, можна застосовувати підводний буксирувальник. На разі подібних транспортних засобів на ринку досить багато. Це може бути як невеликий компактний пристрій, утримання якого можна здійснювати однією, або двома руками, а може бути навіть повноцінна підводна платформа на якій всім тілом може розміститися підводний плавець. Серед представників малогабаритних підводних буксирувальників можна виділити модель ZS7A виробництва компанії SEA DOO (рис. 1) [8].



Рис. 1. Підводний буксирувальник SEA DOO ZS7A

Даний пристрій здатен забезпечити швидкість буксирувальника до 5,3 км/год протягом 2 год. Акумулятора батарея побудована на базі Ni-Mn елементів. Акумуляторна батарея гарантує захист від потрапляння води, та глибокого рівня розрядження елементів живлення. У якості рушія виступає гребний гвинт, який приводиться в рух виконавчим електричним двигуном. Робоча глибина занурення пристрою до 50 м. Маса виробу становить 14,5 кг при габаритах 0,32x0,32x0,71. Особливими характеристиками пристрою є його маневреність та можливість регулювання плавучості.

Застосування підводного буксирувальника також дозволяє краще концентруватися на своєму диханні. При цьому використання меншої кількості енергії дайвером дозволяє знизити витрати повітря та більше часу залишити для самого дайвінгу. Ще одним представником подібної техніки є модель Magnus виробництва компанії Silent Submersion (рис. 2) [9].



Рис. 2. Підводний буксирувальник Silent Submersion Magnus

Буксирувана швидкість такого пристрою становить 4,5 км/год, але вже при автономній роботі до 4 год. В якості джерела живлення застосовується акумуляторна батарея на Li-Po акумуляторних елементах, загальною потужністю 888 Вт/год. Маса пристрою становить 20 кг при довжині 0,75 м та діаметрі 0,22 м.

Ще одним представником малогабаритних буксирувальників є модель Seawing виробництва компанії Yamaha (рис. 3) [10].



Рис. 3. Підводний буксирувальник Yamaha Seawing

Пристрій легкий в використанні. Може використовуватися як професійними водолазами так і дайверами-любителями. Швидкість буксирування може становити до 6,5 км/год при автономності виробу до 45 хв. Робоча глибина занурення становить 40 м. Акумуляторна батарея Li-Po з ємністю 6,3 А та напругою постійного живлення 22 В. Маса виробу становить 3,7 кг.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод підводного буксирувальника. Важливими перевагами від застосування підводного буксирувальника є можливість уникнути наслідків декомпресійної хвороби під час швидкого занурення та підвищити тривалість дайвінгу плавця шляхом економії його зусиль під час плавання на великі відстані. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунок енергетичних та робочих характеристик підводного буксирувальника зі швидкістю 6 км/год.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода підводного буксирувальника.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

1. Robert A. Clark. Open Water Diver. X.: SSI Scuba Schools International, 2002. – 256 с.
2. Калініченко, О.О. Концепція з підводного мореплавства В.П. Кременського. Питання історії науки і техніки, №2 (42), 2017. – К.: 2017. – С.46-52.
3. Корнієнко, О.С. Дубінець В.І. Автономні підводні мікророботи як клас виробів мікросистемної техніки. Збірник XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – С.266-269.
4. Ryzhov, V.A., Tarasov, S.V. Large eddy simulation of flow around biomimetic propulsor. *Proceedings of International Conference on Subsea Technologies*. – St-Petersburg: BMarEST-SMTU, 2009. – P. 56-58.
5. Красильников, Р.В. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. *Оружие и технологии*. – М.: 2011. – 780 с.
6. Войтов Д.В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты. – М.: 2012. – 504 с.
7. Горлов, А.А. Энергетика океана для океанологических исследований. *Материалы XII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований»*. – М.: ИО РАН, 2011. – С. 75-78.
8. Подводный буксировщик SEA-DOO Explorer ZS7A [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/sea\\_doo\\_sea\\_doo\\_explorer\\_zs7a/](https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/sea_doo_sea_doo_explorer_zs7a/) (дата звернення: 09.09.2021).
9. Подводный буксировщик Silent Submersion Magnus [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/silent\\_submersion\\_podvodnyy\\_buksirovshchik\\_magnus/](https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/silent_submersion_podvodnyy_buksirovshchik_magnus/) (дата звернення: 10.09.2021).
10. Подводный буксировщик Yamaha Seawing [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: [https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/yamaha\\_seawing/](https://x3.ua/catalog/buksirovshchiki/yamaha_seawing/) (дата звернення: 12.09.2021).

## УДК 629.1

*Клочков О. П., к.т.н., Гречко С. Ф. студент гр. 6363м**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
АЗИМУТАЛЬНОЇ ПОВОРОТНО-ГВИНТОВОЇ КОЛОНКИ БУКСИРА**

Останнім часом все більше суден застосовують принципово нові технічні рішення при проектуванні їх рушійних комплексів, які відрізняються від традиційно використовуваних раніше [1, 2]. Чимала актуальність досліджень в цьому напрямі належить головним гвинто-кормовим колонкам, що з'єднують в собі функції рушія і кормового пристрою активного типу [3]. Гвинто-кормові колонки з механічним приводом гребного гвинта від 2-х ступінчастої конічної передачі називають "Aquamaster" (за назвою першої фірми-виробника), а колонки з електроприводом – "Azipod" (Azimuth Electric Propulsion Drive). Зазначені пристрої, в даний час, застосовуються на судах всіх типів і призначення: буксирах, наливних, льодового плавання, криголамах, пасажирських та інших. Перевагою цих рушійних комплексів [4] є їх висока пропульсивна ефективність, низька віброактивність, спрощення компонування і монтажу механічної установки за рахунок відмови від довгого валопровода, поліпшені вагові показники з отриманням додаткових вивільнених обсягів під вантажні та загальносуднові потреби та ін.

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей гвинто-кормових колонок морських рухомих об'єктів, які частково використовують електропривод та вибір певного варіанту для його подальшої розробки та реалізації.

Аналіз літератури [5-7] показав, що для підвищення маневреності буксира добре зарекомендували себе азимутальні поворотні-гвинтові колонки. Головним рушієм в якій виступає гребний гвинт фіксованого або регульованого кроку. Конструкція колонки облаштовується таким чином, щоб забезпечити її обертання навколо своєї осі на 360°. Сам же гребний гвинт розміщується в насадці, яка гарантує підвищення упору в порівнянні з традиційним відкритим гвинтом [8].

При правильній конфігурації та розміщенні на буксирі азимутальні поворотні-гвинтові колонки здатні забезпечити його розвертання на місці, гарантувати можливість лагового руху. Проте, варто зауважити, що такі пристрої можуть повною мірою забезпечувати максимальні зусилля лише під час прямого обертання, а під час реверсивного обертання лише 70% зусилля.

Найбільш вдалим рішенням є розміщення двох азимутальних поворотні-гвинтових колонок у кормовій частині [9]. Таким чином, маючи рушії, що змінюють напрямок зусилля на 360°, маючи носову буксирну лебідку і кормовий буксирний гак, можна поєднати в одному буксирі конвенційні і тракторні особливості. Маневруючи на натягнутому буксирному тросі, конвенційний буксир може повертатися навколо точки кріплення буксирного троса в будь-яку сторону і його рушії як би штовхають цю точку, а буксир тракторного типу при маневруванні на натягнутому буксирному тросі завжди знаходиться в одній лінії з буксирним тросом, а його рушії як б тягнуть точки кріплення буксирного троса.

Основна відмінність буксирів тракторного типу від конвенційних полягає в розташуванні рушія буксира і точки кріплення буксирного троса на буксирі відносно судна асистента. Якщо у конвенційних буксирів точка кріплення буксирного троса знаходиться попереду рушія відносно судна асистента, то у буксирів тракторного типу навпаки: рушії знаходиться попереду точки кріплення буксирного троса відносно судна асистента.

Азимутальна поворотні-гвинтова колонка поєднує в собі функції пропульсивного рушія і кормового пристрою, забезпечуючи судну відмінну маневреність і точне позиціонування при швартуванні, вихід з порту і проведенні різних робіт і операцій на морі. Подібні пристрої відрізняються по типу трансмісії і розташуванню електродвигуна відносно гребного гвинта. В даний час в суднобудуванні застосовуються три конструктивні схеми: з двигуном над колонкою і вертикальної трансмісією, з двигуном спереду або збоку від колонки і горизонтальної трансмісією, з двигуном, розташованому безпосередньо в колонці.

В азимутальній поворотні-гвинтовій колонці з вертикальною схемою, відомою під назвою L-drive (рис. 1), двигун знаходиться всередині корпусу судна над колонкою, а вал трансмісії входить в неї вертикально і пов'язаний з гребним валом за допомогою однієї кутової зубчастої передачі.

Головна перевага такої схеми в меншій кількості проміжних ланок, гарантуючи кращу надійність конструкції. Але її використання обмежене тим, що потужний, важкий і великогабаритний двигун не завжди можна розмістити над самою колонкою.



Рис. 1. Азимутальна поворотно-гвинтова колонка типу L-drive

В азимутальній поворотно-гвинтовій колонці з горизонтальним розташуванням трансмісії, відомою під назвою Z-drive (рис. 2), двигун також розташований в судновому корпусі, але його вал входить в колонку судна горизонтально, а крутний момент передається на гвинт за допомогою двох кутових передач і проміжного вертикального валу. Горизонтальна схема дає повну свободу в компонованні судна і розташуванні двигуна, але через більшу складність вона за надійністю дещо поступається вертикальній.



Рис. 2. Азимутальна поворотно-гвинтова колонка типу Z-drive

Існують схеми з розташуванням двигуна безпосередньо в колонці, які застосовуються в маломірних суднах. Крім того, є конструкції, в яких колонка разом з двигуном укладені в гондолу з пропускними каналами, розміщеними під корпусом судна. Але вони зазвичай використовуються не як основні ходові рушії судна, а в якості підрулюючих пристроїв.

Перевагами застосування азимутальних поворотно-гвинтових колонок є:

- простота конструкції, що не викликає труднощів при монтажі, демонтажі, технічному обслуговуванні та ремонті;
- можливість зменшити машинне відділення [10];
- низька віброактивність установки і висока пропульсивна ефективність комплексу, а також спрощення компоновання і монтажу механічної установки за рахунок відмови від довгих гребних валів.
- підвищення безпеки мореплавства за рахунок поліпшення маневрених якостей судна, що обумовлено також можливістю здійснення реверсу за рахунок розвороту колонок без зміни напрямку обертання гребних валів, а на 2-х вальних установках – забезпечення руху судна лагом.
- поліпшення поворотності судна і полегшення руху у вузькостях і під час швартовних операціях.

Серед недоліків можна зазначити:

- недостатня ерозійна стійкість;
- слабка захищеність від механічних пошкоджень,

– відносно висока вартість, викликана складністю конструкції.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод азимутальної поворотно-гвинтової колонки буксира компанії DAMEN проекту №2111. Важливими перевагами від застосування розробки є можливість, з застосуванням електропривода, змінювати напрямок прикладання упору рухомого гвинта в діапазоні 360°, відносно осі колонки. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунок гідродинамічних та енергетичних параметрів азимутальної поворотно-гвинтової колонки буксира.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода азимутальної поворотно-гвинтової колонки буксира.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

1. Снопков, В.И. Управление судном: учебник для ВУЗов. – Санкт-Петербург, 2004. – 536 с.
2. Шарлай, Г.Н. Управление морским судном. – В.: МГУ, 2009. – 503 с.
3. Винто-рулевые колонки [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://mirmarine.net/svm/sudovye-rulevye-ustrojstva/podrulivayushchie-ustrojstva-i-vinto-rulevye-kolonki/264-vinto-rulevye-kolonki> (дата звернення: 28.09.2021).
4. Пучков О.С. Экспериментальное исследование работы гребного винта в косом потоке. Проблемы техники. *Научно-производственный журнал*. – 2013, №3. – С. 125-132.
5. Товстокорий, О.М. Базові принципи маневрування судна: нав. Посібник. – Херсон: ХДМА, 2018. – 336 с.
6. Глушков, С.В. Методы повышения качества управления судном на основе использования нейросетевых технологий: дис. докт. техн. наук. –В.: МГУ им. адмирала Г.И. Невельского, 2008. – 175 с
7. Складенко І.Ю., Смирнова І.М., Герчиков, О.О., Сидорчук, О.Р. Розробка і впровадження алгоритму безпечного маневрування суден внутрішнього плавання. *Збірник наукових праць: водний транспорт 2021*. – К.: 2021, №1(32). С. 134-144
8. Малахов, О.В., Демідюк, О.В., Пучков, О.С. Метод розрахунку роботи гребних гвинтів у складі гвинто-рульової колонки, працюючої в якості рушійно-рульового комплексу судна. *Вісник СевНТУ: Механіка, енергетика, екологія*. – 2014, №147. – С. 26-30.
9. Вагущенко, Л.Л., Цимбал, М.М. Системы автоматического управления движением судна. – Одесса: Феникс, 2007. – 328 с.
10. Класифікація судових приміщень [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://zizuhotel.ru/uk/thailand/lasifikaciya-sudovyh-pomeshchenii-kak-organizovat-puteshestvie-na/> (дата звернення: 25.09.2021).

#### УДК 621.8

Клочков О. П., к.т.н., Жутов Д. О. студент гр. 6363М

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### ОСОБЛИВОСТИ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО КРАНА-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 40 Т

Перевезення корисних вантажів та природних ресурсів морськими шляхами, з місця їх виготовлення або видобування в місця подальшого споживання або переробки, потребують залучення причальних вантажопідіймальних машин [1-3]. Основне призначення яких, полягає в попередньому завантаженні та послідовному розвантаженні транспортних засобів. Також, можуть виконуватися операції переміщення, сортування вантажів на території порту. За видами вантажів, які морський порт здатен обробляти бувають порти загального і спеціалізованого призначення. Зазвичай, для швидкої модульної обробки вантажів, їх розміщують в стандартизованих контейнерах. Найпопулярніший з них мають розміри 20', 30', 40', 45'. Актуальні дослідженнями, в цьому напрямку, зосереджені на розробці та проектуванні кранового обладнання [4, 5], яке в повній мірі здатне забезпечувати весь робочий цикл з обробки вантажів забезпечуючи при цьому якісний процес завантаження та розвантаження транспортних засобів на території морських портів.

**Метою роботи** є огляд конструктивних особливостей різновидів кранів, які мають електропривод і можуть бути задіяні для виконання подібних задач, а також вибір певного його типу для подальшої розробки та реалізації.

Аналіз літератури [6, 7] показав, що серед широкого різноманіття вантажопідіймних машин здатних виконувати завантаження та розвантаження контейнерних суден найбільше застосовують стрілові, баштові, козлові,

портальні та контейнерні крани. Кожен з зазначених типів вантажопідіймальних машин має свої конструктивні особливості, які накладають певні обмеження в процесі виконання операцій обробки вантажів.

Найпростішим та найдешевшим з зазначеного переліку видок вантажопідіймних машин є стрілові стаціонарні крани (рис. 1). Їх конструктивне виконання здатне реалізовувати підйом/спуск та переміщення вантажів в певній робочій зоні, яка обмежується довжиною стріли та максимально-припустимим кутом повороту крана.



Рис. 1. Суднові та причальні стрілові поворотні крани

В свою чергу, стріловий кран може бути облаштований механізмом вильоту стріли за допомогою якого можна збільшувати та зменшувати область цієї робочої зони [2]. Проте, це не обов'язково має бути механізм висувного типу. На стріловому крані довжина вильоту стріли може бути змінена навиванням вантажного тросу, який утримує стрілу крана, на окремий барабан, непов'язаний з основним. І приводиться цей механізм в рух з застосуванням окремого електропривода [8]. Варто відмітити, що завантаження та розвантаження контейнерів при цьому може виконуватися з самого судна. Як правило судно для цього може передбачати один, два і більше стаціонарних стрілових поворотних кранів. Причому, на судні вони розташовуються таким чином, щоб повністю перекривати робочу поверхню призначену для розміщення контейнерів.

Баштові крани, схожі за своїм принципом роботи до стрілових стаціонарних (рис. 2). Але в основному, їх застосовують коли є потреба в переміщенні крана вздовж причальної стінки порту. Це можливо за рахунок механізму переміщення баштового крана по залізничній колії розташованій вздовж причалу. Рух крана забезпечують від двох до чотирьох приводних катків облаштованих механізмами гальмування [3].



Рис. 2. Причальний пересувний баштовий кран

Відмінною рисою козлових та портальних кранів є наявність механізму переміщення вантажу вздовж горизонтальної ферми за рахунок застосування вантажного візка. У такій комплектації механізм підйому/спуску вантажів розміщується саме на вантажному візку. За рахунок цього вантаж можна ефективно переміщувати не просто з однієї точки в іншу, але й виконувати їх сортування. Тобто, у разі потреби, стає можливим переносити вантажі на різні точки базування по території порту, де прокладена кранова колія.

Що ж стосовно контейнерних кранів (рис. 3), то тут сама назва говорить за себе. Цей різновид кранів є одним з фаворитів, так як його продуктивність і функціональність серед всіх вище згаданих найвища.

Зазвичай, подібні крани-перевантажувачі мають горизонтальну ферму, яка складається з двох частин. Першої стаціонарної та другої рухомої. На стаціонарній частині розташовується пункт базування основного виконавчого обладнання та керуючого устаткування. По рухомій частині може переміщуватися лише вантажна каретка, і то лише під час виконання перевантажувальних операцій. У інший же час, вантажна каретка переміщується з рухомої на стаціонарну частину, з метою реалізації підйому рухомої ферми на кут до 70-80°. Дане технічне рішення

дозволяє виконувати безпечний підхід та відхід судна від причальної стінки. Цей різновид крану, найкраще підходить для завантаження та розвантаження суден також через те, що він може переміщувати контейнери по всій вантажній палубі судна з максимальною довжиною вильоту порталау.



Рис. 3. Причальний контейнерний кран-перевантажувач

В якості виконавчих електродвигунів в кранових механізмах найбільшого поширення отримали асинхронні електродвигуни з фазним ротором [9]. Двигуни з фазним ротором характеризуються великим початковим обертовим моментом, приблизно постійною швидкістю при різних перевантаженнях і меншим пусковим струмом у порівнянні з електродвигунами з короткозамкненим ротором [10]. До недоліків даних двигунів варто віднести їх великі габарити і вартість виготовлення і, аналогічно двигунам постійного струму, зношення і необхідність профілактичного обслуговування колекторно-щіткових вузлів.

**Висновки.** В рамках виконання магістерської роботи запропоновано розробити електропривод причального контейнерного крана-перевантажувача вантажопідйомністю 40 т. Важливою перевагою від застосування такої розробки є швидка обробка вантажів, що знаходяться в спеціальних стандартних контейнерах розміром 20', 30', 40', 45' з можливістю реалізації спареного підйому/спуску 2х20'. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розрахунок механізмів підйому/спуску вантажу, переміщення вантажного візка, переміщення крана в цілому.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода причального контейнерного крана-перевантажувача.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

#### Список літератури

1. Кобець, А.С., Дирда, В.І., Козуб, Ю.Г., Ракша С.В., Овчаренко Ю.М., Пугач А.М., Рижков І.Є., Черній О.А., Цаніді І.М. Підйомно-транспортні машини: підручник. – Л.: ЛНУ ім. Тараса Шевченка, 2014. – 218 с.
2. Александров, М.П. Грузоподъемные машины: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 552 с.
3. Григоров, О.В., Петренко, Н.О. Вантажопідйомні машини: навч. посібник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – 304 с.
4. Ловейкін, В.С. Аналіз та синтез режимів руху механізмів вантажопідйомних машин: монографія. – К.: ЦП «КОМПРІНТ», 2012. – 298 с.
5. Ловейкін, В.С., Човнюк, Ю.В., Діктерук, М.Г., Пастушенко, С.І. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин. – Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004. – 286 с.
6. Кузьмин, А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. – М.: 2013. – 350 с.
7. Пидько, І.Е. Особливості навантаження металевих конструкцій мостових кранів та їх вплив на термін експлуатації крану. *Наука – перші кроки: XIV регіональна студентська наук.-техн. конф.* – Маріуполь, 2020. С. 122-124.
8. Новиков, В.А. Савва, С.В. Татаринцев, Н.И. Электропривод в современных технологиях. – С.: Академия, 2014. – 400 с.
9. Москаленко, В.В. Электрический привод. – С.: Академия, 2007. – 368 с.
10. Герасимьяк, Р.П., Найдено, О.В. Особливості керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крана з підвищеним вантажем. *Електромашинобудування та електрообладнання*, 2007, №68. С. 11-15.

## УДК 629.123

*Злобенко Р. В., Сірівчук А. С., к.т.н.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО КОТЛА**

Паровий котел – це агрегат, що призначений для виробництва пара за рахунок споживання теплової енергії, що виникає від роботи електричних тенів або згорання палива різного роду. В якості робочої рідини в котлі використовується вода. Котел з пристроями для його обслуговування називають котельною установкою.

Призначенням котельних установок є забезпечення паром парових механізмів, опалювальної системи, підігріву палива, приготування їжі тощо. На танкерах пар від допоміжних котлів використовується також для підігріву вантажу при підході до порту, підігріву води для миття танків та забезпечення паром вантажних насосів [1-3].

За принципом нагрівання робочої рідини поділяють на вогнетрубні та водотрубні. Вогнетрубні – це котли, у яких всередині трубок проходять гарячі, а зовні трубки омиваються водою, а в водотрубних вода знаходиться всередині трубок.

Основними перевагами водотрубних парових котлів перед іншими типами котлів є:

- відносно висока надійність при роботі на всіх навантаженнях;
- можливість живлення водою зі зниженими показниками якості;
- простота відбору насиченої і перегрітої пари;
- швидкість введення в дію (від трьох годин до декількох хвилин) і зміни навантаження через мале відносне водовміщення і еластичність трубних систем, що з'єднують колектори котла.

Вогнетрубні котли мають високу акумулюючу здатність тому немає необхідності точної стабілізації його параметрів, тому керування такими котлами може бути забезпечено в ручному режимі. В свою чергу водотрубні котли мають більшу чутливість до зміни його внутрішніх параметрів, тому виникає необхідність його автоматизованої роботи [4].

Для забезпечення його оптимальної роботи важливо підтримувати номінальні значення його основних параметрів: тиск пара, рівень води в котлі, тиск і температуру палива, коефіцієнт надлишку повітря та ін. При ручному регулюванні можливі випадки надлишкового палива в котлі, випуск води, запізнювання в регулюванні кількості повітря, що подається в топку.

Регулювання піддаються наступні основні параметри котла: рівень води; тиск пара; співвідношення повітря - паливо, тобто співвідношення між кількістю палива і повітря.

Одним з важких механізмів котельної установки є електропривод насоса для подачі води, оскільки надлишок води в котлі знижує швидкість утворення пару та призводить до попадання води в парову магістраль, а нестача води – до розладу швів, появи тріщин і т. д. Застосування автоматичних засобів регулювання дозволяє усунути перераховані проблеми [5].

**Метою роботи** є огляд особливостей експлуатації електропривода насоса подачі води для водотрубних котлів та їх системи керування.

У режимах котлів повинна забезпечувати стійку підтримку рівня води з відхиленнями не більше  $\pm 30$  мм для головних котельних установок та  $\pm 15$  мм для допоміжних [6].

По мірі витрат пару котельна установка повинна поповнюватися конденсатом або додатковою водою через систему для підтримки постійного рівня води. При закритій системі живлення вода подається безпосередньо до живильного насоса через деаератор конденсаторним насосом, а живильний насос подає в котел через підігрівач води [7].

Кожний котлоагрегат за Правилами Регістру повинен мати не менш двох незалежних насосів, сумарна продуктивність яких повинна бути не менш трикратної продуктивності котлу.

По конструкції живильні насоси можуть бути поршневыми, відцентровими або пароструминними (інжектори). Теплий ящик, за рахунок своєї ємності, забезпечує безперебійну роботу живильного насоса при різній витраті пари, а також очищає воду від масла й зважених часток [8,9].

Більшу розповсюдженість для систем подачі води набули відцентрові насоси. Відцентровими називають лопатеві насоси з рухом рідини через робоче колесо від центру до периферії. У відцентрових насосах потік рідини області робочого колеса має радіальний напрям. За принципом дії відцентрові насоси відносяться до лопатевих насосів і є найпоширенішим видом динамічних насосів.

Для забезпечення стійкої роботи електродвигуна, обмеження його перевантаження струмом і магнітним потоком, підтримки високих енергетичних показників у частотному перетворювачі повинно підтримуватися певне співвідношення між його вхідними та вихідними параметрами, що залежить від виду механічної характеристики насоса. Ці співвідношення впливають з закону частотного регулювання Костенка [10]:

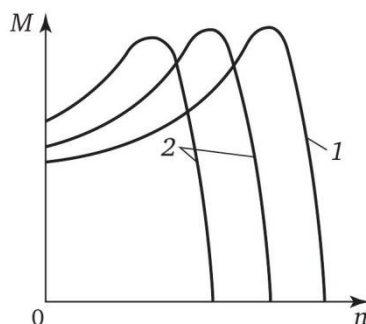
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}},$$

де  $f_1, f_2$  - частоти;  $M_1, M_2$  - моменти часу.

Для насосів, що працюють без статичного напору, чия механічна характеристика описується рівнянням квадратичної параболи, має дотримуватися співвідношення

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_2}{f_2^2} = \text{const.}$$

При виконанні заданих умов співвідношення вказаного вище електропривод буде мати штучні механічні характеристики з незмінним максимальним моментом та пропорційним заданій частоті обертання (рис.1).



1 – природня характеристика; 2 – штучні характеристики

Рисунок 2 – Механічні характеристики електропривода з частотним регулюванням

Для забезпечення даної вимоги необхідне використання частотного електропривода. Основним елементом частотного електропривода є частотний перетворювач, за допомогою якого практично незмінні мережеві параметри напруги  $U_1$  і частота  $f_1$  перетворюються на змінні параметри  $U_2$  і  $f_2$ , необхідні для системи управління насосного агрегату. Пропорційно до частоти  $f_2$  змінюється частота обертання електродвигуна, підключеного до виходу перетворювача.

Отже основними елементами електропривода подачі води суднової котельної установки є асинхронний електродвигун змінного струму; керований випрямляч частотного перетворювача; керований інвертор частотного перетворювача; відцентровий насос.

#### Висновки.

На даний час водотрубні коли мають більше розповсюдження через їх швидкість введення в експлуатацію. Для забезпечення ефективної та безпечної роботи одним з важливих факторів є підтримання рівня води. Основними задачами для проектування та удосконалення котельних установок є вибір елементів котельної установки. В подальшій магістерській роботі заплановано проведення наступних робіт:

- розрахунок та вибір електродвигуна насоса для підтримки заданого рівня води;
- побудова електричної принципової схеми системи керування;
- розробка регуляторів системи автоматичного керування.

#### Список літератури

1. Енин В. И, Денисенко Н. И, Костылев И. И. Судовые котельные установки: Учеб. для вузов. М.: Транспорт. 1993. 216 с.
2. Лубочкин Б.И. Учебное пособие для механика морских паровых судов, М.:Транспорт, 1979.
3. Шиняев Е. Н. Судовые паровые котлы и их эксплуатация. М.: Транспорт, 1979. 240 с.
4. Грицай Л.Л. Справочник судового механика, М. «Транспорт», 1993.
5. Волин С.В. Судовые котельные установки. Учебное пособие. Одесса, 2014. 104 с.
6. Верете А.Г., Дельвинг А.К. Судовые паровые и газовые энергетические установки. М.:Транспорт, 1990.
7. Савенко А.Е. Судовые электроприводы: учеб. пособие. ФГБОУВО «Керченский государственный морской технологический университет». Керчь, 2019. 220 с.
8. Тё, А. М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: учеб. пособие. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. 208 с.
9. Васильев В. Н., Карауш Н. Я., Эксплуатация судовых электроприводов, М.:Транспорт. 1985. 279с.
10. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. 176 с.

## УДК 629.123

*Левицький С. Л., Сірівчук А. С., к.т.н.,**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТЕРНА СУДНА**

До складу стернового пристрою звичайно входять стерно та електропривод. До електропривода відносять електродвигун, передавальний механізм і систему керування. По виду передавального механізму стернові електроприводи розділяють на електромеханічні і електрогідравлічні. До електричної частини стернових електроприводів відносять електродвигуни, системи керування ними, а також електричні елементи керування силовим приводом.

Стерновий пристрій забезпечують виконання задач: керування рухом судна відповідно до заданого маршруту або заданим курсом при мінімальних експлуатаційних витратах; утримання судна на заданій траєкторії або лінії профілю; забезпечення розходження судна з небезпечними об'єктами. Тому розробка електропривода стерна судна є важливою задачею при його проектуванні [1-4].

**Метою роботи** є огляд особливостей використання електропривода стерна з для подальшого розрахунку двигуна та проектування його системи керування.

Від якості роботи стернової системи залежить маневрові характеристики судна, і як наслідок безпека руху судна. Тому до електропривода стерна та його механізму висуваються строгі вимоги. Стерновий електропривод повинен забезпечувати [5]:

- перекладання стерна з борту на борт на повному передньому ході судна за час не більше 28 с;
- безперервне перекладання керма з борту на борт на повному передньому ході судна протягом 30 хв;
- тривалу роботу при ході курсу в режимі не менше 350 перекладок на годину;
- зміна крутного моменту електродвигуна в межах від 0 до 200% номінального;
- режим стоянки електродвигуна під струмом протягом 1 хв із нагрітого стану;
- безвідмовність, надійність та живучість протягом усього періоду експлуатації судна;
- обмеження моменту двигуна при перевантаженні або заклинюванні керма аж до його повної зупинки та виходу його на автоматичну характеристику при припиненні перевантаження;
- автоматичне утримання керма на заданому курсі як за негативного моменту на балері, так і при зупинці привода без застосування механічних гальм;
- зручність, простоту управління та постійний контроль роботи привода;
- можливість керування з різних місць: ходової рубки, верхнього містка, румпельного відділення;
- автоматичне обмеження граничних кутів перекладки.

Електроприводи, що використовуються на транспортних судах мають велике різноманіття, що обумовлено конструктивними особливостями робочого органу, режимом роботи основного електроустаткування, типом механічних зв'язків між виконавчим електродвигуном та стерном, ступінню автоматизації системи керування.

Можна виділити два основних режими роботи стернового електропривода в залежності від ходу судна. Першим режим маневрування судна коли кермо перекладається з борту на борт на максимальний кут. Основними вимогами, що пред'являються до електропривода, в даному режимі є забезпечення статичного моменту опору з заданою швидкістю для забезпечення необхідного часу перекладки керма.

При переході судна задачею стернового пристрою є утримання судна на заданому курсі, при якому проводиться часте перекладання стерна на невеликий кут, зазвичай 4-6 °. Даний режим роботи через часті пуски може приводити до перегрівання електропривода [6-8].

В залежності від механізму повороту стернові пристрої поділяються на два типи: з механічною та гідравлічною передачею.

До приводів з механічною передачею відносяться секторні, редукторні електроприводи. В них електродвигун жорстко зв'язаний з стерном через кінематичний механізм. Керування перекладкою проходить безпосередньо включенням і обертанням двигуна, характер роботи якого переривчастий. Регулювання перекладкою виконується зміною частоти обертання електропривода [9].

Електродвигуни рульових приводів з механічною передачею повинні мати м'які механічні характеристики, оскільки це забезпечує:

- при заклиненні стерна або заїданні в механізмі передачі перехід двигуна в режим короткого замикання з таким моментом на валу, який не викличе поломки обладнання;
- пом'якшення динамічних зусиль в електропривода при ударах хвиль о кермо;
- уповільнення швидкості двигуна зі збільшенням навантаження, викликаним різними причинами.

Відповідно до перелічених вимог у стернових електроприводах з механічною передачею застосовуються двигуни постійного струму з незалежним збудженням, що працюють у системі генератор - двигун. Отримання м'якої механічної характеристики двигуна забезпечується протикомпаундною обмоткою генератора.

В стернових електроприводах з гідравлічною передачею виконавчий двигун безперервно обертає насос з підтримкою заданого тиску в системі. При необхідності перекладки відбувається керована подача робочої рідини на гідравлічну стернову машину. В теперішній час використовують електрогідравлічні насоси плунжерного, осьового та поршневого типу. В залежності від прийнятого принципу регулювання подачі масла на стернову машину, використовують насоси змінної або постійної подачі. Для більш потужних систем характерний об'ємний принцип регулювання, що здійснюється спеціальним електричним або електромеханічним сервоприводом. У кінематиці сервопривода для ефективності регулювання подачі масла насосом використовуються: важільні, кулачкові та електричні диференціали.

Таким чином, в електроприводах з гідравлічною передачею регулювання перекладки стерна відбувається на гідравлічній стороні механізму передачі при сталому обертанню вала електродвигуна.

При гідравлічній передачі використовуються електродвигуни як постійного струму так і змінного струму, оскільки вже не пред'являються вимоги до щодо ступеня жорсткості механічних характеристик. Гідравлічний стерновий пристрій забезпечує необхідну амортизацію ударних навантажень і обмеження тиску в системі в межах допустимих значень. Найбільшого поширення електропривода насоса отримали електродвигуни змінного струму – асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором типу АМ, та постійного струму – типу П зі змішаним збудженням[10].

**Висновки.** Особливості використання стернового електропривода накладають обмеження в виборі виконавчого електродвигуна. Виходячи з вищесказаного тип електродвигуна обирається в відповідності з типом його механізму передачі, а потужність розраховують з урахуванням забезпечення максимального моменту та заданого часу переключення керма з борту на борт при виконанні судном маневрених операцій на повному передньому ході, а також вибраний двигун перевіряють на нагрівання під час роботи в такому режимі протягом 30 хв. Для подальшої реалізації електропривода необхідно вирішити наступні завдання:

- розрахувати сили опору стерна та обрати вид його механізму передачі;
- обрати електродвигун та зробити перевірку на відповідність заданим параметрам;
- розробити систему керування для обраного електродвигуна.

#### Список літератури

1. Чекунов К. А. Судовые электроприводы и электродвижение судов. Л., Судостроение, 1969. 464 с.
2. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Л., Судостроение, 1989. 360с.
3. Савенко А.Е. Судовые электроприводы: учеб. пособие. ФГБОУВО «Керченский государственный морской технологический университет». Керчь, 2019. 220 с.
4. Локарев В.І. Сліжевський М.Б. Проектування електроприводів кермових пристроїв: Методичні вказівки до курсового проектування. Миколаїв. УДМТУ, 2004.
5. Березин С.А., Тетюев Б.А. Системы автоматического управления движения судна по курсу. Л.: Судостроение, 1990. -256с.
6. Бабаев А.М., Ягодкин В.Я. Автоматизированные судовые электроприводы. Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1986. 448 с.
7. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы: Учебник. - 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1988. 472 с.
8. Голень С.И. Проектирование рулевого устройства: Учеб.-метод. пособие: В 2 ч. Ч. 1: Конструкция. Николаев: НКИ, 1976. 42 с.
9. ШмаковМ.Г. Судовые устройства. Л.: Судостроение, 1979. 168 с.
10. Устюгов Н. А., Хватов О.С., Тарпанов И. А. Проектирование рулевых электромеханических приводов. Н.Новгород: 2013. 88 с.

УДК 629.123

*Письменний М. М., Сірівчук А. С., к.т.н.,**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ СУДНА**

Зростаюча інтенсивність руху суден у протоках, портах та річках зумовила підвищення вимог щодо забезпечення безпеки плавання. Тому в даний час практично немає суден, на яких не встановлювалися б засоби активного керування для покращення керованості на малих ходах.

Підрулюючий пристрій типу гвинт у поперечному каналі є одним з найпростіших і поширених допоміжних пристроїв, який дозволяє вирішувати завдання керованості на швартовому і близьким щодо нього режимах. Підрулюючий пристрій забезпечує збільшення обертального моменту відносно центру мас судна вони розташовуються в носовій або носовій та кормовій частинах судна [1].

Підрулюючий пристрій складається з поперечного каналу, розміщеного нижче ватерлінії, з наскрізними виходами на обидва борти (рис. 1). У цьому каналі розміщують гребний гвинт регульованого або фіксованого кроку, що створює упор перпендикулярно до діаметральної площини, під дією якого повертається ніс (або корма) судна [2].



Рисунок 1 – Носовий підрулюючий пристрій

При встановленні двох підрулюючих пристроїв (у носі та кормі) ефективність їх дії зростає завдяки можливості одночасної роботи в різні сторони. При роботі обох пристроїв в одному напрямку судно може переміщатися лагом, що дуже зручно при швартуванні біля пірса. Зазвичай два підрулюючі пристрої ставлять на суднах, що мають часті швартування (наприклад, на пасажирських суднах, поромках, рятувальниках та ін.).

Підрулюючі пристрої забезпечують високу маневреність у дрейфі та на малих ходах (при швидкості не більше 2-6 вузлів). Застосування підрулюючого пристрою на океанських пасажирських лайнерах і крупнотоннажних суднах дозволяє їм входити в порти, підходити до причалу і відходити від нього без допомоги буксирів [3-5].

**Метою роботи** є опис особливостей використання електроприводів судових підрулюючих пристроїв для подальшого їх проектування та реалізації.

Щодо особливостей роботи підрулюючих пристроїв можна відзначити, що мають чітко виражену сідлоподібну форму характеристики упору в області малих подач, що обумовлює їх нестійку роботу в цьому діапазоні при великій споживаній потужності. Тому для запобігання перевантаженню електродвигуна, пуск його в роботу має здійснюватись при повністю відкритих каналах на вхідному та відповідному виходах [6, 7].

Істотний вплив на ефективність підрулюючого пристрою при русі судна має його розташування (в носі чи кормі). Тому що на корпусі судна в районі вихідного каналу виникає сила засмоктування, спрямована у бік, протилежний напрямку тяги струменя. Ця сила може досягати значної величини і при невеликій швидкості судна може наближатися до величини тяги, що в значній мірі впливатиме на маневрені властивості судна. Товщина прикордонного шару під час руху судна у носі значно менше, ніж у кормі. При кормовому розташуванні підрулюючого пристрою внаслідок великої товщини прикордонного шару швидкість обтікання корпусу близька до нуля, тому навіть при русі судна підрулюючий пристрій буде себе поводити як і в режимі швартування [8].

Підрулюючий пристрій з точки зору електропривода можна розділити на регульовані та нерегульовані. В регульованому електроприводі підрулюючого пристрою керування упором забезпечується зміною частоти обертання електродвигуна, а в нерегульованому – за рахунок зміни характеристик механічної частини, наприклад поворот лопатей гвинта з регульований кроком, гідравлічною передачею тощо.

Для регулювання подачі першого способу необхідно мати двигун зі змінною частотою обертання, здебільшого, використовуються двигуни постійного струму з незалежним збудженням та системою керування за принципом генератор-двигун або з використанням асинхронних електроприводів з частотним керуванням. Використання електропривода з частотним керуванням дозволяє використовувати більш надійні та дешеві асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором але ускладнюють реалізацію самої системи керування [9].

Для регулювання подачі змінюю кута установки лопаті необхідно мати робоче колесо з поворотними лопатями та спеціальний механізм їхнього повертання. Регулювання подання в такий спосіб полягає в тому, що при  $n = \text{const}$  шляхом зміни кута установки лопаті змінюється кут набігання потоку, що викликає зміну осьової швидкості, а отже і упору. Для такого типу система керування електроприводом зводиться до задач його плавного дистанційного пуску без регулювання швидкості. Для цього доцільне використання асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором або двигунів постійного струму з змішаним збудженням [10].

**Висновки.** Підрулюючі пристрої судна підвищують маневреність судна на малому ході та при швартуванні. Підрулюючими пристроями обладнуються всі судна довжиною більше 40 м. До основних показників підрулюючих пристроїв відносяться тип двигуна, тип електродвигуна, номінальна потужність, відносний упор. Для подальшого проектування підрулюючого пристрою необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити необхідний упор підрулюючих пристроїв та обрати електродвигун;
- перевірити обраний електродвигун на нагрівання та максимальний момент;
- провести моделювання роботи підрулюючого пристрою.

#### Список літератури

1. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Л., Судостроение. 1989. 360с.
2. Мартиросов Г. Г. О применении подруливающих устройств на судах. Судовое оборудование. Судостроение. 2012, № 4. 52-54 сс.
3. Чайников К.Н.. Общее устройство судов. Л: Судостроение 1971.
4. Шмаков М.Г. Судовые устройства. Л.: Судостроение, 1979. 168 с.
5. Васильев В. Н., Карауш Н. Я., Эксплуатация судовых электроприводов. М.:Транспорт. 1985. 279с.
6. Тё, А. М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: учеб. Пособие. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. 208 с.
7. Григорьев А. В. Судовые подруливающие устройства. Морской флот. 2012. № 5. 32-34 сс.
8. Шевцов С.П. Особенности проектирования подруливающих устройств большой мощности – Российское кораблестроение: от академика А.Н. Крылова до наших дней. Тезисы конференции. – Спб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр» 2014.
9. Гофман А. Д. Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Л., Судостроение, 1989. 360с.
10. Устюгов Н. А., Хватов О.С., Тарпанов И. А. Проектирование рулевых электромеханических приводов. Н.Новгород: 2013. 88 с.

#### УДК 629.123

Семенчук Д. П., Сірівчук А. С., к.т.н.,

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВИХ ВАНТАЖНИХ ЛЕБІДОК

Лебідки – електричні/гідравлічні підйомно-тягові механізми, що дозволяють проводити операції з підйому та переміщення вантажу завдяки передачі за допомогою каната тягового зусилля від приводного барабана. Призначаються для підйому вантажу по вертикалі та горизонтального переміщення. Суднові вантажні лебідки призначені для переміщення вантажу при навантажувальних та розвантажувальних роботах [1,2].

При проектуванні вантажних лебідок основними параметрами для вибору електропривода є вантажопідйомність лебідки та її режими роботи [3].

**Метою роботи** є огляд режимів роботи електропривода суднових вантажних лебідок для подальшого вибору електродвигуна та подальшої його перевірки на нагрівання та максимальний момент.

Електроприводи вантажних лебідок можуть працювати в трьох режимах: одинична робота, парна робота на спільний гак та парно-послідовна [4-6].

При одиничній роботі лебідки вантаж переміщується лебідкою автономно та виконує наступні операції (рис. 1): підйом вантажу ( $t_1$ ,  $M_1$ ); переведення стріли з вантажем ( $t_2$ ); спуск вантажу при ( $t_3$ ,  $M_2$ ); від'єднання стропів

від вантажу ( $t_4$ ); підйом гака ( $t_5$ ,  $M_3$ ); переведення стріли з пустим гаком від люка до борту ( $t_6$ ); спуск гака ( $t_7$ ,  $M_4$ ); під'єднання вантажу ( $t_8$ ).

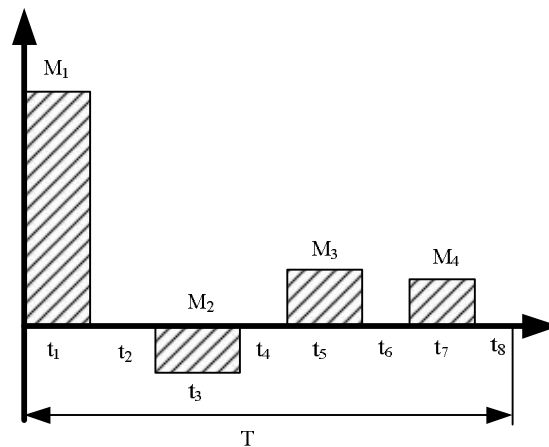


Рисунок 1 – Навантажувальна діаграма вантажної лебідки

Парно-послідовна робота дає можливість зменшити час розвантажувальних робіт за рахунок розділення маршруту вантажу між лебідками. В такому режимі одна лебідка виконує попереднє піднімання вантажу з трюму на палубу, а інша перевантажує вже на причал. Навантажувальна діаграма співпадає з одиночною роботою, а особливістю даного режиму є необхідність підтримання однакового часу одного циклу роботи обох лебідок.

Парна робота виконується в випадках коли вантажопідйомності однієї лебідки недостатня. Робота лебідок проходить в синхронному режимі (з однаковою швидкістю та в одному напрямку). Цикл навантажувальної діаграми співпадає з описаним вище за винятком того, що на кожен з двигунів бере на себе половину навантаження.

Інший вид роботи парної роботи двох лебідок їх стріли розташовують так, щоб одна знаходилася над люком трюму, а інша над причалом. Послідовність виконання такої операції наступна (рис. 2): підйом вантажу першою лебідкою над люком, друга працює – вибирає слабкість шкентеля ( $t_1$ ); вантаж переміщається від люка до борту та передається від першої до другої лебідки ( $t_2$ ); спуск вантажу за борт другою лебідкою, перша – пригальмовує ( $t_3$ ); звільнення стропів від вантажу ( $t_4$ ); підйом холостого гака другою лебідкою, перша вибирає слабину ( $t_5$ ); переміщення гака від борту до люка першою лебідкою, друга тримає трос ( $t_6$ ); спуск холостого крюка першою і другою тримає шкентель ( $t_7$ ); застроплювання вантажу ( $t_8$ ).

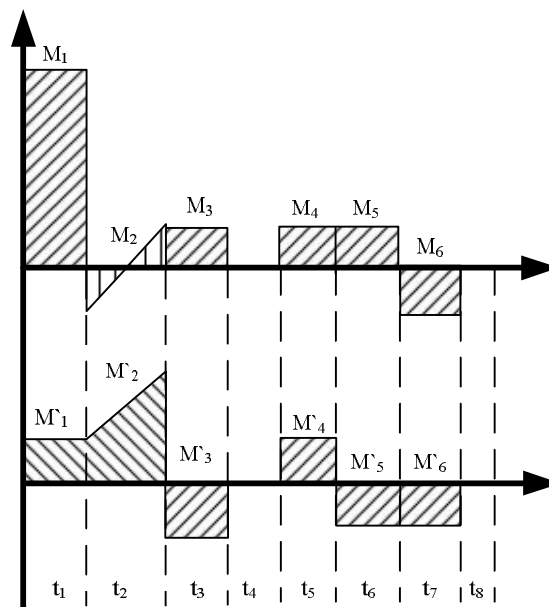


Рисунок 2 – Навантажувальна діаграма вантажної лебідки при парній роботі

Електроприводи лебідок та кранів працюють у напруженому повторно-короткочасному режимі. Навантаження електропривода змінюється у межах – від холостого ходу до номінальної величини, причому можливі також перевантаження.

Основна вимога до електроприводів вантажних лебідок і кранів – забезпечити високу продуктивність. Чим вища продуктивність суднових вантажопідійомних механізмів, тим менша тривалість вантажних операцій, коротше стоянки суден у портах.

В даний час застосовують швидкохідні лебідки з порівняно високими швидкостями підйому повного вантажу (40 - 50 м / хв). Подальше збільшення швидкості підйому повного вантажу через невелику висоту підйому скорочення часу циклу майже не дає. У той же час потрібно мати більш високі швидкості для роботи з порожнім гаком та вантажами масою меншою за номінальну. Крім того, для плавного торкання, опускання та переміщення вантажу потрібні низькі швидкості [7,8].

Таким чином, для безпечної та високопродуктивної роботи електропривод вантажної лебідки або крана повинен допускати регулювання частоти обертання в 3-3,5 рази більше та в 5-6 разів менше номінальної [9].

Великий вплив на продуктивність вантажопідійомного механізму надає час розгону та гальмування. Потрібен великий пусковий момент, але в той же час він не повинен бути надто великим, тому що при великому прискоренні можна розірвати такелаж. Система гальмування має бути ефективною та надійною.

Електроприводи лебідок та кранів повинні забезпечувати надійну роботу при кранах судна та диферентах, бути надійними та безпечними, мати просту та зручну систему керування, бути компактними, недорогими та економичними [10].

**Висновки.** В роботі описано режими роботи суднових вантажних лебідок та основні вимоги до їх електропривода. Для подальшої розробки електропривода плануються вирішення наступних питань:

- вибір двигуна вантажної лебідки та розрахунок навантажувальної діаграми;
- перевірка обраного електродвигуна на нагрівання;
- розробка системи керування з регулюванням частоти відповідно до вказаних вимог.

#### Список літератури

1. Померанець О. Застосування вантажопіднімальних пристроїв на гідрографічних судах, *Вісник Держгідрографії* – №1 (33). 2011. 2-6 сс.
2. Чайников К.Н.. Общее устройство судов. Л: Судостроение 1971.
3. Савенко А.Е. Судовые электроприводы: учеб. Пособие. ФГБОУВО «Керченский государственный морской технологический университет». Керчь, 2019. 220 с.
4. Чекунов К. А. Судовые электроприводы и электродвижение судов. Л: Судостроение, 1976г.
5. Кипарский Г.Р. Судовые краны и лебедки. Атлас конструкций. Л: Судостроение. 1978, 84 с
6. Васильев В. Н., Карауш Н. Я., Эксплуатация судовых электроприводов. М.: Транспорт. 1985. 279с.
7. Регістр судноплавства України. Правила щодо вантажопідіймальних пристроїв морських суден. Київ. 2020.
8. Роджеро Н. И. Справочник судового электромеханика и электрика 2-е издание переработанное и дополненное - М: Транспорт, 1986. - 319 с.
9. Александров М. П. Грузоподъемные машины: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 552 с.
10. Тё, А. М. Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: учеб. пособие. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. 208 с.

#### УДК 621.865.8

*Литвиненко О.В., магістрант гр.6371м*

*Керівник: к.т.н., доцент Васильєв О.Г.*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА

У сучасному виробництві все частіше використовуються промислові роботи, які здатні незалежно від людини виконувати досить складні завдання, що пов'язані з переміщенням та транспортуванням різних об'єктів, виконанням технологічних функцій, здійсненням функцій контролю та обслуговування.

Промислові роботи - універсальний засіб комплексної автоматизації виробничих процесів, за допомогою якого забезпечується швидке перенастроювання послідовності, швидкості й видів маніпуляційних дій. Тому застосування промислових роботів найбільш ефективно в умовах частої зміни об'єктів виробництва, а також для автома-

тизації ручної монотонної праці. Особливе місце займають роботи в автоматизації операцій, що протікають в екстремальних, шкідливих для здоров'я людини або небезпечних умовах.

Промислові роботи, забезпечуючи автоматизацію окремих технологічних процесів й операцій, зв'язують їх у системи автоматично працюючих виробничих машин-автоматів. Такі системи машин добре підготовлені до централізованого керування від ЕОМ.

Незважаючи на те, що область застосування напівпровідникових перетворювачів у електроприводі робота постійно розширюється, більшість масових роботів дотепер оснащені більш простими і дешевими типовими електроприводами, що формують далекі від бажаних механічні характеристики.

Тому досить актуальною є необхідність поліпшення систем керування електроприводами (ЕП) з використанням мікропроцесорної техніки.

У літературі, присвяченій мікропроцесорній системі керування електроприводом, розглядаються різні варіанти, їх властивості й характеристики. Докладно досліджуються можливості мікропроцесорного керування сучасними електроприводами, доцільність оптимального керування механізмом робота. Чимало публікацій останнім часом присвячені впливу сучасних перетворювачів на поліпшення динамічних режимів електромеханічних систем робота [3,4].

Однак усі ці публікації стосуються лише окремих сторін електроприводів і їх перетворювачів. На жаль, до тепер не розглянуті всі ці можливості з єдиних позицій, щоб, використовуючи деякі інтегральні критерії, можна було б дати рекомендації із застосування електроприводів для механізму робота.

Більшість систем, що мають високу функціональну складність, реалізуються на мікропроцесорних пристроях. За допомогою мікропроцесорів можливе створення складних алгоритмів керування, які неможливо реалізувати в аналоговий спосіб.

Мікропроцесорна система керування (МПСК) електроприводом – це електромеханічна система з мікропроцесорним керуючим пристроєм.

На мікропроцесорний пристрій відводяться функції:

- керування силовою частиною ЕП (випрямлячами, інверторами);
- реалізація регуляторів класичного типу (лінійних, нелінійних, імпульсних);
- адаптивного і нейро-нечітке керування;
- спостереження за сигналами і параметрами елементів системи [5].

Більшість приводів в даний час є мікропроцесорними, в яких цифровий комп'ютер або мікроконтролер використовується в якості регулятора.

Типова структура сучасної СКЕП зображена на рисунку 1.

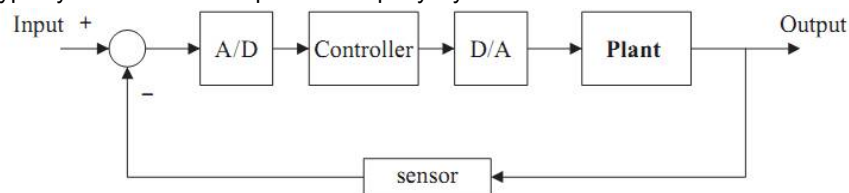


Рисунок 1 - Типова структура сучасної СКЕП

Тут передбачається, що сигнал помилки аналоговий і для його представлення в цифровій формі служить АЦП, так що він може бути оброблений за допомогою мікроконтролера керуючого пристрою. Мікроконтролер працює по закладеному в нього алгоритму (програмне забезпечення).

Більшість мікроконтролерів включають вбудований А/Д (аналогово-дискретний) і D/A (цифро-аналоговий) перетворювачі.

**Метою роботи** є дослідження системи керування електропривода першої ступені рухомості маніпулятора Кука КР 60-3 з двигуном постійного струму моделі 2ПБ-200L у складі гнучкої виробничої дільниці механообробки.

Для електропривода поворотної координати застосований перетворювач постійного струму SINAMICS DC MASTER [6].

Структурно об'єкт керування представлений на рисунку 2.

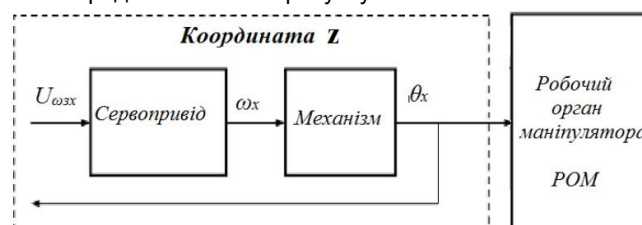


Рисунок 2 - Структурна схема об'єкта керування:  $U_{\omega z x}$  - сигнал завдання швидкості;  $\omega$  – швидкість обертання двигуна привода координати;  $\theta$  – положення робочого органу маніпулятора за координатою

Сервопривод координати Z забезпечує обертальний рух робочого органу маніпулятора (РОМ) за своєю координатою зі швидкістю  $\omega$ , яка визначається сигналом завдання швидкості  $U_{\omega z}$ . Обертальний рух РОМ є результатом перетворення редуктором механізму вхідного обертального руху вала електродвигуна. А результат обертального руху є переміщення РОМ в положення  $\theta$  по даній координаті.

Функціональна схема системи керування однієї координати представлена на рисунку 3.

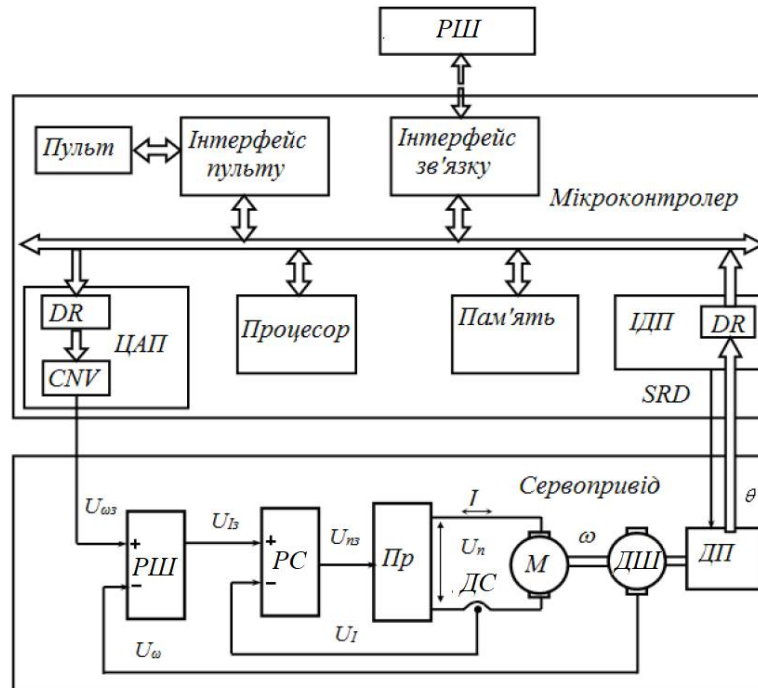


Рисунок 3 – Функціональна схема системи керування однієї координати

На рисунку 3 позначено: ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ДЦП – інтерфейс детектора положення; РШ – регулятор швидкості; РС – регулятор струму; Пр – перетворювач; ДС – датчик швидкості; ДП – датчик положення; ДС – датчик струму.

На схемі детально показаний об'єкт керування для координати – сервопривід. У складі мікроконтролера вказані тільки додаткові засоби для сполучення з сервоприводом.

Сервопривід забезпечує підтримку відповідності між завданням швидкості  $U_{\omega z}$  і реальною швидкістю  $\omega$  обертання вала двигуна М. Він побудований за класичною схемою двоконтурного підлеглого керування.

Контур швидкості є зовнішнім контуром для контуру струму. Він шляхом формування завдання  $U_{\omega z}$  для контуру струму керує діями цього внутрішнього контуру. Підлеглий контур швидкості контур струму цілком входить до складу об'єкта регулювання контуру швидкості. Крім нього до складу контуру швидкості входять: механічна частина двигуна, датчик швидкості ДШ (тахогенератор) і регулятор швидкості РШ.

Якірну напругу двигуна М формує перетворювач Пр (широтноімпульсний або тиристорний). Він посилює потужність вхідного сигналу керування  $U_{\omega z}$  і виробляє пропорційну йому напругу  $U_n$  для живлення якоря двигуна. Внутрішній контур регулювання – контур струму.

Він складається з якоря двигуна М, перетворювача Пр і регулятора струму РС. Контур струму за допомогою варіювання якірною напругою забезпечує струм якоря пропорційним завданням струму на вході контуру струму  $U_{\omega z}$ . Досягається це за рахунок наявності негативного зворотного зв'язку по струму якоря: датчик струму перетворює вхідний сигнал струму якоря в пропорційний йому сигнал напруги  $U_i$ ; різниця  $U_{\omega z} - U_i$  (неузгодженість) подається на вхід РС; далі регулятором виробляється такий сигнал  $U_{\omega z}$  (при цьому перетворювачем виробляється відповідне  $U_n$ ), щоб оптимальним чином усунути неузгодженість або зробити відміну струму якоря від заданого струму мінімальним.

Контур швидкості за допомогою варіювання струмом якоря (через керування контуром струму) забезпечує швидкість обертання двигуна  $\omega$  пропорційною завданням швидкості  $U_{\omega z}$ . Досягається це за рахунок застосування негативного зворотного зв'язку за швидкістю.

Датчик швидкості виробляє напругу  $U_{\omega}$  пропорційно швидкості обертання двигуна. Узгодженість швидкості  $U_{\omega z} - U_{\omega}$  надходить на вхід РШ, яка виробить  $U_{\omega z}$  таким, щоб струм якоря забезпечив момент обертання на валу двигуна, який зменшить або збільшить швидкість його обертання для усунення даної неузгодженості.

При необхідності контролю поточного стану по координаті необхідно реалізувати канал зворотного зв'язку по положенню на основі датчика положення та інтерфейсу в складі мікроконтролера [1].

Для аналізу та вдосконалення динамічних характеристик складена структурна схема, проведений розрахунок всіх її елементів та змодельована динамічна розрахункова модель (рисунок 4) з використанням пакета Simulink програми MatLab [2].

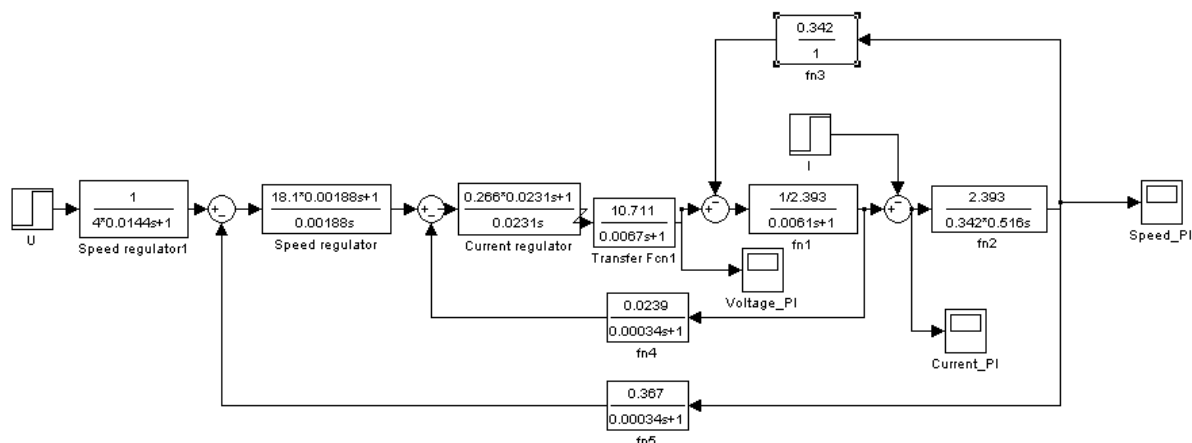


Рисунок 4 - Динамічна розрахункова модель з ПІ-регулятором швидкості і фільтром на вході в систему

Проведений аналіз динамічних властивостей системи автоматичного керування при зміні законів керування при розрахункових параметрах.

Результати аналізу перехідних процесів за швидкістю показані на рисунку 5, а для перехідних процесів за струмом на рисунку 6.

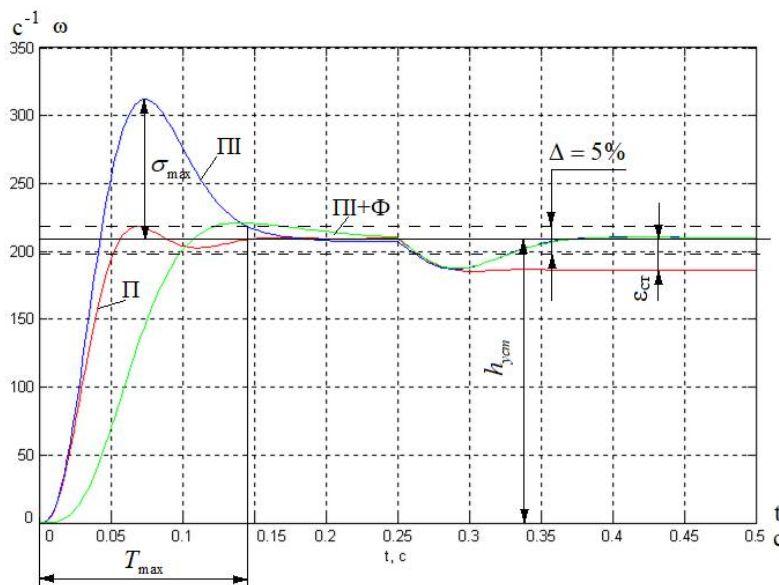


Рисунок 5 - Перехідні процеси по швидкості

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 - Основні показники якості регулювання

| Тип регулятора                   | $h_{уст}, c^{-1}$ | $h_{max}, c^{-1}$ | $\sigma_{max}, \%$ | $T_{max}, c$ | $\epsilon_{ст}, \%$ | $N$ |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------|---------------------|-----|
| ПІ-регулятор                     | 210               | 322               | 53                 | 0,14         | 0                   | 1   |
| П-регулятор                      | 210               | 222               | 5,7                | 0,06         | 8                   | 1   |
| ПІ-регулятор з фільтром на вході | 210               | 225               | 6                  | 0,11         | 0                   | 1   |

За графіками змодельованих перехідних процесів системи зроблений висновок, що найкращі показники якості перехідних процесів системи керування можна отримати, включивши на вхід в систему аперіодичну ланку в якості фільтра з ПІ-регулятором швидкості, налагодженим на симетричний оптимум.

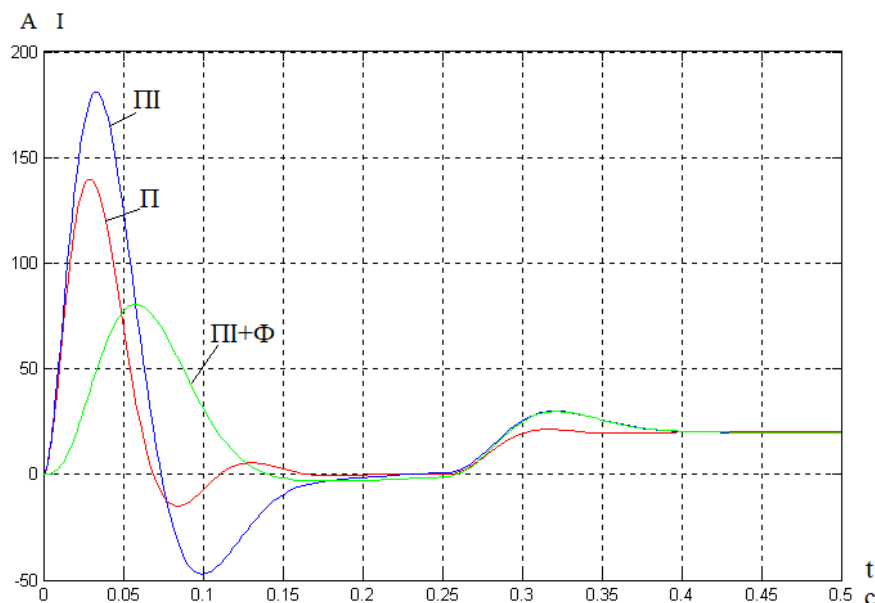


Рисунок 6 - Перехідні процеси за струмом

**Висновки:** при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості перерегулювання склало  $\sigma = 6\%$ , час перехідного процесу  $T_{\max} = 0,11$  с, коливальність  $N = 1$ , статична похибка відсутня  $\epsilon = 0$ .

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Отримані результати дослідження показали, що спроектована система керування приводом ланки робота від перетворювача частоти SINAMICS DC MASTER працює оптимально, забезпечує поліпшення точності позиціонування.

#### Список використаних джерел

1. Бондаренко І.М. Мікропроцесорні системи контролю та керування: Навч. посібник для студентів ЗВО / І. М. Бондаренко, О. В. Бородін, В.П. Карнаушенко . – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 244 с.
2. Герман-Галкин С. Г. MatLab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. - СПб. : КОРОНА-Век, 2008. - 368 с.
3. Грабко В. В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. / В. В Грабко, В. Ю. Кучерук, О. М. Возняк - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
4. Зенкевич С. А. Основы управления манипуляционными роботами [Текст] / С. А. Зенкевич, А. С. Ющенко. Учебное пособие для вузов – 2-е изд. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
5. Иванов, Ю. И. Микропроцессорные устройства систем управления: Учебное пособие / Ю.И. Иванов, В.Л. Югай - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 133 с.
6. Преобразователи постоянного тока SINAMICS DCM. Руководство по эксплуатации. Издание 11/2009. Инверторы переменного тока в постоянный 6 кВт – 2500 кВт для электроприводов постоянного тока с изменяемой частотой вращения.

## УДК 621.865.8

Алієв А.Р., Левінський М.В., магістранти гр.6371мз

Керівник: к.т.н., доцент Васильєв О.Г

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА

**Область застосування приводної техніки.** Приводна техніка користується попитом у всіх сучасних галузях промисловості. Приводне обладнання - невід'ємна частина виробничих підприємств. Можливості приводної техніки застосовні як для роботи з великим промисловим обладнанням, так і для невеликих приладів, машин і механізмів, в тому числі для побутового застосування. У деяких випадках застосовуються конкретні види приводної техніки окремо для вирішення конкретних завдань [6].

Конвеєри – це техніка для швидкого і безпечного переміщення сипучих речовин на виробництві, це складське обладнання, що використовується для транспортування, завантаження-розвантаження різних вантажів.

Конвеєри складають одну із самих численних і конструктивно досить різноманітних груп машин безперервного транспорту. Звичайно конвеєри використовуються як самостійні вантажно-розвантажувальні машини. Однак їх часто використовують у якості складових агрегатів більш складних машин безперервного транспорту.

Розвиток сучасних машин безперервного транспорту, конвеєрних і транспортно-технологічних систем відбувається в напрямку універсальності, енергозбереження, зниження матеріалоємності й витрат на обслуговування, забезпечення екологічних вимог.

Автоматизація виробничих процесів з використанням машин безперервної дії дозволяє значно збільшити економічний ефект за рахунок забезпечення раціональних режимів роботи всіх вузлів конвеєрів, скорочення часу пуску й зупинки конвеєрної лінії, зниження витрати електроенергії й простоїв устаткування.

У цей час найпоширенішим типом привода конвеєрів є нерегульований електропривод змінного струму на основі асинхронних машин переважно з короткозамкненим ротором [2,4].

На рисунку 1 наведена електрична схема типового привода конвеєрів [5].

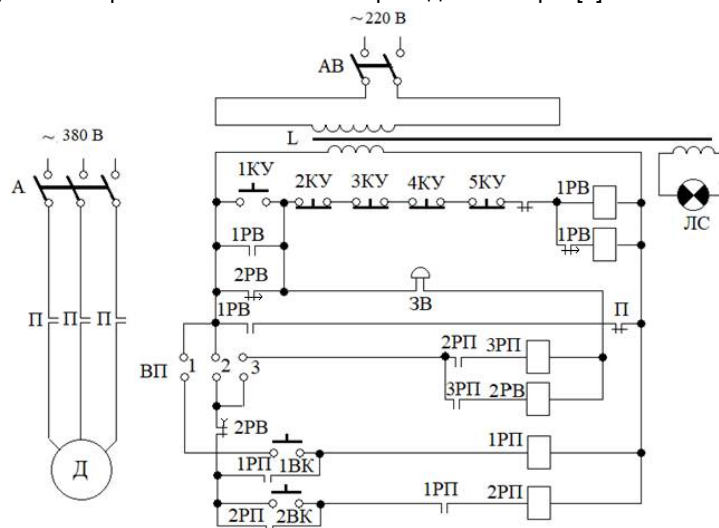


Рисунок 1 - Електрична схема привода конвеєра

**Метою роботи** є заміна існуючого електропривода конвеєра на електропривод з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики транспортного засобу.

Для плавного пуску й регулювання швидкості доцільно застосовувати керовані перетворювачі частоти, що дозволяє створювати установки з високими динамічними властивостями й мінімальними додатковими втратами [3].

Основними умовами на вибір типу привода для розглянутої установки є:

- широкий діапазон регулювання кутової швидкості двигуна ;
- високі динамічні показники;
- високі показники надійності (довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність);
- ступінь захисту двигуна IP44.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в безупинному режимі, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

В роботі розглядається конвеєр, в якому застосований сучасний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором типу AIP100L4 потужністю 4 кВт зі ступенем захисту IP44, захищений від влучення пилу та водяних бризів на внутрішні робочі елементи [9].

В модернізованому варіанті керування електроприводом здійснюється за допомогою частотного перетворювача типу VFD-C2000.

Перетворювачі частоти Delta Electronics серії VFD-C2000 є на сьогодні однією із самих досконалих і перспективних лінійок універсальних частотних перетворювачів для електродвигунів і не мають аналогів у номенклатурі більшості інших іменитих виробників [7].

На рисунку 2 показана загальна схема перетворювача частоти лінійки VFD-C.

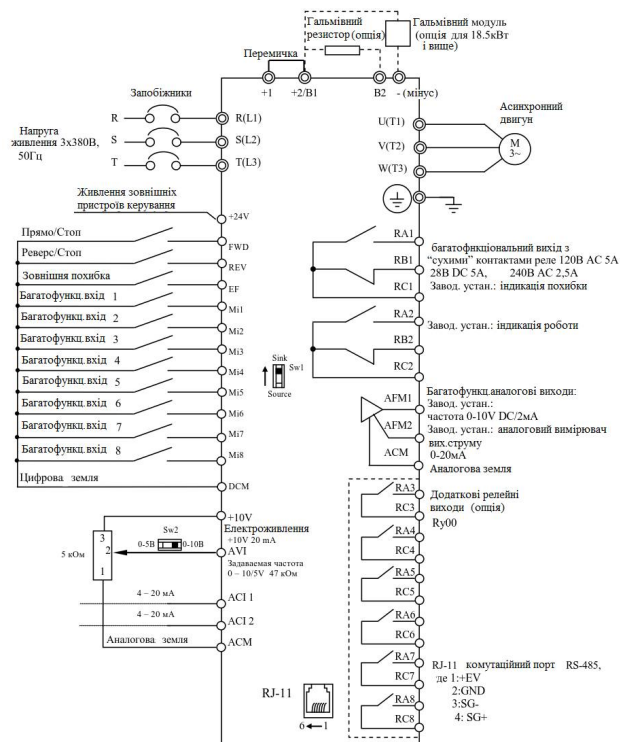


Рисунок 2 - Загальна схема підключення перетворювача частоти лінійки VFD-C

Для дослідження динаміки системи керування складена структурна схема (рисунок 3), проведені розрахунки всіх її елементів та побудована її розрахункова динамічна модель [8].

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab версії 6.5.0

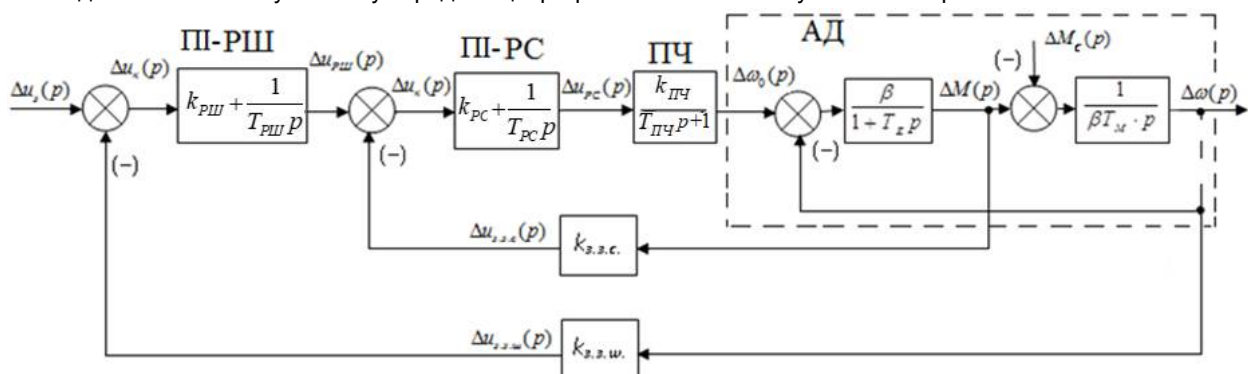


Рисунок 3 – Структурна схема обраного електропривода з частотно-струмовим керуванням

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування виконувалося зі зміною законів регулювання при розрахункових параметрах з метою отримання заданих показників якості перехідних процесів.

Для цього проведена заміна ПІ-регулятора швидкості на П-регулятор швидкості, а також розглянутий варіант встановлення фільтра на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості.

В результаті дослідження отримані перехідні процеси на виході контуру струму та контуру швидкості для трьох моделей систем: з ПІ-регулятором, з П-регулятором та з ПІ-регулятором і фільтром на вході, які представлені на рисунках 4, 5.

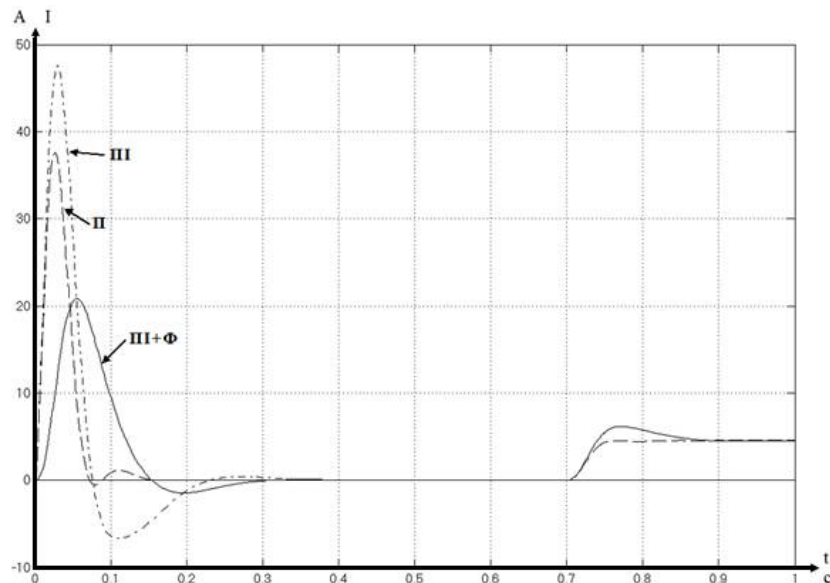


Рисунок 4 - Перехідний процес за струмом

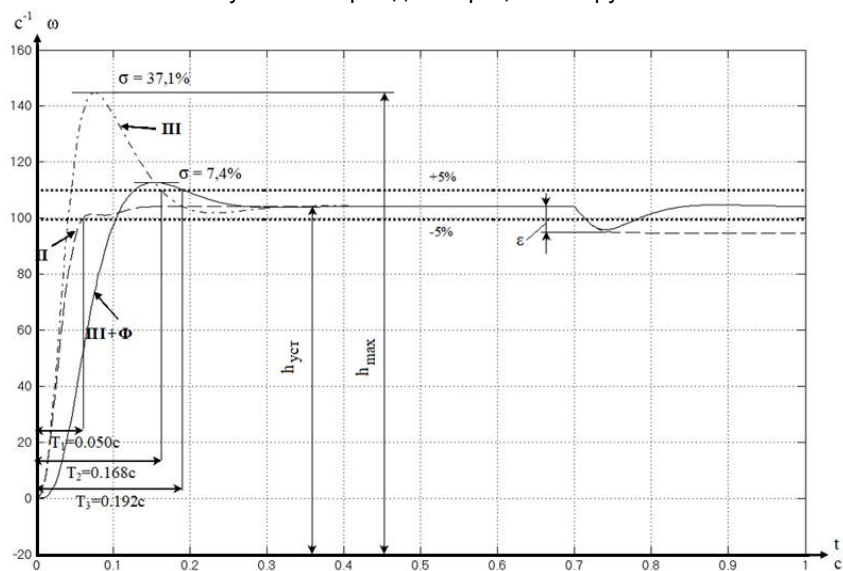


Рисунок 4 - Перехідний процес за швидкістю

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 - Основні показники якості регулювання

| Тип регулятора                   | $h_{уст}, c^{-1}$ | $h_{max}, c^{-1}$ | $\sigma, \%$ | $T_{max}, c$ | $\varepsilon_{cm}, \%$ | $N$ |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------------|-----|
| ПІ-регулятор                     | 104,8             | 144,8             | 37,1         | 0,168        | 0                      | 1   |
| П-регулятор                      | 104,8             | 104,8             | 0            | 0,05         | 11,5                   | 0   |
| ПІ-регулятор з фільтром на вході | 104,8             | 112,1             | 7,4          | 0,192        | 0                      | 1   |

В результаті аналізу отриманих даних прийнята система керування із застосуванням ПІ-регулятора швидкості і фільтра на вході в систему.

Таким чином, можна зробити висновок, що при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання складо  $\sigma = 7,4 \%$ , час перехідного процесу  $T_{\max} = 0,192$  с, коливальність  $N = 1$ , статична похибка відсутня  $\varepsilon_{\text{ст}} = 0$ .

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

**Висновки:** Застосування частотно-регульованого електропривода конвеєра, що забезпечує плавне регулювання швидкості руху вантажу, дозволяє отримати максимальну економію електроенергії транспортування вантажу при змінному вантажопотоці, збільшити ресурс та термін служби технологічного устаткування; зменшити час простоїв [1].

#### Список використаних джерел

1. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины. Текст. /М.П. Александров М.: Высшая школа, 1990.
2. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М. : Изд. центр «Академия», 2004. – 576 с.
3. Григоров О. В. Рациональні приводи підйомно-транспортних, дорожніх машин та логістичних комплексів : монографія / О.В. Григоров, В.В. Стрижак, Н.О. Петренко та ін.; за ред. Григорова О.В. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – 352 с.
4. Особенности развития современного электрического привода. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <http://electricalschool.info/elprivod/1238-osobennosti-razvitija-sovremennogo.html>.
5. Описание схемы управления конвейерами. [Електронний ресурс] : Режим доступу: [https://www.transform.ru/sst/\\$books/b000012.htm](https://www.transform.ru/sst/$books/b000012.htm) .
6. Приводная техника. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://rusautomation.ru/privodnaya-tehnika>.
7. Применения преобразователей частоты. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://drives.ru/stati/primeneniya-preobrazovateley-chastoty/> .
8. Терехов В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. - 2-е изд., стер. - М. :Издательский центр "Академия", 2006. - 304 с.
9. Электродвигун. Типы. [Електронний ресурс] : Режим доступу: <https://all-electro.com.ua/a273740-elektrodvigun-tipi-tsini.html>

#### УДК 621.314

*Петров С.С., магістрант гр.6371м*

*Керівник: к.т.н., доцент Васильєв О.Г*

*Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

#### МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДИ

Нині молочна промисловість є однією з найважливіших серед переробних галузей, на озброєнні якої знаходяться тисячі одиниць сучасного технологічного і енергетичного обладнання, сотні потокових ліній, безліч засобів механізації і автоматизації технологічних процесів.

Молокопереробна галузь Миколаївської області представлена, головним чином, трьома найбільш потужними підприємствами – ПрАТ «Лакталіс-Миколаїв», ПАТ «Первомайський МКК» та ТДВ «Баштанський сирзавод» [3].

Забезпечити вихід молочної сировини стандартної якості, яка б задовольняла потреби переробних підприємств, можливо за умови збереження якості молока на фермах завдяки організації системи охолодження й зберігання молока.

У сучасному виробництві харчових продуктів, зокрема в молочній промисловості, дуже гостро стоїть питання отримання льодової води в якості проміжного холодоносія для зберігання і переробки молока. Коли молоко поступає на завод, його необхідно протягом 2 - 3 годин охолодити до температури 3 - 4 °С [5,6].

Сучасне технологічне обладнання для прийому, пастеризації, охолодження молока та сировини вимагає використання води з температурою не вище +2 °С. Чим ближче до 0 °С буде її температура, тим ефективнішим буде робота системи охолодження, що підвищить якість продукції.

Необхідність охолодження у молочній промисловості вимагає використання проміжного холодоносія, який повинен мати цілий ряд необхідних властивостей – він має бути нетоксичним, недорогим, мати прийнятні теплоперевальні властивості, низьку в'язкість.

Найбільш повно цим вимогам відповідає звичайна льодова вода, яка найбільш часто використовується у молочній та харчовій промисловості. Для отримання максимальної різниці температур при охолодженні рідин її температура повинна бути максимально низькою, тобто мати температуру, близьку до температури замерзання. Однак з технічної точки зору отримання льодової води з температурою  $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$  є досить складною задачею.

Системи охолодження під час виробництва питного молока – охолодження сирого молока для його зберігання перед обробленням, охолодження в технологічних процесах оброблення молока та холодне зберігання готового продукту, – можуть споживати близько  $3/4$  електричної енергії.

Для прямого зменшення витрат електричної енергії в цеху обробки молока рекомендовано деякі спеціальні й універсальні заходи [2]:

- встановлювати частотні перетворювачі для зменшення навантаження на насоси і електродвигуни;
- застосовувати контролери частот на електродвигунах;
- мінімізувати навантаження на електродвигуни;
- мінімізувати втрати на електродвигунах.

Таким чином, автоматизація технологічних процесів підприємства і гострота проблеми енергозбереження в народному господарстві України та забезпечення стандартної якості молочної сировини є актуальною темою.

**Метою роботи** є модернізація системи керування електропривода насоса обладнання для охолодження води, що використовується на підприємстві ЗАТ "Лакталіс-Миколаїв".

На підприємстві "Лакталіс-Миколаїв" охолоджувачем води у системі виступає пропіленгліколь, який циркулюючи по трубах, охолоджує до температури близької до  $0$  градусів дистильовану воду, яка знаходиться у резервуарі. Вода перекачується відцентровими насосами до центральної магістралі, звідки її відбирають споживачі.

У технологічному процесі підприємства ЗАТ "Лакталіс-Миколаїв" для охолодження широко застосовується льодяна вода. Для її перекачування використовуються вертикальні відцентрові багатоступінчасті насоси типу Grundfos CRN 90-2.

Система призначена для охолодження води, і подачі охолодженої води, яка широко використовується у виробничому процесі, до споживачів на території підприємства. Принципова схема системи представлена на рисунку 1.

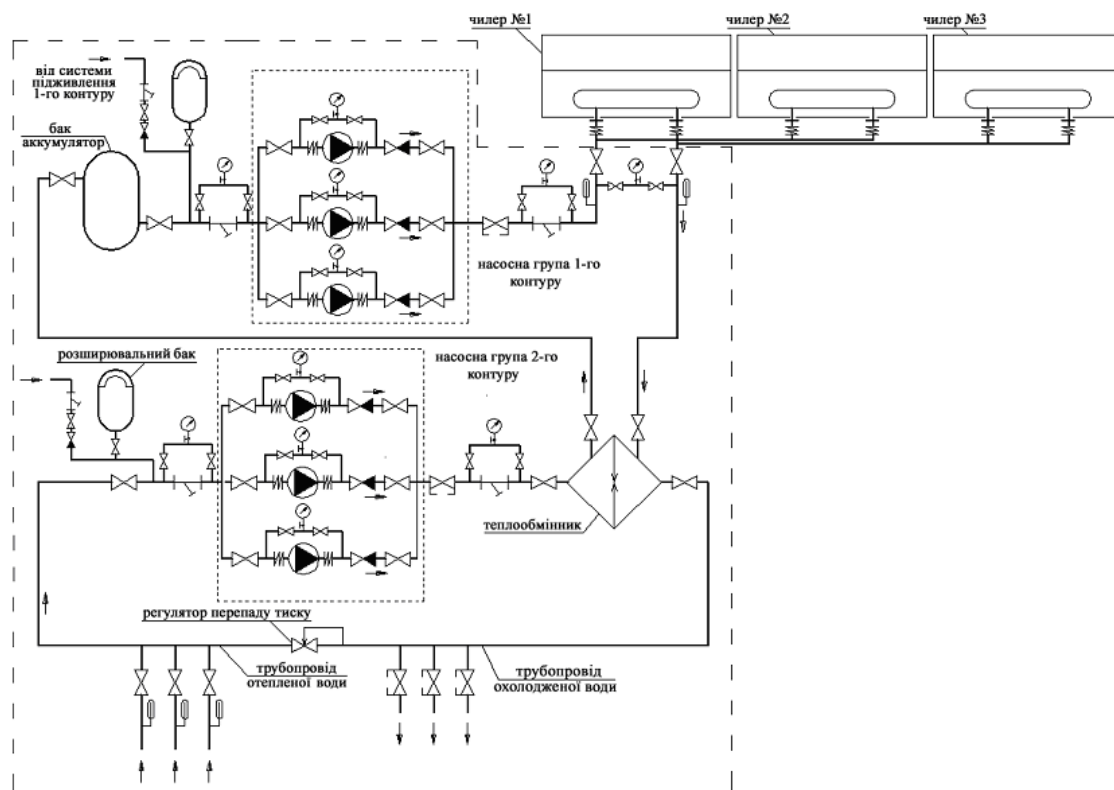


Рисунок 1 - Принципова схема системи

Пропіленгліколь охолоджується трьома чилерами холодо-продуктивністю по  $250 \text{ кВт/год}$  і, циркулюючи по трубах, охолоджує до температури близької до  $0$  градусів дистильовану воду, яка знаходиться у резервуарі. Вода перекачується трьома відцентровими насосами до центральної магістралі, звідки її відбирають споживачі.

Керування потужностями компресорів здійснюється за допомогою частотного перетворювача. Сигнал на нього поступає з датчика, розташованого у колекторі.

Потужність, що споживається насосом, знаходиться в кубічній залежності від швидкості обертання робочого колеса.  $P = f(Q^3)$ . Продуктивність насоса  $Q$  прямо пропорційна швидкості обертання робочого колеса. Тобто зменшення швидкості обертання робочого колеса насоса (вентилятора) в 2 рази призводять до зменшення споживаної потужності у 8 разів.

Щоб насосна установка працювала без перевищення напору при будь-якому водоспоживанні, необхідно оснастити її відповідною системою автоматизованого керування, що має в своєму складі регульований електропривод. Це завдання вирішується системою автоматичного керування насосної установки, стабілізуючою напір в мережі по заданому значенню. Така система складається з насосного агрегату, укомплектованого регульованим електроприводом, датчика тиску, регулятора тиску, задавального пристрою і каналів зв'язку між перетворювачем і регулятором.

В роботі розглянутий відцентровий насос Grundfos CRN 90-2. Насос укомплектований стандартним асинхронним двополюсним електродвигуном Grundfos 160MD потужністю 15 кВт [7].

Для керування насосом Grundfos CRN 90-2 використаний перетворювач частоти Lenze SMD [4].

На рисунку 2 наведена структурна схема SMD-привода з пропорційно-інтегральним регулятором.

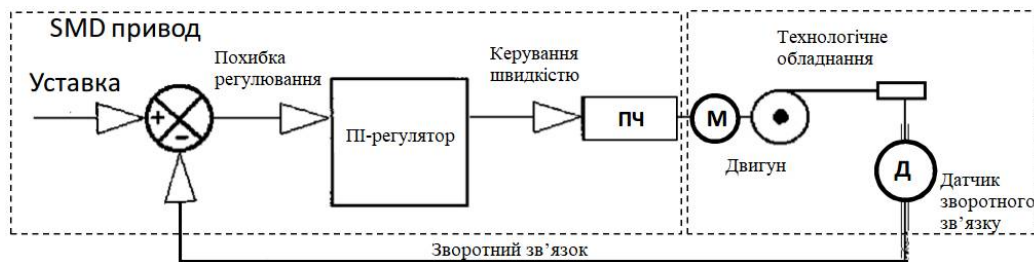


Рисунок 2 - Структурна схема SMD-привода з пропорційно-інтегральним (ПІ) регулятором

ПІ-регулювання найчастіше використовують в технологічних процесах, в яких регулюється тиск, потік, швидкість, напруга і температура.

Для вдосконалення динаміки системи керування складена структурна схема (рисунк 3), проведені розрахунки всіх її елементів та побудована її розрахункова динамічна модель.

Моделювання виконувалося у середовищі програми Simulink пакету MathLab версії 6.5.0.

З метою поліпшення динамічних властивостей системи керування електропривода у каналі керування тиску треба визначити параметри налагодження ПІ-регулятора, які будуть забезпечувати необхідні показники якості перехідного процесу.

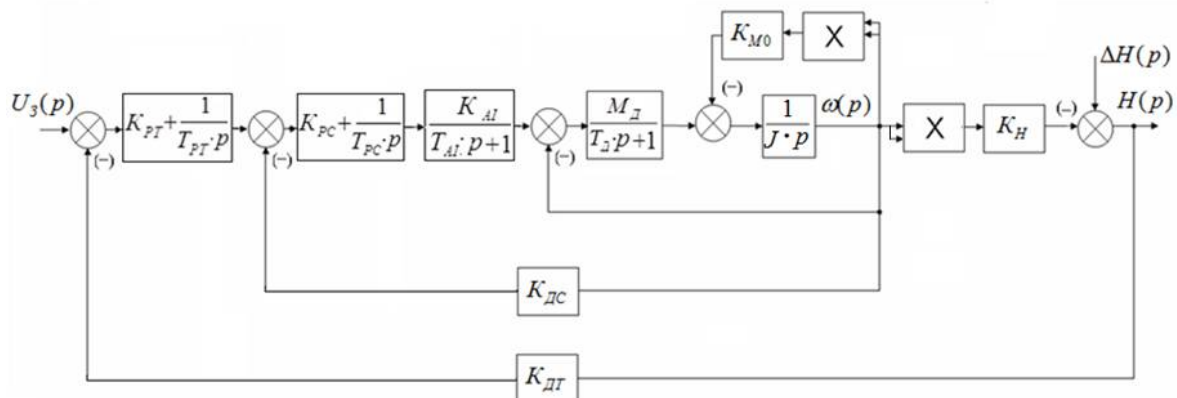


Рисунок 3 - Структурна схема електропривода з двоконтурною системою підлеглого керування

У роботі був проведений параметричний синтез при варіації параметрами ПІ-регулятора тиску.

Були отримані перехідні характеристики при зміні коефіцієнту підсилення  $K_i$  від 10,0 до 2,5, та характеристики при зміні постійної часу  $T_{рш}$  від 0,09 до 0,01.

Перехідний процес з вибраними параметрами представлений на рисунку 4.

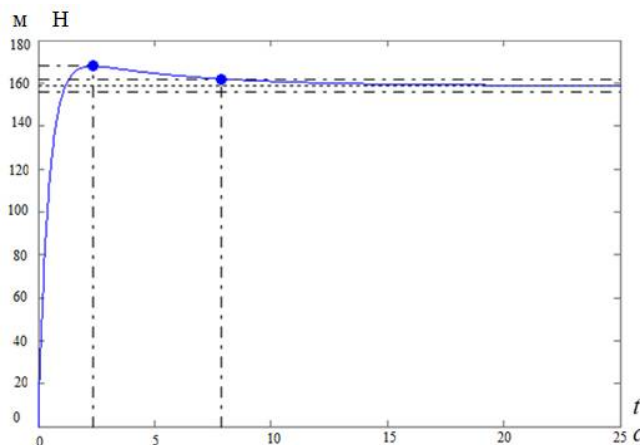


Рисунок 4 - Перехідний процес по тиску з вибраними параметрами настройки ПІ-регуляторів

Основні показники якості перехідного процесу складають:

- максимальне перерегулювання системи  $\sigma_{\max} = 2,4\%$ ;
- час перехідного процесу  $T_{\max} = 7,5$  с.

Такі показники забезпечать плавність ходу електропривода, та його безаварійну роботу.

**Висновки.** Отримані результати дослідження показали, що спроектована система керування асинхронного двигуна від перетворювача частоти Lenze SMD працює оптимально і двигун стартує плавно. Плавність пуску та регулювання швидкості ротора забезпечує безударне наростання напору.

#### Список використаних джерел

1. Грабко, В. В. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с.
2. Закладний О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
3. Наукове дослідження за темою «Управління конкурентоспроможністю підприємства, як основа його розвитку». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/node/4753/smakolyk.pdf>.
4. Преобразователи частоты Lenze AC Tech серии 8200 SMD 0,25 - 22 кВт. Инструкция по эксплуатации.
5. Учеваткин А.И. Автоматизированные энергосберегающие технологии и система электрооборудования линий первичной обработки молока на фермах. Автореферат диссертации доктора технических наук. М.: ВИЭСХ, 1998,- 43 с.
6. Черевко О. І., Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. — 2-е видання, доп. та випр. — Х.: Світ Книг, 2014. — 495 с.
7. Электродвигатель Grundfos MG160MD. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.ecomaks.ru/catalog/grundfos\\_mg\\_ml\\_160/9714-mg160md](http://www.ecomaks.ru/catalog/grundfos_mg_ml_160/9714-mg160md).

#### УДК 681.5

Федосеева Р.А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв  
Науковий керівник: к.т.н, професор Гуров А.П.

#### МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА

Значне поширення у волочильному виробництві отримали волочильні стани прямоточного і петлевого типу. Стани таких типів знаходять застосування при виробництві дроту зі сталі і кольорових металів.

Петльові і прямоточні стани відносяться до групи станів багаторазового волочіння, що працюють з автоматичним регулюванням швидкостей проміжних барабанів без накопичення і ковзання дроту на них. Дріт під час волочіння на прямоточному волочильному стані з протинатягненням, через його конструктивні особливості, після проходження через першу волоку надходить безпосередньо на перший барабан, далі, не утворюючи петлі, йде на другу волоку, з неї на другий барабан і т.д.

Сучасні волочильні цехи оснащують високовиробничим обладнанням, призначеним для виробництва високоякісної продукції підвищеної точності. З підвищенням вимог до точності розмірів волочильного дроту підвищуються вимоги до електромеханічного обладнання волочильних станів [1]. Значну увагу приділено експлуатації електрообладнання та заходам щодо збільшення терміну служби основного устаткування стану і його деталей, а також розглянуті можливі шляхи удосконалення діючого обладнання (системи управління електропривода) з метою підвищення його продуктивності.

Техніко-економічні показники різних станів заводів метизного виробництва при їх дослідженні показали, що у волочильних станах коефіцієнт технічного використання може становити менше 0.5 [2]. Обривність дроту і проведення допоміжних операцій (заправка стану, зупинка для заміни котушок намотувальних апаратів) з великими витратами часу є основними факторами, що знижують продуктивність станів. Застосування станів прямооточного типу дозволяє підвищити ефективність процесу волочіння. Однак основним недоліком експлуатованих прямооточних волочильних станів, є висока ймовірність обриву дроту, і з цієї причини з'являється втрата робочого часу, яка в деяких випадках досягає 44% [3].

Основною причиною високої ймовірності обривів дроту в процесі волочіння є нестабільність величини протинатягнення, що залежить від великого числа технологічних параметрів, що ускладнюють задачу у виборі режимів роботи електропривода. Для вирішення завдання стабілізації протинатягнення, необхідна наявність ефективною і надійною системи автоматичного регулювання електропривода.

**Метою роботи** є розглядання вимог до електропривода волочильного стану та аналіз перехідних процесів при прямому пуску асинхронного двигуна, який проводимо на основі асинхронного електродвигуна типу RA315S4.

#### **Вибір типу електропривода**

Виконання вимог, що пред'являються з боку технології до електропривода волочильного стану, в даний час можуть забезпечити електроприводи наступних типів:

- регульований електропривод постійного струму, виконаний за системою "тиристорний перетворювач-двигун" (ТП-Д);
- асинхронний регульований електропривод по системі перетворювач частоти з ланкою постійного струму (автономний інвертор з широтно-імпульсною модуляцією) - асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (ПЧ-АД).

До останнього часу системи електроприводів волочильних машин будувалися виключно на базі двигунів постійного струму. Причиною цього була відсутність надійних перетворювачів частоти. Однак системи ТП-Д мають такі недоліки, як:

- обмеження темпу наростання струму якоря, підвищений момент інерції електропривода, що призводять до зниження швидкодії систем автоматичного регулювання;
- високі показники маси і габаритів;
- трудомісткість в обслуговуванні.

Перераховані недоліки обумовлені наявністю колектора і відповідних процесів комутації та можуть бути виключені при побудові системи електропривода на основі асинхронного короткозамкнутого двигуна.

В даний час є достатній досвід промислового застосування електроприводів по системі ПЧ-АД в діапазоні потужностей 35 ... 100 кВт.

Разом з тим, системи електропривода ПЧ-АД мають відомими недоліки. У них здійснюється дворазове перетворення напруги мережі живлення, що знижує ККД системи електропривода в цілому. Крім того, має місце ступеневе регулювання вихідної напруги при частотах нижче 10 Гц [4].

Підвищити ефективність процесу волочіння можливо за рахунок модернізації існуючих систем електроприводів, що призведе до суттєвого підвищення ККД процесу волочіння в цілому:

- щодо енергоефективності: за рахунок заміни двигуна постійного струму на асинхронний двигун змінного струму;
- щодо підвищення швидкості волочіння: за рахунок використання більш сучасної системи керування електроприводом.

Виходячи з вищесказаного, в якості автоматизованого електропривода волочильної машини доцільно прийняти систему ПЧ-АД.

#### **Переваги використання ПЧ в управлінні асинхронним двигуном в системі електропривода**

Система управління ПЧ забезпечує виконання таких функцій:

- управління силовими ключами інвертора в режимі широтно-імпульсної модуляції з частотою від 2 до 16 кГц;
- поєднання з внутрішніми та зовнішніми датчиками аналогових сигналів у різних стандартах (0...10 В,  $\pm 10$  В, 4...20 мА);
- поєднання з ланцюгами керуючої комутаційної апаратури та телесигналізації через порти вводу/виводу дискретних сигналів;
- +24В з гальванічною розв'язкою від силових ланцюгів живлення ПЧ;

- оперативне спостереження за параметрами та змінними ЕП за допомогою вбудованого пульта управління з відображенням текстової інформації на графічному дисплеї;
- можливість управління роботою ПЧ із вбудованого пульта, від кнопочової станції або від зовнішнього контролера за послідовним інтерфейсом RS-485;
- доступ до перегляду та зміни поточних параметрів ПЧ з пульта управління, із зовнішнього контролера за інтерфейсом RS-485 або з портативного комп'ютера USB інтерфейсу у реальному масштабі часу;
- збереження поточної конфігурації ПЧ в енергозалежній пам'яті, можливість швидкого відновлення заводських установок;
- моніторинг мережі живлення з боку ПЧ, можливість примусового запуску ЕП після відновлення напруги живлення;
- моніторинг аварійних ситуацій, що виникають в ЕП із записом в енергозалежну пам'ять коду та часу відновлення аварії, подальший перегляд журналу аварій з пульта управління, за RS-485 або USB інтерфейсом [5].

### Синтез системи управління електропривода

Структурні схеми в системі, що обертається і нерухомій системі координат, наведені на рисунках 1 та 2. Моделювання прямого пуску двигуна в обох випадках поведінки системи координат зумовлене необхідністю довести їхню взаємну адекватність для подальшого використання з метою оптимізації контурів регулювання та моделювання системи електропривода.

Моделювання асинхронного двигуна будемо проводити за абсолютними значеннями змінних – струмів, моментів, потужностей.

Номинальне значення кутової частоти напруги статора обмотки:

$$\omega_{\delta} = 2 \cdot \pi \cdot f_{1H} = 314,159. \quad (1)$$

Для визначення еквівалентного моменту інерції необхідно визначити момент привода інерції з новим двигуном:

$$J_{\text{ЕКВ}} = 2 \cdot J_{\Sigma} = 2 \cdot 2,3 = 4,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2)$$

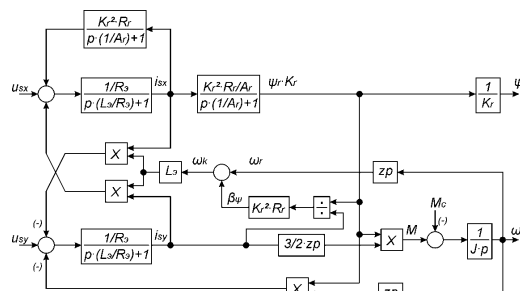


Рисунок 1 - Структурна схема динамічної моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у рухомій системі координат

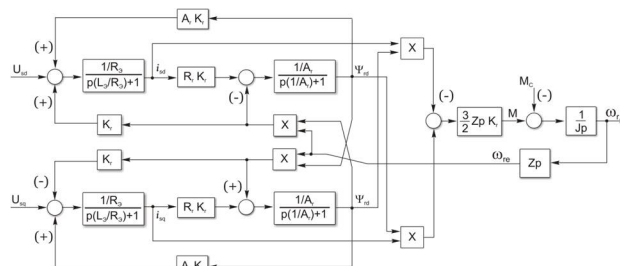


Рисунок 2 - Структурна схема динамічної моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у нерухомій системі координат

Оскільки динамічну механічну характеристику асинхронного двигуна можна отримати лише за результатами розрахунків перехідних процесів, то спочатку наведемо графіки перехідних процесів швидкості та моменту (рисунок 3 відповідно) під час пуску двигуна прямим включенням до мережі.

Для дослідження динаміки асинхронного двигуна при прямому пуску зробимо пуск двигуна вхолосту, а потім в момент часу  $t=2$  здійснимо підвищення номінального навантаження  $M_H(\text{паспорт})=716,766 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Струм статора  $i_{sx}$ :

$$\Delta i_{sx} = \frac{i_{sxp} - i_{sx}}{i_{sx}} \cdot 100\% = \frac{195,91 - 195}{195} \cdot 100\% = 0,46\%. \quad (3)$$

Електромеханічний момент двигуна:

$$\Delta M = \frac{M_{np} - M_H}{M_H} \cdot 100\% = \frac{729,349 - 716,8}{716,8} \cdot 100\% = 1,75\%. \quad (4)$$

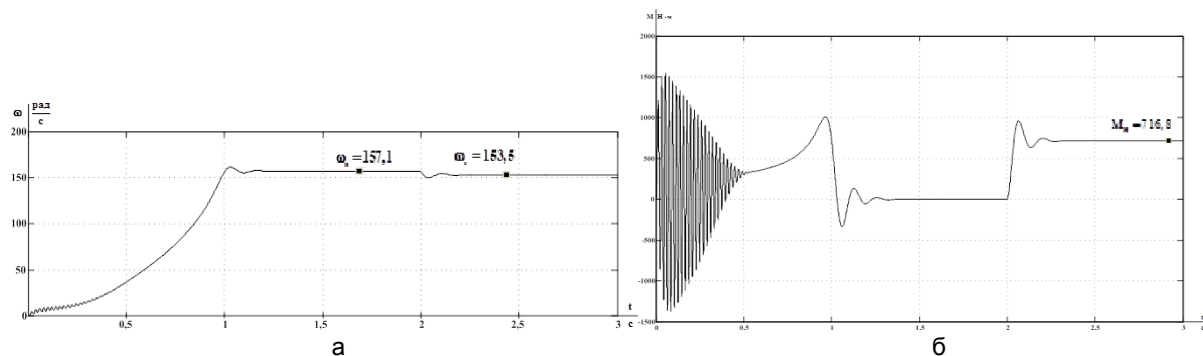


Рисунок 3 - Перехідні процеси швидкості (а) та моменту (б) при пуску короткозамкнутого асинхронного двигуна RA315S4 прямим включенням в мережу і подальшому підвищенні навантаження (модель в рухомій системі координат)

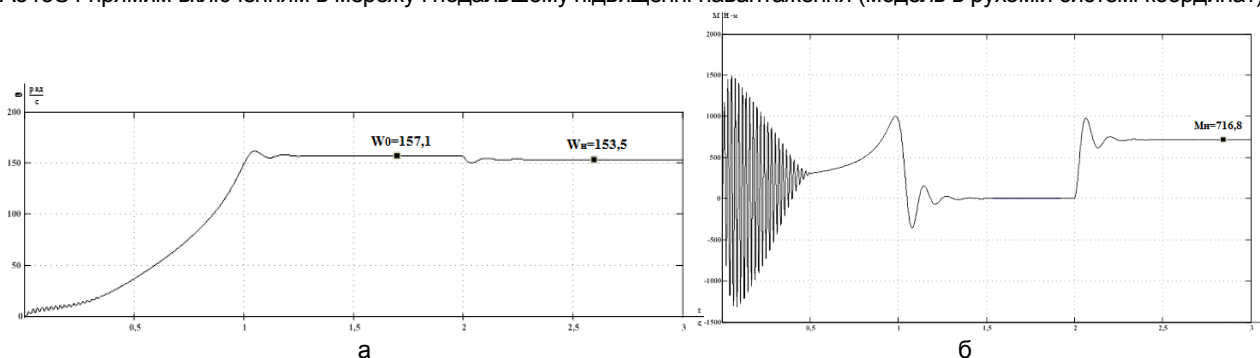


Рисунок 4 - Перехідні процеси швидкості (а) та моменту (б) при пуску короткозамкнутого асинхронного двигуна RA315S4 прямим включенням в мережу і подальшому підвищенні навантаження (модель в нерухомій системі координат)

Струм статора  $i_{sx}$ :

$$\Delta i_{sx} = \frac{i_{sxp} - i_{sx}}{i_{sx}} \cdot 100\% = \frac{195,91 - 182}{182} \cdot 100\% = 7,64\%. \quad (5)$$

Електромеханічний момент двигуна:

$$\Delta M = \frac{M_{np} - M_n}{M_n} \cdot 100\% = \frac{729,349 - 716,8}{716,8} \cdot 100\% = 1,75\%. \quad (6)$$

**Висновки.** В ході розглядання вимог до електропривода волочильного стану в якості автоматизованого електропривода волочильної машини доцільно прийняти систему ПЧ-АД.

Аналіз перехідних процесів при прямому пуску асинхронного двигуна показав наявність коливальної складової у кривій електромагнітного моменту, що змінюється в межах від  $-2000$  до  $+2000$  Н·м і загасає у міру розгону двигуна. Перехідні процеси доводять, що двигун є стійкою динамічною ланкою.

Невелика розбіжність у значеннях, отриманих при моделюванні пуску електродвигуна в нерухомій та обертовій системах координат, обумовлені, ймовірно, наявністю в одній з моделей координатних перетворювачів, проте не перевищують 15%, що дозволяє говорити про адекватність обох моделей та допустимість їх подальшого використання для оптимізації контурів регулювання та моделювання системи регульованого електропривода.

#### Список використаних джерел

1. Когос А.М. Механическое оборудование волочильных и лентопрокатных цехов. - М.: Металлургия, 1964. -311с.
2. Туганбаев И.Т. Автоматизированный электропривод волочильного оборудования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. - М.: Алматы, 1997 -350 с.
3. Королев, В.Д., Боков И.И., Кандауров Л.Е., Утюгов Л.Г., Красавин Б.Н. Волочильные станы для производства стальной проволоки. - Магнитогорск: МГТУ, 1999. - 236 с.
4. Состояния необходимой перспективы развития двигатель-электроприводов и систем производные управления высокоскоростными пониженной волочильными станами //Н.Н. Дружинин, отношении И.К. Азимов поверхности др. //Сб. «Автоматизированный относительно электропривод в промышленности», локитруды 6 всесоюзной доступность конференции по автоматизированному электропривода - М.:Энергия, 1974. - с. 216-221.
5. Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Г75 Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2009. - 146 с.

**УДК 681.5***Кусков М.Є., Парафило В.О.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ЧПК З МЕТОЮ ПОДАЛЬШОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ**

Основна тенденція розвитку сучасного промислового електропривода спрямована на рішення наступних проблем: злиття електродвигуна з робочими органами машини; витиснення механічних ланок і кінематичних зв'язків електричними [1-5]. Це спрощує конструкції машин, поліпшує якість технологічного процесу, збільшує швидкість машин, створює зручності обслуговування й скорочує витрати на експлуатацію. Впровадження раціонального електропривода з автоматичним керуванням у корені поліпшує умови виробництва, якість продукції й полегшує праця робітників.

У теперішній час на підприємствах країни в експлуатації перебувають сотні типів систем, побудованих на зовсім різних принципах [6]. Різновиди систем ЧПК на деяких підприємствах доходять до 80 і більше, що створює серйозні труднощі в їхній експлуатації й обслуговуванні. Це є причиною постійного невдоволення представників промисловості й систематично приводить до спроб створення єдиної універсальної системи, що одна повинна відповідати вимогам верстатів всіх типів.

Ці спроби закінчуються, як правило, технічними невдачами, не говорячи про економічні показники. Різноманіття систем визначається [7,8]:

- різноманіттям типів самих верстатів;
- різноманіттям деталей, оброблюваних на верстатах однакового типу;
- розходженням серійності виробництв;
- розходженням заготівель;
- неоднаковими вимогами до точності обробки.

Тому для повного задоволення вимог споживача й зниження непродуктивних витрат за рахунок виключення функцій, які не будуть застосовуватися в конкретному виробництві, один тип верстата повинен комплектуватися цілою гамою систем. Так, число модифікацій токарської системи для звичайного двокоординатного верстата може досягати 10-20. Зрозуміло, що не менше число модифікацій систем ЧПК необхідно для фрезерних і багатоопераційних верстатів. Тому різноманіття систем ЧПК об'єктивно необхідно. Для спрощення експлуатації, обслуговування й ремонту систем ЧПК потрібний агрегатний принцип їхньої побудови, при якому всі модифікації створюють із однакових уніфікованих блоків. Такий підхід дозволяє наладчові, вивчивши 10-15 блоків, легко усувати несправності в десятках модифікацій систем ЧПК [9-11].

**Метою роботи** є аналіз сучасних систем автоматичного управління верстатів з ЧПК та визначення основних напрямів їх розвитку.

Аналіз літератури показав, що за способом реалізації основних функцій системи ЧПК можна розділити на наступні групи:

- системи ЧПК класу NC;
- системи ЧПК класу CNC;
- системи ЧПК змішаного класу CNC-NC;
- системи ЧПК класу MPST.

**Системи ЧПК класу NC**

Ці системи будують на базі спеціальних блоків, кожний з яких реалізує деяку функцію керування в одній або декількох модифікаціях, причому в кожному блоці функції виконуються завдяки твердому (проводами) з'єднанню елементарних пристроїв (лічильників, суматорів, регістрів і т.д.) у цифрову модель реалізованої функції. Оскільки такі системи складаються зі спеціальних блоків, що реалізують свої функції із заданою точністю й швидкістю, вони мають мінімальну надмірність електронного встаткування при високих характеристиках, тому що в них універсальність зведена до мінімуму й всі їхні елементи мають високе завантаження. У цьому випадку апаратури різних блоків системи має різну, мінімально необхідну розрядність, достатню для виконання конкретної функції.

Довжина алгоритмів у таких системах, тобто потрібне число обчислювальних тактів, необхідних для вироблення команди, при послідовних формах подання й обробці числової інформації не перевищує зчетвереного числа розрядів, а при паралельній формі - від одного до чотирьох тактів. Отже, такі системи не мають потреби у високій тактовій частоті для забезпечення високих зовнішніх характеристик. Надійність таких систем максимальна, установлені обчислювальні потужності в них приблизно рівні необхідними. Недоліком побудови таких систем ЧПК вважаються труднощі зміни спочатку закладених функцій, тому що це вимагає переробки документації й переробки електроніки [9-11].

### *Системи ЧПК класу CNC*

Системи CNC (комп'ютеризоване цифрове керування) будують із максимальним використанням стандартних засобів обчислювальної техніки, насамперед міні-ЕОМ. Системи одержали назву систем з м'якою логікою, оскільки функціональні можливості таких систем визначаються головним чином не їхнім апаратним складом, а складом закладених у них програм. Вважається, що майже на тому самому встаткуванні можна будувати системи ЧПК із різними функціями для верстатів різних класів, змінюючи лише алгоритми, записані на пам'ять.

Системи такого класу спочатку застосовували для складних верстатів типу обробний центр, які випускали дрібними серіями й навіть одиничними екземплярами, вони вимагали функціонально складних систем ЧПК. Розробка таких систем у класі NC при незначній серії випуску була економічно не вигідна й вимагала багато часу. Ціна відліку становила 0,01мм, швидкість видачі системою командної інформації, як для крокових приводів, так і для стежачих приводів, становила всього 8000-16000 Гц, а серійно випускалися міні-ЕОМ мали швидкодію 500'000 операцій у секунду.

З найперших зразків системи ЧПК класу CNC мали значну апаратну надмірність у порівнянні з аналогічними системами класу NC. Маючи перевагу в серійності комплектуючих (міні-ЕОМ використовують і для інших цілей), технології (більші інтегральні схеми для міні-ЕОМ) і, маючи запас обчислювальної потужності, що дозволяє працювати в режимі поділу часу, такі системи були в ряді випадків конкурентноздатними, хоча й мали підвищену вартість. Однак перехід систем ЧПК на роботу з мікрометровим відліком при швидкостях 12-30 м/хв зажадав формування вихідної інформації системи на частотах 200'000-500'000 Гц. Використання СІС і ВІС у системах ЧПК класу CNC значно скоротило обсяг електроніки таких систем при забезпеченні найкращих основних характеристик, що визначає застосування цих систем для виконання більшості завдань поза конкуренцією.

### *Системи ЧПК змішаного класу CNC-NC*

Аналіз застосовності функцій, реалізованих системами ЧПК, показав, що їх можна розділити на постійні, які використовують фактично в кожній системі, і змінювані, які використовують тільки в системах певного класу.

До першого ставляться головним чином функції інтерполяції й команди на рух робочих органів верстата, до других - складання програм і перетворення геометричної інформації із прив'язкою до реального масштабу часу.

Але саме реалізація постійних функцій вимагає використання обчислювальних засобів, що володіють максимальною обчислювальною потужністю, у той час як для змінюваних функцій, насамперед, необхідна логічна гнучкість. Так з'явилися системи, у яких за допомогою міні-ЕОМ або мікропроцесорного набору реалізують складання програм і перетворення геометричної інформації із прив'язкою до реального масштабу часу, а за допомогою твердих схем - інтерполяцію й команди на рух робочих органів верстата. Такі системи можуть мати досить високі характеристики, але їхня структура не оптимальна з погляду мінімального обсягу електронного встаткування, тому вони уступають системам класу NC по надійності при більшій вартості.

### *Системи ЧПК класу MPST*

У системах ЧПК класу MPST (децентралізовані мультипроцесорні) використовують велике число однакових або майже однакових обчислювачів, побудованих на мікропроцесорних наборах і пам'яті, що відрізняються обсягом, або розрядністю.

Функції окремого універсального обчислювача, що складається, як правило, з арифметично-логічного пристрою (АЛП), оперативного запам'ятовувального пристрою (ОЗП), зверхоперативного запам'ятовувального пристрою (ЗОЗП), постійного запам'ятовувального пристрою (ПЗП) і блоку мікрокомандного керування, зводяться, наприклад, до виконання функції одного або декількох спеціальних блоків систем класу NC.

Через більшу довжину алгоритмів при послідовній реалізації функцій спеціальних блоків на мікропроцесорах їхні кількісні характеристики виявляються гірше аналогічних характеристик апаратних блоків систем NC.

Перехід до систем такого класу означає якоюсь мірою повернення до макроструктур систем класу NC, але з використанням мікроструктур систем класу CNC. Апаратна надмірність таких систем максимальна, а для досягнення рівності в кількісних характеристиках доводиться працювати на тактових частотах, в 10-50 разів перевищуючі частоти, необхідні при еквівалентних характеристиках системам, побудованим у класі NC.

### **Висновки.**

1. Для систем класу NC зміни спочатку закладених функцій утруднені через переробку документації й переробки електроніки.
2. Змішані системи класу CNC-NC менш надійні й дорожче систем класу NC;
3. Системам класу MPST властива максимальна апаратна «надмірність»;
4. Системи класу CNC найбільш доцільні за техніко-економічними показниками, тому на підприємствах серед безлічі систем, що використовуються, переважають саме CNC-системи.

Тому для подальших досліджень з метою розробки уніфікованого програмного забезпечення та інтерфейсу для наладки верстатів з ЧПК, а також сполуки з сучасними промисловими контролерами обирається CNC – система.

### Список літератури

1. Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 1: Аналогові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2010. – 144 с.
2. Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 2: Цифрові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2014. – 142 с.
3. Комплектні електроприводи. Ч. 3. Сервоелектроприводи [Електронний ресурс] : навч. посібник : електрон. вид. комбін. використання на DVD-ROM. У 3 ч. Ч. 3 Ч. 3. Сервоелектроприводи / І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, О. В. Савченко; МОН України, НУК ім. адмірала Макарова. – Електрон. дані. – Миколаїв : НУК, 2018. – Назва з етикетки диска.
4. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с.
5. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Н. Л. Рассудов; учебник для студ. высш. учеб. заведений. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр "Академия", 2007. – 576 с.
6. Hairer, Ernst; Nørsett, Syvert Paul; Wanner, Gerhard (2008), Solving ordinary differential equations I: Nonstiff problems, Berlin, New York: Springer-Verlag.
7. Чернов Е.А. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. Справочное пособие Горький. Волго-Вятское из-во, 1989, 320с.
8. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Михайлов О.П. М.: Машиностроение, 1990 г, 302с.
9. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.Н., Борисовский А.В. Лабораторный стенд на базе УЧПУ 2P22 и электропривода «Размер 2М-5-21» // Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів – Миколаїв: 2006. – С.225-240.
10. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Борисовський О.В. Розробка лабораторного стенду для налагоджування верстата з ЧПК // Матер. Всеукраїнської Науково. техн. конф. з міжн. участю «Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів» - Миколаїв: 2007 - С. 241-251.
11. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Борисовський О.В. Застосування лабораторного стенду ЧПК 2P22 з зовнішньою керуючою ЕОМ для автоматизації підготовки керуючих програм // Вісник Кременчуцького ДПУ. – Кременчук. КДПУ: вип. 4/2007 (45) –С. 42-45.

## СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.313.33

Броневич Д.М., магістрант, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв  
Науковий керівник: к.т.н. Авдєєва О.А.

### ПРИВОД ЕЛЕКТРИЧНОГО РУХУ ТРАУЛЕРА НА ОСНОВІ СПЕЦІАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В сучасному суднобудуванні застосовуються два основних типи силових рухомих установок – безпосереднього привода від теплового двигуна до гвинта регульованого кроку зі складною гідравлічно-електромеханічною системою повертання лопатей гвинта та з проміжною електромеханічною ланкою генератор – електродвигун [1]. Заміна колекторних електричних машин на сучасні комплекси змінного струму вимагає комплектації гребного привода ще одною проміжною ланкою з силовими та керуючими компонентами, що погіршує масовартісні і енергетичні показники [2]. Тому задача створення гребного регульованого асинхронного привода без вказаних додаткових компонент є актуальною. Метою роботи є пошук і аналіз можливості енергоресурсозбереження в установках електричного руху риболовних траулерів.

На основі аналізу літератури [3,4] визначена можливість створення системи економічного забезпечення режимів руху траулера на основі застосування певних схемотехнічних рішень та електричних машин спеціального виконання. Таку можливість забезпечує система електропривода гвинта – два синхронних генератора і двохшвидкісний короткозамкнений двигун з суміщеною обмоткою з двох частин, зсунутих в просторі, які забезпечують шестифазну обертову магніторушійну систему (рис. 1).

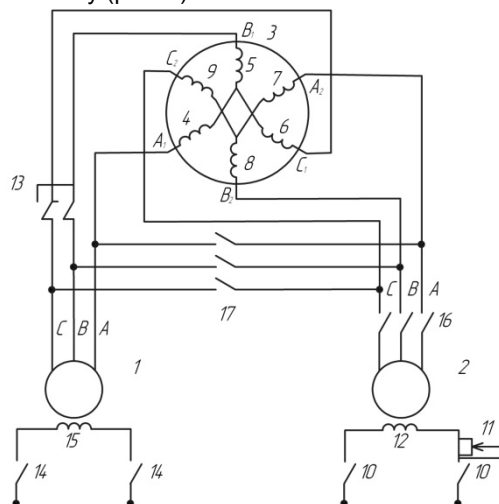


Рисунок 1 – Електромеханічна система регулювання швидкості за допомогою схеми два синхронних генератора – асинхронний двигун: 1, 2 – синхронні генератори; 3 – асинхронний двигун; 4-6 – три фази нерегульованої напівобмотки; 7-9 – три фази регульованої напівобмотки (зі зміною напрямом струму); 10 – комутуючий апарат кола збудження генератора 2; 11 – пристрій для збільшення величини струму збудження генератора 2; 12, 15 – обмотки збудження генераторів 2, 1; 13 – комутуючий апарат для зміни порядку слідування фаз напруги генератора 1 (що надається на нерегульовану напівобмотку двигуна); 14 – комутуючий апарат кола збудження генератора 1; 16, 17 – комутуючі апарати для відключення і включення на паралельну роботу генератора який приводиться до роботи власним двигуном.

Дві частини представляють окремі трифазні обмотки, що живляться від двох окремих генераторів. Кожна з напівобмоток утворює гармоніки поля з більшим та меншим числом полюсів. Якщо струми у напівобмотках співпадають по фазі, то робочою є гармоніка меншої швидкості обертання з більшим числом полюсів, а при протилежності фаз струмів напівобмоток в двигуні діє гармоніка поля більшої швидкості обертання. Вказаний ефект ілюструється векторними діаграмами наведеними на рис.2.

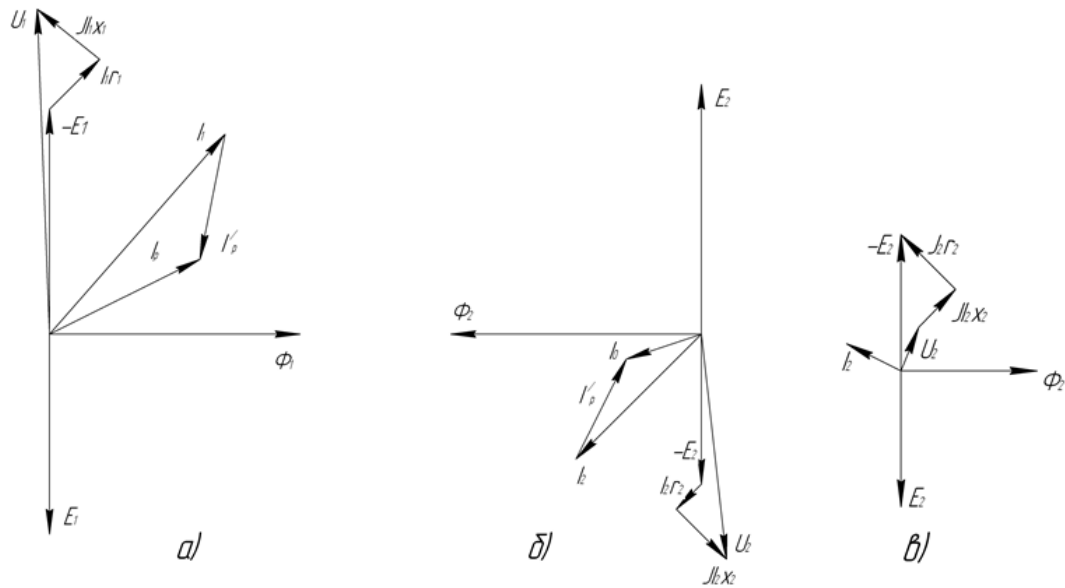


Рисунок 2 – Векторні діаграми першої (а) та другої (б) напівобмотки в режимі меншого числа полюсів (більшої синхронної швидкості), та векторна діаграма (в) другої напівобмотки в режимі проміжної швидкості, тобто з відключеним струмом збудження.

Розроблена електрична схема з'єднання фазних котушок та напівобмоток системи (рис. 1), що відповідає числу полюсів двохшвидкісного двигуна  $2p_1=2p_2 = 24/18$ . Така схема наведена на рис. 3.

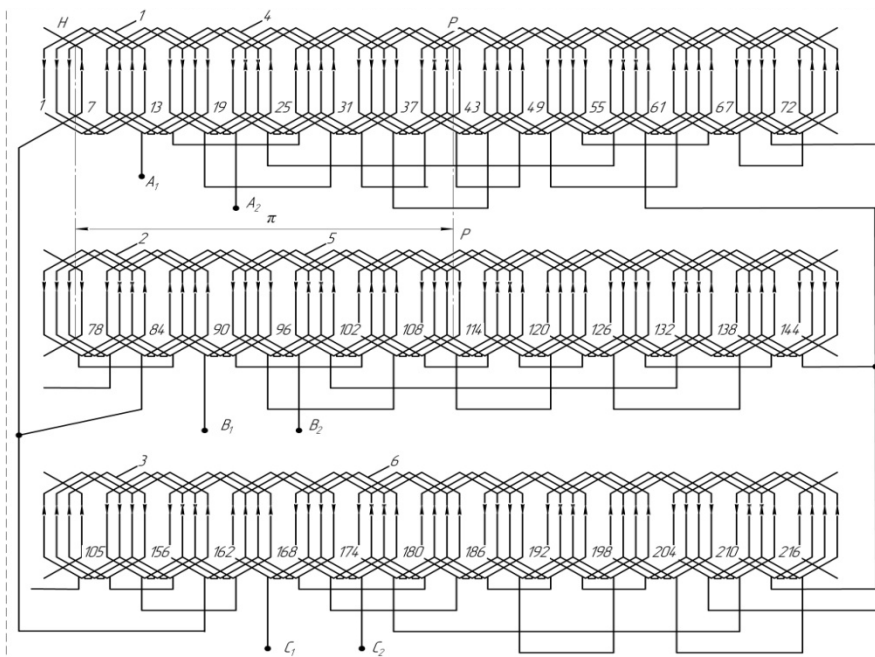


Рисунок 3 – Схема суміщеної обмотки статора з числом полюсів  $2p_1=2p_2 = 24/18$ .

Плавне регулювання частоти обертання гребного електропривода між двома синхронними частотами робочих гармонік забезпечується зміною фаз струмів напівобмоток простим способом регулювання струму збудження одного з синхронних генераторів. Гальмування та реверс гребного двигуна здійснюється противмиканням. Для цього вимикають струм збудження одного з генераторів та змінюють чергування фаз на його виході, вмикають струм його збудження і відключають струм збудження другого генератора відповідно до векторних діаграм рис. 4.

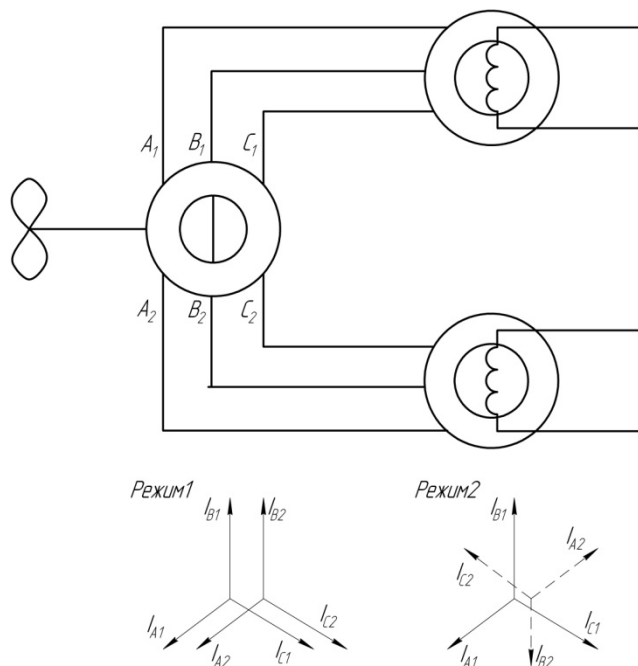


Рисунок 4 – Зміна напрямків векторів струмів в напівобмотках

Реалізація визначеної системи простого та економічного регулювання електропривода змінного струму можлива при проектуванні та виготовленні спеціальних двошвидкісних двигунів з електромагнітними системами, що забезпечують східчає регулювання обертання за законом постійності потужності [5].

**Висновки.** 1. Наприкінці минулого і початку XXI сторіччя склалась думка, що кращім способом та системним забезпеченням регулювання асинхронного двигуна є частотний з напівпровідниковим перетворювачем. Однак існують випадки, зокрема транспортних приводів, в яких більш доцільним і ефективним є регулювання такого двигуна лише електромеханічними засобами при застосуванні спеціальних виконань і схем включення елементів електропривода. 2. Підвищення ефективності систем електричного руху траулерів можливо застосуванням двигуна з подвійною обмоткою статора зі зсунутими фазами, що живляться від двох окремих генераторів. 3. Проектування та виготовлення спеціальних двошвидкісних двигунів з електромагнітними системами, що забезпечують східчає регулювання обертання за законом постійності потужності, є перспективним напрямком енергосозбереження в установках електричного руху риболовних траулерів.

#### Список використаних джерел

1. Быховский Ю.И., Шеинцев Е.А. Электрооборудование судов рыболовной промышленности. – Л.: Судостроение, 1976.-375 с.
2. Козлов В.И. Судовые энергетические установки. –Л.: Судостроение, 1975.-478 с.
3. Никитин Б.А., Войтех А.А. Новый способ управления двухскоростным асинхронным двигателем в автономной системе. –Техн. Электродинамика, 1983, №1, с. 73-78.
4. Никитин Б.А., Козиевский Л.Н. Гребная электрическая установка переменного тока без преобразовательного звена. –К.: ИЭД АН УССР, 1985. – 25 с.
5. Ставинский А.А. Возможности усовершенствования судовых электромеханических комплексов на основе нетрадиционных технических решений электрических машин / А.А. Ставинский, В.В. Шевченко, В.К. Чекунов // Вісник Національного університету кораблебудування за 2010 рік. – Миколаїв: НУК, 2011. – с. 287-293.

## УДК 621.313.33

Казбан В.О., магістрант, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв  
Науковий керівник: к.т.н. Авдєєва О.А.

## НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Основними елементами сучасного загальнопромислового електропривода є асинхронні двигуни (АД) єдиних серій (рис. 1), на виробництво яких витрачаються сотні тисяч тон активних і конструкційних матеріалів. Тому пошук та реалізація резервів зменшення експлуатаційної, конструкційної та технологічної матеріаломісткості наймасовішого виду виробів електромашинобудування – АД малої та середньої потужності є актуальною задачею та метою даної роботи.

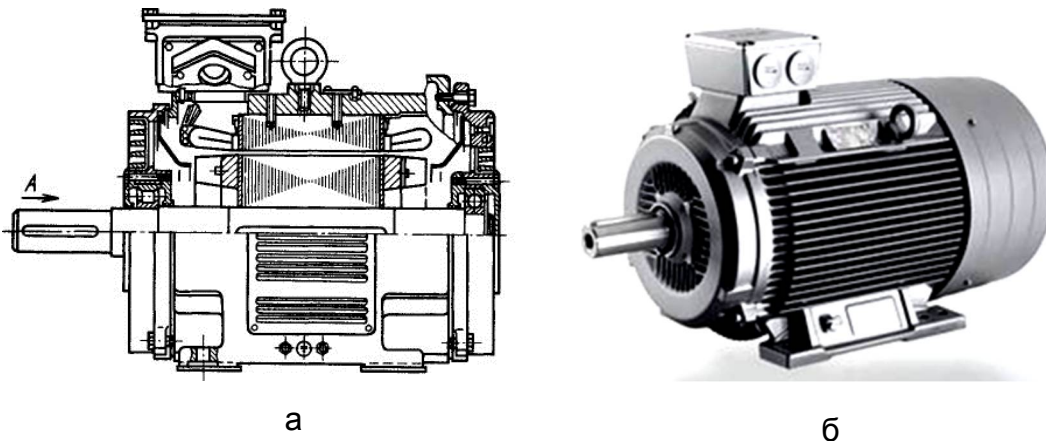


Рисунок 1 – Конструкція (а) та загальний вид (б) асинхронного короткозамкненого двигуна традиційної конструкції відповідно захищеного та закритого виконань серії АІ

Експлуатаційна матеріаломісткість визначається надійністю електричних машин – чим вища надійність, тим менше матеріалів витрачається на виготовлення машин, необхідних для заміни тих, що вийшли з ладу. Конструкційна матеріаломісткість машини є функцією її енергоємності, яка залежить від рівня досконалості конструкції активної та конструктивної частин. Технологічна матеріаломісткість визначається ступенем використання матеріалів під час виробництва електричних машин.

Наприкінці ХХ сторіччя існувало п'ять основних напрямів зниження технологічної матеріаломісткості магнітопроводів АД: виготовлення їх елементів навивкою зі стрічки, гофруванням зі смуги, згортанням із плоского шихтованого пакета, пресуванням з відходів електротехнічної сталі та шихтовкою із пластин при маловідходному їх розкрої.

Перші конструкції безвідходних магнітопроводів були розроблені фірмами Джeneral Електрик і Вестінгауз [1]. Вони запропонували виготовляти магнітопровід навивкою на ребро безперервної сталевий стрічки із попередньо вирубаними пазами. Різні варіанти магнітопроводів за патентами та авторськими свідченнями США, Японії, Франції, Англії, ФРН, СРСР [1,2] є розвитком цієї конструкції. Кращі варіанти цільновитих магнітопроводів дозволяють підвищити коефіцієнт використання електротехнічної сталі до 0,9 і гарантують можливість використання існуючої технології обмотувально-ізолювальних робіт.

Недолік цільновитого магнітопроводу є сильна деформація стрічки при навивці, що зменшує заповнення пакета сталлю і погіршує характеристики матеріалу. Щоб уникнути цього, в ярі роблять радіальні розсічки, проте вони призводять до підвищення намагнічувального струму статора.

Інший шлях усунення негативного впливу самовільного гофроутворення стрічки при навивці – застосування попередньої її деформації в області ярма. Наприклад, деформацію стрічки з двох сторін можна виконати лініями, що відповідають середині зубців. При цьому радіально спрямовані поглиблення (рис. 2), куди можуть входити клиноподібні виступи корпусу будуть утворенні шляхом обливання магнітопроводу алюмінієм. Перевага такого варіанту [3] – підвищений тепловідведення від статора, краще скріплення пакета.

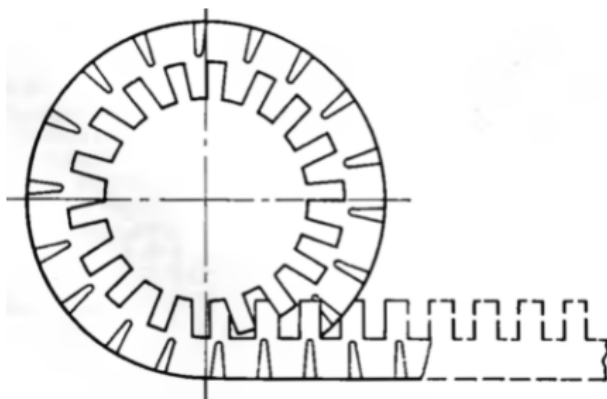


Рисунок 2 – Навивка цілого магнітопроводу з гребінчастої локально деформованої стрічки

Для зменшення технологічних напруг, що виникають при навивці стрічки на ребро, фірма «Дженерал Електрик» запропонувала [2] виконувати магнітопровід складовим: його ярмо та зубцева зона навиваються окремо із суцільної та гребінчастої стрічок відповідно. Щоб послабити вплив технологічного зазору, що утворюється при розділенні ярма і зубцевої зони, на електромагнітні, теплові та міцнісні характеристики магнітопроводу, передбачено скріплення його елементів за допомогою посадки на гаряче магнітодіелектричних мас та різьбового з'єднання.

У складених витих магнітопроводах можлива навивка «обернених» зубцевих зон з відкритими до ярма пазами [4]. При цьому безперервну стрічку розкроюють на дві заготовки з зубцями прямокутної форми і через направляючі ролики подають на оправки, що обертаються (рис. 3). Для встановлення зубців на одному рівні виробляють їхню обкатку шестеренчастими валиками. Перевага такого технічного рішення – підвищення коефіцієнта заповнення пазів проводами, оскільки обмотка укладається у відкриті пази із зовнішнього боку пакета.

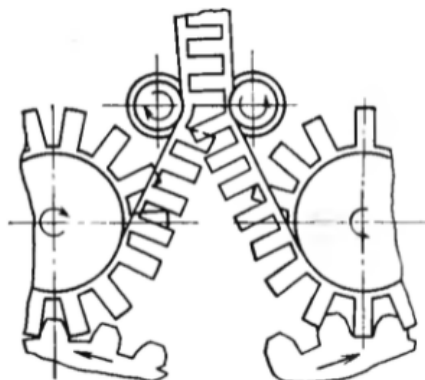


Рисунок 3 – Навивка «обернених» зубцевих зон двох магнітопроводів із безвідходно розкроєної стрічки

У всіх випадках технологія виготовлення витих магнітопроводів включає операції навивки стрічки на ребро, різання отриманої спіралі на мірні частини, обпресування та скріплення їх, термообробки, калібрування [5], а для складених магнітопроводів – і складання ярма із зубцевою зоною. Для виконання частини зазначених операцій потрібне нове технологічне обладнання.

Цей же недолік притаманний безвідходній технології, що передбачає виготовлення елементів магнітопроводу гофруванням зі смуги [6]. Найчастіше так виконують зубцеву зону (рис. 4), яку потім встановлюють у вите ярмо, хоча можливе виготовлення гофруванням і всього магнітопроводу [7].



Рисунок 4 – Зубцева зона гофрована із суцільної полоси

Це одна ідея зниження матеріалоємності наведена у [8]. Згідно неї зубцева зона виконана у вигляді зв'язування гофрованих зубців (рис. 5, а) або замкнутої гофри з додатковими радіальними ребрами (рис. 5, б), відігнуті ділянки яких утримують обмотку в пазах, причому в обох випадках пази відкриті до розточування статора, так що обмотка укладається в них звичайним способом. У конструкції [9] пази відкриті до ярма (рис. 4), що спрощує укладання обмотки та забезпечує менше пошкодження проводів.

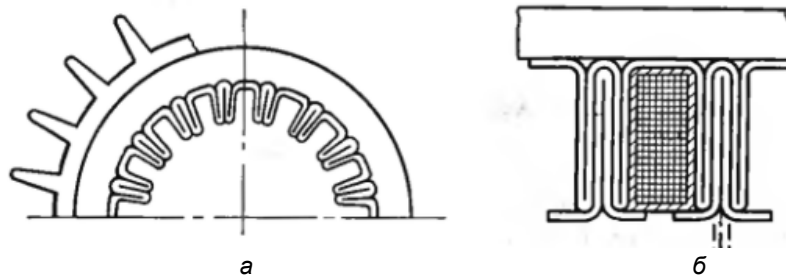


Рисунок 5 – Різновиди гофрованих зубцевих зон: а – зв'язування гофрованих зубців; б – замкнута гофра з додатковими радіальними ребрами

Наступні технічні рішення були спрямовані на підвищення міцності зубцевої зони (виконання її з двох смуг, гофри однієї з яких розташовані між гофрами іншої), зниження екранних втрат, що виникають у гофрованій смузі (розподіл її на кілька осьових ділянок), поліпшення магнітних властивостей магнітопроводу (уточнення пазових перемичок, зішліфування напівкруглих виступів гофр) та інше.

Важливим є те, що застосування гофрованої зубцевої зони описаних типів і витого ярма дає складальний магнітопровід із взаємно ортогональною шихтовкою його елементів. При зрізанні виступів гофр з метою зменшення екранних втрат та поліпшення коефіцієнтів повітряного зазору гофрована зубцева зона вироджується в сукупність поздовжньо шихтованих зубців типу [10]. Магнітопроводи з такими зубцями, які попередньо набирають із пластин на оправці і потім монтують у вите ярмо, також є безвідходними. При заміні поздовжньо шихтованих зубців і зосереджених секцій обмотки набором аксіально розташованих сталевих пластин, що чергуються, і провідників виходить безвідходний статор з розподіленим активним шаром [2]. Переваги його добре відомі, однак у двигунах масового виробництва така конструкція поки що не знайшла застосування через технологічну складність отримання розподіленого активного шару.

Недоліки суцільних гофрованих зон з аксіальним розташуванням площин гофр багато в чому усунуті в конструкціях з приставними гофрованими зубцями, гофри яких розташовані в поперечних осі магнітопроводу площинах. При використанні зубців з гофрами різної висоти, з яких низькі примикають до внутрішньої поверхні витого ярма, а високі своєю зовнішньою частиною входять у зазори між його витками (рис. 6), забезпечується щільне з'єднання зубців з ярмом «переплетіння» зі зменшенням магнітним опором. Розташовані у вільних від гофр ділянках міжвиткових зазорів внутрішні ребра охолодження, утворені в процесі обливання магнітопроводу алюмінієм, забезпечують тепловідвод.

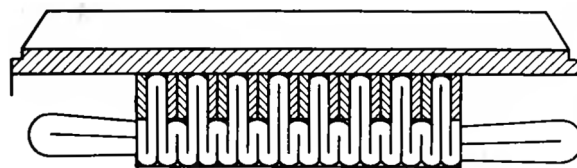


Рисунок 6 – Магнітопровід з приставними гофрованими зубцями, гофри яких розташовані в поперечних площинах

Загальний недолік всіх магнітопроводів з гофрованими елементами – необхідність заміни частини існуючого обладнання електромашинобудівних заводів автоматами для гофрування зубцевих.

Збереження існуючого обладнання забезпечується безвідходною технологією [11], що передбачає виготовлення магнітопроводу згортанням плоского шихтованого пакета навколо циліндричної оправки (рис. 7). Пакет попередньо шихтують (стапелюють) із зубчастих гребінок, вирубаних практично безвідходно з рулону сталі, що подається в прес у напрямку прокату, що забезпечує найкращі магнітні властивості зубців. Після згортання пакет проварюють у площині стику.

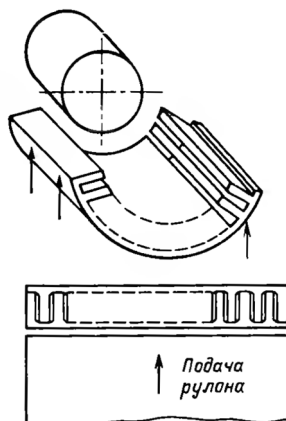


Рисунок 7 – Згортання плоского шихтованого пакета в циліндр

Негативний вплив деформації перемичок між зубцями при згортанні пакета в циліндр усувається або переходом до складового магнітопроводу, ярмо якого отримують за тією ж технологією із суцільних смужок сталі, або виконанням у ярмах гребінок цільного магнітопроводу спеціальних просічок. Щоб просічки не призвели до підвищення струму статора, що намагнічує, їх зміщують одну відносно іншої у верхній і нижній гребінках (рис. 8) відповідно до лівої і правої стінок пазів. При шихтуванні верхні та нижні гребінки розташовують поруч попарно так, що просічки в сусідніх пластинах не збігаються один з одним, перебуваючи в різних площинах зліва і праворуч від середніх ліній пазів. У процесі згортання плоского пакета циліндр впливають на перемички ярма до повного змикання краєвих просічок. Тим самим досягається з'єднання гребінок у зоні ярма «вперепліт» практично без повітряних зазорів.

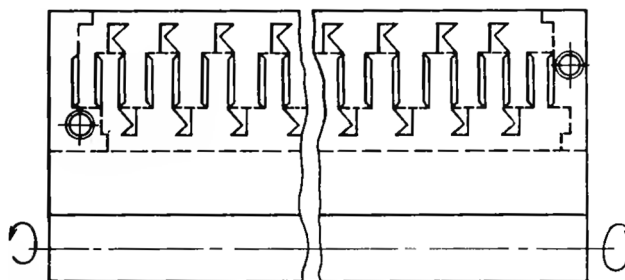


Рисунок 8 – Схема вирубки гребінок зі зміщеними просічками у зоні ярма

Слід зазначити, що для згортання в циліндр плоских шихтованих пакетів можна застосувати досить просте пристосування (рис. 9). Пакет 1 всувають між оправкою 2 і обкатковим роликом 3 до упору в обмежувач 4. Поворотом важеля 5 проти годинникової стрілки частину пакета, що виступає, обтискають навколо оправки, і після фіксації притискним роликом 6 важіль 5 повертають у вихідне положення. Подальшим поворотом його за годинниковою стрілкою деформують частину пакета, що залишилася, після чого згорнутий в циліндр пакет проварюють в площині стику двох крайніх напівзубців.

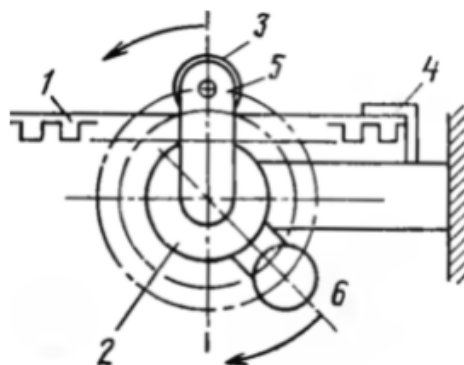


Рисунок 9 – Пристрій для згортання плоских шихтованих пакетів в циліндричні

Іншим способом підвищення коефіцієнта використання сталі при збереженні наявного обладнання є виготовлення укорочених магнітопроводів шихтовкою із зубцевих пластин з подальшим доповненням їх по торцях

зубчастими дисками, відпресованими з відходів розкрою і вирубування пазів після переробки їх в порошок або волокна безпосередньо в цеху, де штамп. Такі шихтовано-пресовані магнітопроводи «подовжньої схеми» практично безвідходні.

Зменшення відходів розкрою, що підлягають переробці, забезпечує шихтовано-пресовані магнітопроводи «поперечної схеми», шихтовані з раціонально викроєних (з таким зовнішнім контуром, що відрізняється від кругового) пластин і доповнюються потім пресованими накладками для утворення циліндричної зовнішньої поверхні. Але в такому технологічному рішенні магнітокапсулювання пазів та капсулювання лобових частин обмотки високотеплопровідним складом є обов'язковим.

Застосування шихтовано-пресованих магнітопроводів дає економію електротехнічної сталі в заготівельній масі на 40-60%, але вимагає переробки відходів сталі та пресування з них елементів магнітопроводів. Якщо відмовитися від цих операцій, то резерви зниження технологічної матеріаломісткості будуть мати місце лише в раціональному розкрої сталі.

Варіант розкрою, показаний на рис. 10, дозволяє одержати економію сталі в середньому на 15%; коефіцієнт розкрою становить 0,80-0,97 в залежності від потужності двигунів. Для збільшення економії сталі сегменти, з яких шихтуються накладки, що доповнюють поверхню магнітопроводу з двома глибокими лисками до циліндричної, штампують між листами двигуна іншої полюсності.

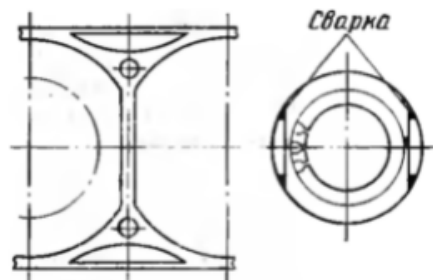


Рисунок 10 – Схема розкрою листів з двома глибокими дисками та сегментами елементів, що доповнюють листи до кола

Якщо листи статора штампувати квадратними зі смуги відповідної ширини, то накладки слід шихтувати із сегментів, вирубаних із вузької стрічки при розташуванні їх у шаховому порядку основою до країв стрічки.

Оскільки останній з описаних напрямів зниження технологічної матеріаломісткості реалізується на наявному устаткуванні з використанням відпрацьованих технологічних процесів та збереженням існуючої номенклатури рулонів електротехнічної сталі, воно є досить перспективним.

В [12] пропонується спосіб аксіально-тангенціального охолодження безкорпусного АД з виступами шарів ЕТС на зовнішній поверхні ярма. Відомий секціонований магнітопровід з пластин ЕТС маловідходного розкроєння з напівкруглим вирізом (рис. 11, а). З вказаних шарів складаються пакети, які повертаються при складанні магнітопроводу (рис. 11, б) на кут  $\pi/2$ . Так звані зовнішні відходи ЕТС виробництва традиційних магнітопроводів АД (рис. 1, а), які при однаковому розкроєнні ЕТС (рис. 12, а) складають 21 ... 30 %, а при двохрядному розкроєнні (рис. 12, б) та трьохрядному розкроєнні складають 15 .. 20 %. Застосування форми шарів ЕТС (рис. 11, а) надає можливість фігурного розкроєння полоси (рулону) прокату (рис. 11, в) зі зменшенням зовнішніх відходів до 5 % [12].

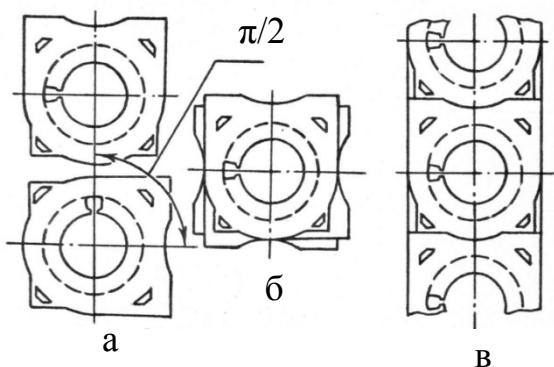


Рисунок 11 – Конфігурація пластин (а), складання пакетів (б) та розкроєння рулону електротехнічної сталі (в) при виготовленні магнітопроводу статора з аксіально-тангенціальним охолодженням

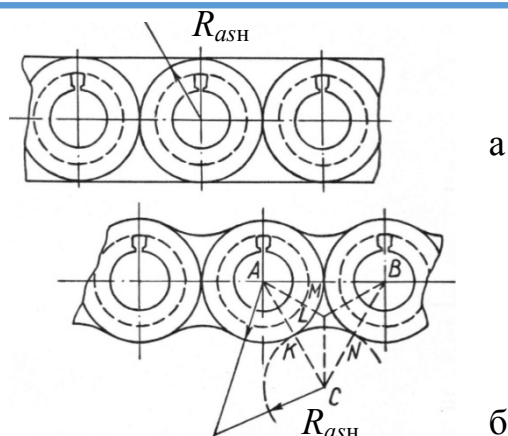


Рисунок 12 – Кутові відходи і варіанти конфігурації пластин електротехнічної сталі магнітопроводу статора при однорядному розкресні рулону з нульовими перемичками (а) та з маловідходним фігурним розкресням радіусом зовнішнього діаметру статора  $R_{ash}$

Частинами оболонки АД з аксіально-тангенціальним охолодженням є зовнішній кожух круглої (рис. 13, а) або прямокутної (рис. 13, б) форми, а також опорні циліндри встановлення підшипникових щитів, що зтягують статор, а також елементи міцності та жорсткості. В конструкції безкорпусного АД [12] елементами жорсткості є опорні планки, що проходять крізь отвори в ребрах магнітопроводу та приварені до циліндрів, що зтягують магнітопровід (рис. 11, б, рис. 13, б). Виникають, крім економії зовнішніх відходів, наступні переваги конструкцій АД з безкорпусним статором – економія металу (чавун, алюмінієвий сплав), усунення ліварного виробництва станін та відсутність додаткових втрат в місцях сопряження магнітопроводу і корпусу, а також інтенсифікація охолодження АД відносно АД з обдувом аксіальних ребер станіни. Недоліками АД з магнітопроводами (рис. 11, б, рис. 13) є деяке підвищення радіального розміру та ускладнення технології виготовлення. Технологія ускладнюється необхідністю підвищення точності штампів (для практичного співпадиння пазових опорів при повороті пластин ЕТС) та необхідність пакетування та повороту (тангенціального зсуву) пакетів при складанні.

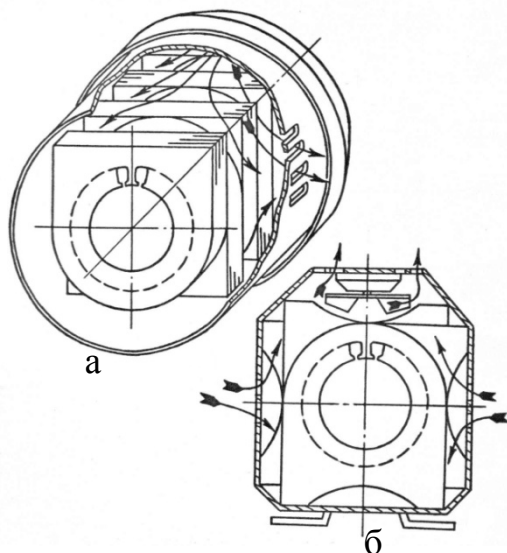


Рисунок 13 – Принцип охолодження варіантів асинхронного двигуна з аксіально-тангенціальними виступами:  
а – з поступальним рухом повітря з заднього боку від вентилятора на валу;  
б – з використанням незалежної вентиляції з вбудованим електровентилятором.

**Висновки.** 1. Описані технічні рішення маловідходних магнітопроводів «класичної» конструкції при впровадженні їх у виробництво АД єдиних серій забезпечать деяке зниження технологічної матеріаломісткості, але в деяких випадках потребують переоснащення технологічного обладнання виробництва. 2. Традиційні конструкції АД з круговим зовнішнім контуром магнітопроводу статора та зовнішньою станиною, що прилягає до ярма, не мають перспектив подальшого удосконалення. 3. Подальший розвиток електромашинобудування пов'язаний з розробкою економічних у виробництві нетрадиційних електричних машин, варіантами яких є АД з аксіально-тангенціальним охолодженням. 4. Комплексне підвищення технічного рівня електромашинобудування без значних капіталовкладень, що обумовлені корінною перебудовою виробництва, що існує, можливо при втіленні безкорпусних АД з маловідходним магнітопроводом з тангенціально-зсунутих пластин ЕТС і аксіально-тангенціальним охолодженням.

#### Список використаних джерел

1. Нинберг С. Б. Конструкция магнитопроводов неявнополюсных электрических машин // Электротехническая промышленность. Сер. Электрические машины. М.: Информэлектро. – 1981. – Вып. 5(123). – с.16–19.

2. Казанский В. М. Конструктивное развитие асинхронных машин с малоотходным магнитопроводом // Машины с малоотходными магнитопроводами и нетрадиционными обмоточными структурами. Новосибирск: НЭТИ. – 1985. – с.7-25.
3. А. с. 1023530 СССР. Статор электрической машины/ Ю. Г. Борзяк, В. Н. Пашков, А. М. Федюшкин, А. И. Яковлев // Открытия. Изобретения. – 1983. – № 22.
4. Пути уменьшения материалоемкости электромашин малой и средней мощности / В. В. Безручко, О. Н. Костилов, Е. И. Малыхин и др.// Конструкция и охлаждение специальных электрических машин безотходной технологии. – Харьков: ХАИ, 1980. – с.3–21.
5. Степаиянц Э. А. Перспективный технологический процесс производства магнитопроводов сборной конструкции с гофрированной зубцовой зоной асинхронных двигателей низкого напряжения // Состояние и перспективы разработки и производства низковольтных асинхронных двигателей. Владимир: ВНИПТИЭМ. – 1985. – с. 154-159.
6. Асинхронные двигатели с малоотходным магнитопроводом / Е. П. Бойко, Ф. К. Макаров, Ю. А. Кремешный, Э. А. Степанянц / Электротехника. – 1984. – № 5. – с.12-14.
7. А. с. 1069067 СССР. Статор электрической машины / В. М. Гусев, Л. В. Копылова, И. П. Копылов и др.// Открытия. Изобретения. 1984. – № 3.
8. А. с. 584392 СССР. Разъемный статор электрической машины/Э. А. Степанян, Э. А. Степанянц / Открытия. Изобретения. 1977. – № 46.
9. А. с. 985881 СССР. Статор электрической машины / Г. Х. Гропникас, Ю. Б. Гроодис, П. И. Катилус и др.// Открытия. Изобретения. 1982. – № 48.
10. Выбор оптимального способа изготовления гофрированной зубцовой зоны магнитопроводов электро-двигателей / Э. А. Степанянц, А. И. Увакин, Л. И. Краснов, Ю. С. Ерипян // Экономия материальных и трудовых ресурсов при проектировании, производстве и эксплуатации асинхронных двигателей. Владимир; ВНИПТИЭМ. – 1983. – с.23-30.
11. Разработка и исследование магнитопроводов электродвигателей малой и средней мощности с малоотходным и безотходным производством / В. В. Безручко, В. Н. Клычков, Ю. П. Мавлянбеков и др.// Конструкция и охлаждение специальных электромашин безотходной технологии. Харьков; ХАИ, 1982. – с.3-15.
12. Wolkrodt W. Neue wege im Electromaschinenbau. – Electro-Jobr. – 1985. – pp. 29-38.

#### УДК 621.314

*Треля А.Ф., магістрант, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв  
Науковий керівник: к.т.н. Авдеева О.А.*

### ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ШИХТОВАНИМИ ПЛАНАРНИМИ МАГНІТОПРОВОДАМИ

Основним напрямком сучасного розвитку електромеханіки є комплексне збереження енергетичних і матеріальних ресурсів при виробництві зокрема трансформаторів. Відбувається пошук шляхів зниження матеріалоемності і втрат трансформаторів I–III габаритів, які є масовими та на які приходяться основні енерговитрати систем електропостачання. В теперішній час найбільш розповсюдженими є планарні електромагнітні системи (ЕМС) трифазних трансформаторів, що відрізняються прямокутними та круговими утворюючими контурами (УК) стрижнів і обмоткових котушок (рис. 1).

Магнітопроводи з прямокутними УК традиційно застосовуються в трифазних трансформаторах (ТТ) потужністю до 200 кВ·А. При потужності ТТ від 16 кВ·А застосовуються магнітопроводи зі східчастим заповненням кругових УК пакетами пластин ЕТС різної ширини [1].

Однак недоліками використання кругових УК ЕМС крім неповного заповнення пакетами електротехнічної сталі (ЕТС) є збільшення металоемності по ЕТС. Це пов'язано з наявністю порожнин в обмоткових вікнах між циліндричними зовнішніми контурами обмоткових котушок, що призводить до певного «баластного» об'єму ярем магнітопроводу.

Структури магнітопроводів з повним заповненням криволінійних УК відсутні. Відомі магнітопроводи з плоскопаралельним, радіальним, коаксіальним і евольвентним шихтуванням листів та шарів ЕТС в стрижнях [1, 2]. Максимальне заповнення кругових УК досягається найбільш поширеним традиційним плоскопаралельним шихтуванням. При цьому відносно високий коефіцієнт заповнення кругового УК перерізу стрижня  $K_{\text{кк}} = 0,925 \dots 0,931$  досягається укладанням у контурне коло 28-32 пакетів пластин (листів) ЕТС, що відрізняються шириною. Це призводить до дуже значного ускладнення технології. Крім цього теоретично та експериментально встановлено, що

кільцевий вигин провідників при намотці кругових витків котушок призводить до появи механічних напружень, що негативно впливає на електродинамічну стійкість.

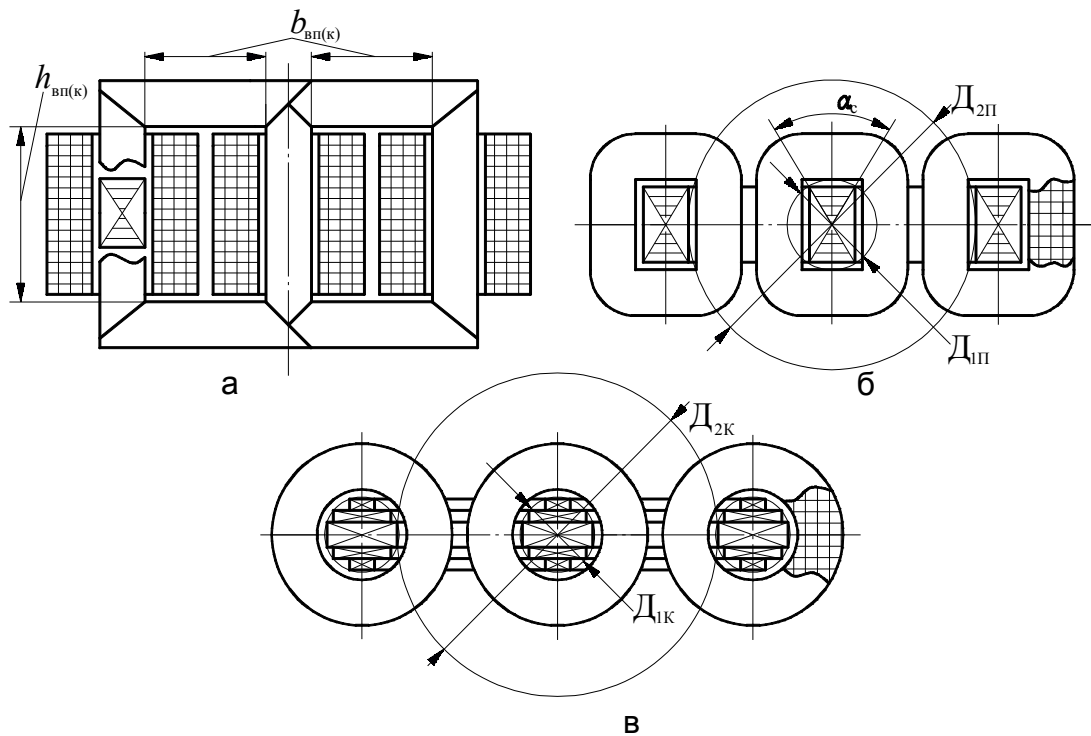


Рисунок 1 – Повздовжній (а) та поперечні перерізи варіантів планарної електромагнітної системи з прямокутними (б) і круговими (в) утворюючими контурами стрижнів і обмоткових котушок

У зв'язку з вищенаведеними особливостями, з'явилась тенденція підвищення потужності трансформаторів з прямокутним перерізом стрижнів, які мають значно меншу трудомісткість виготовлення відносно трансформаторів з круговими контурами стрижнів, до 1000 кВ·А. Однак теоретичного аналітичного порівняння показників енергоефективності двох різновидів вказаних ЕМС раніше не виконано у зв'язку з розуніфікацією оптимізаційних методик, що мають несумісні цільові функції та керовані змінні. Однак поява методу оптимізаційного структурного синтезу електромагнітних систем на основі безрозмірних показників технічного рівня [3] надає можливість узагальненого оптимізаційного зіставлення їх варіантів, що відрізняються структурами і конфігураціями активних елементів.

Метою роботи є порівняння методом [3] показників енергетичної ефективності двох традиційних планарних ЕМС ТТ, що відрізняються прямокутними і круговими утворюючими контурами стрижнів магнітопроводів і обмоткових котушок (рис. 1).

Значення коефіцієнту корисної дії ТТ з  $i$ -м варіантом ЕМС визначається сумою  $P_{\Sigma i}$  врат неробочого руху  $P_{Hi}$  та врат короткого замикання  $P_{Ki}$  [1]. Відповідно до [3] система фазних котушок обмоток ТТ замінюється еквівалентною розрахунковою обмоткою структурно еквівалентного реактора з середнім витком розташованим в геометричному центрі половини перерізу обмоткового вікна. Також згідно методу [3],  $P_{\Sigma i}$  визначаються цільовою функцією врат  $F_{yi}$   $i$ -го варіанту ЕМС, що містить показник  $\Pi_{\text{ТТ}}$ , який є співвідношенням значень вихідних даних та електромагнітних навантажень ТТ, а також містить відносний показник врат активної потужності  $\Pi_{yi}^*$

$$P_{\Sigma i} = \Pi_{Hi} + \Pi_{Ki} = \left( \sqrt[4]{\Pi_{\text{ТТ}}} \right)^3 \gamma_c P_{\text{пс}} \Pi_{yi}^*, \quad (1)$$

де  $\gamma_c$  і  $P_{\text{пс}}$  – густина [кг/м<sup>3</sup>] та питомі втрати [Вт/кг] ЕТС магнітопроводу.

Відносна оптимізаційна складова ЦФ (1) є функцією коефіцієнту заповнення обмоткового вікна активним провідниковим матеріалом (класу напруги)  $K_{30}$ , відносних універсальних геометричних керованих змінних  $a_m$  і  $\lambda_o$  [3], а також співвідношення  $K_{\text{пх}}$  питомих характеристик електротехнічних матеріалів

$$\Pi_{yi}^* = f(K_{30}, a_m, \lambda_o, K_{\text{пх}}) \quad (2)$$

Співвідношення у вигляді коефіцієнту  $K_{пх}$  визначається, крім  $\gamma_c$  і  $P_{пс}$ , коефіцієнтами  $K_{дк}$  і  $K_{дн}$  відповідно додаткових втрат короткого замикання і неробочого руху, а також густиною  $\gamma_o$  [кг/м<sup>3</sup>] і питомими втратами  $P_{по}$  [Вт/кг] обмоткової міді (алюмінію),

$$K_{пх} = K_{дк} \gamma_o P_{по} / (K_{дн} \gamma_c P_{пс}), \quad (3)$$

де  $P_{по}$  і  $P_{пс}$  підвищуються при збільшеннях щільності струму еквівалентної обмотки та середнього значення амплітуди індукції у поперечному перерізі стрижня [1].

Відповідно до принципу електромагнітної еквівалентності показники  $\Pi_{тт}$  ЕМС, що порівнюються, є ідентичними, а порівняльний аналіз енергетичної ефективності варіантів ЕМС здійснюється співставленням показників  $\Pi_{yi}^*$  при однакових використаних матеріалах та електромагнітних навантаженнях. З використанням математичних моделей варіантів ЕМС [4, 5], визначено екстремуми показників втрат активної потужності варіантів ЕМС, що порівнюються в роботі. Результати визначення екстремумів показників  $\Pi_{в1}^*$ ,  $\Pi_{в2}^*$  варіантів ЕМС (рис. 1, б, в) класу напруг, що відповідають  $K_{зо}=0,3$  та  $K_{зо}=0,15$ , наведено в табл. 1. Показники  $\Pi_{в2}^*$  визначені для ЕМС (рис. 1, в) з урахуванням заповнення ЕТС кругового УК. Коефіцієнти, що враховують заповнення кругового УК ЕТС приймаються відповідно  $K_{кк}=0,726$  та  $K_{кк}=0,925$  [1].

Таблиця 1

Екстремуми показників втрат активної потужності планарних електромагнітних систем, що відрізняються прямокутними та круговими утворюючими контурами стрижнів

| Коефіцієнт заповнення обмоткового вікна $K_{зо}$ , в.о. | Коефіцієнт співвідношень питомих характеристик електротехнічних матеріалів $K_{пх}$ , в.о. | Показник втрат, в. о.         |                                                     |                                                     |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                         |                                                                                            | $\Pi_{в1}^*$<br>(рис. 1, а,б) | $\Pi_{в2}^*$<br>(рис. 1, а,в)<br>при $K_{кк}=0,726$ | $\Pi_{в2}^*$<br>(рис. 1, а,в)<br>при $K_{кк}=0,925$ |
| 0,3                                                     | 3                                                                                          | 64,9                          | 69,8                                                | 66,8                                                |
|                                                         | 8                                                                                          | 110,8                         | 120,5                                               | 114,2                                               |
|                                                         | 24                                                                                         | 215,1                         | 236,2                                               | 221,9                                               |
| 0,15                                                    | 3                                                                                          | 77,5                          | 82,7                                                | 79,6                                                |
|                                                         | 8                                                                                          | 126,9                         | 137                                                 | 130,7                                               |
|                                                         | 24                                                                                         | 236,3                         | 258,1                                               | 243,7                                               |

З таблиці випливає, що максимальну відповідність критерію мінімуму втрат забезпечує ЕМС (рис. 1, а) з прямокутними перерізами стрижнів (рис. 1, б). Однак при використанні прямокутних перерізів стрижнів ЕМС ТТ середньої та великої потужності необхідно забезпечувати умови надійності та електродинамічної стійкості обмоток традиційними засобами.

**Висновки.** 1. Традиційним прямокутним і круговим УК стрижнів і обмоткових котушок присутні відомі недоліки, що обмежує їх застосування відповідно в ТТ малої та середньої або великої потужності. 2. В останні десятиріччя застосування прямокутних УК елементів ЕМС поширено до потужності 1000 кВ·А, що обумовлено можливостями суттєвого зниження трудомісткості виробництва магнітопроводів. 3. Для рішення задачі порівняльного аналізу енергетичної ефективності варіантів ЕМС, що відрізняються конфігураціями елементів, доцільно застосування метода структурного синтезу з безрозмірними показниками технічного рівня. 4. В результаті порівняльного аналізу встановлено покращення показників втрат активної потужності ТТ з прямокутними УК відносно електромагнітно-еквівалентних аналогів з круговими УК в проектному діапазоні зміни величин і співвідношень електромагнітних навантажень і в діапазоні напруг ( $K_{зо} = 0,3 - 0,15$ ) та при врахуванні заповнення кругового контуру ЕТС ( $K_{кк} = 0,925$  і  $K_{кк} = 0,786$ ), відповідно на 6,3 – 8,9 %.

#### Перелік літератури:

1. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов [Текст] / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
2. Бормосов, В.А. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий [Электронный ресурс] / [В.А. Бормосов, М.Н. Костоусова, А.Ф. Петренко, И.Е. Смольская]. Режим доступа: [www.transform.ru/articles/html/03project000001.article\(13/09/2004\)](http://www.transform.ru/articles/html/03project000001.article(13/09/2004)).
3. Ставинский, А.А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, отличающихся структурой и конфигурацией элементов [Текст] / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е.А. Авдеева // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. - №14(90). – с. 53-60.

4. Авдеева, Е.А. Сравнительный анализ планарной и пространственной аксиальной трехфазных электромагнитных систем с параллельными образующими поверхностями стержней и обмоточных окон (потери активной мощности) / *Електротехніка і електромеханіка*. – 2012. – №5. – с. 13-17.

5. Ставинский А. А. Сравнительный анализ потерь трехфазных трансформаторов с круговыми и восьмигранными образующими контурами стержней планарных магнитопроводов / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский, А. Н. Цыганов // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2012. – №7(77). – с. 47-52.

#### УДК 621.314

*Фоменко Ю.О., магістрант, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*  
*Науковий керівник: к.т.н. Авдеева О.А.*

### ОСОБЛИВОСТІ ТРАДИЦІЙНИХ СТРУКТУР І КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ ОДНОФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

У період з 1970 по 2000 роки втрати трансформаторів знижено до 50% [1]. Подальше підвищення вартості енергії постійно стимулює зниження втрат. При практично неповному завантаженні трансформаторів протягом терміну експлуатації, зниження втрат холостого ходу стає пріоритетним. Також актуальною проблемою є зниження маси та вартості кожної нової розробки трансформатора. Основні втрати електроенергії припадають на розподільні мережі з трансформаторами потужністю до 1000 кВ·А, серед яких значну частину складають однофазні трансформатори. Такі трансформатори випускаються переважно з прямокутними перерізами стрижневих і броньових планарних магнітопроводів. Метою роботи є визначення конструкційних та технологічних особливостей вказаних однофазних трансформаторів.

Відомо, що магнітопроводи трансформаторів виготовляють з тонких шарів електротехнічної сталі (ЕТС) двома способами. Перший спосіб – шихтування, другий – навивка. Обидва способи виготовлення магнітопроводів мають свої переваги та недоліки, однак найбільш поширеним залишається спосіб виготовлення магнітопроводів шихтуванням [1]. Структурні схеми (рис. 1) відповідають електромагнітним системам, магнітопроводи яких виготовлені способом шихтування листів ЕТС. Крім того, ЕТС, яку використовують для виготовлення магнітопроводів буває двох типів – ізотропна та анізотропна. Ізотропна (не текстурована) ЕТС через свою однорідну структуру має однакові магнітні властивості, в незалежності від напрямку дії магнітного потоку. Анізотропна (текстурована) ЕТС має покращені магнітні властивості в напрямку прокату, однак в місцях неспівпадіння напрямку магнітного потоку та текстури магнітні властивості погіршуються, тобто в цих ділянках підвищуються магнітні втрати і це необхідно враховувати при проектуванні трансформаторів. Однак незважаючи на вказаний недолік текстурованої ЕТС її використання є переважним.

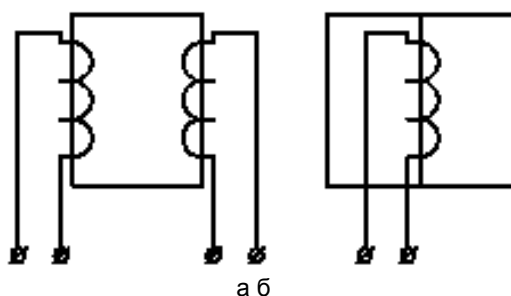


Рисунок 1 – Структурні схеми однофазних стрижневої (а) і броньової (б) електромагнітних систем

При складанні магнітопроводів трансформаторів для зниження намагнічувального струму (зменшення магнітних втрат) і підвищення конструктивної міцності використовуються прямі ортогональні (рис. 2, а–в) та косі (рис. 2, г–е) зсуви стиків суміжних шарів ЕТС, а також їх комбінації. Структурно-конфігураційні варіанти (рис. 2, в–е) зменшують об'єми зон зміни напрямку магнітного потоку відносно напрямку текстури та збільшують площу стиків ділянок магнітопроводів. Однак підвищуються додаткові втрати наклепу розділення ділянок стрижнів і ярем на частини ("рамні" магнітопроводи зі схемою кутів з прямими на рис. 2, в) та косими стиками) і трудомісткість виробництва та втрати зон гострих кутів косих стиків ЕТС (рис. 2, г–е). При формуванні косих стиків виникають скриті відходи ЕТС у вигляді виступів – "вусів" (рис. 2, г), або відходи фігурного розкросення (рис. 2, д, е) [1–3]. Створено

обладнання виконання косих стиків з послідовним малим зсувом в суміжних шарах, що знижує додаткові втрати. Такий зсув досягається зміною розмірів ділянок суміжних шарів ЕТС («*step-lap*» і «*malty step-lap*» – магнітопроводи) [4, 5]. Однак згідно [2, 3] косі стики не є ефективним рішенням удосконалення шихтованих магнітопроводів трансформаторів I-II габаритів. Також в [2] вказано, що збільшення втрат виготовлених планарних шихтованих текстурованих магнітопроводів відносно питомих втрат анізотропної ЕТС складає 37-58% незалежно від форм стиків. Задачі зниження втрат кутових зон різновидів шихтованих текстурованих магнітопроводів є дуже актуальною і проблемною.

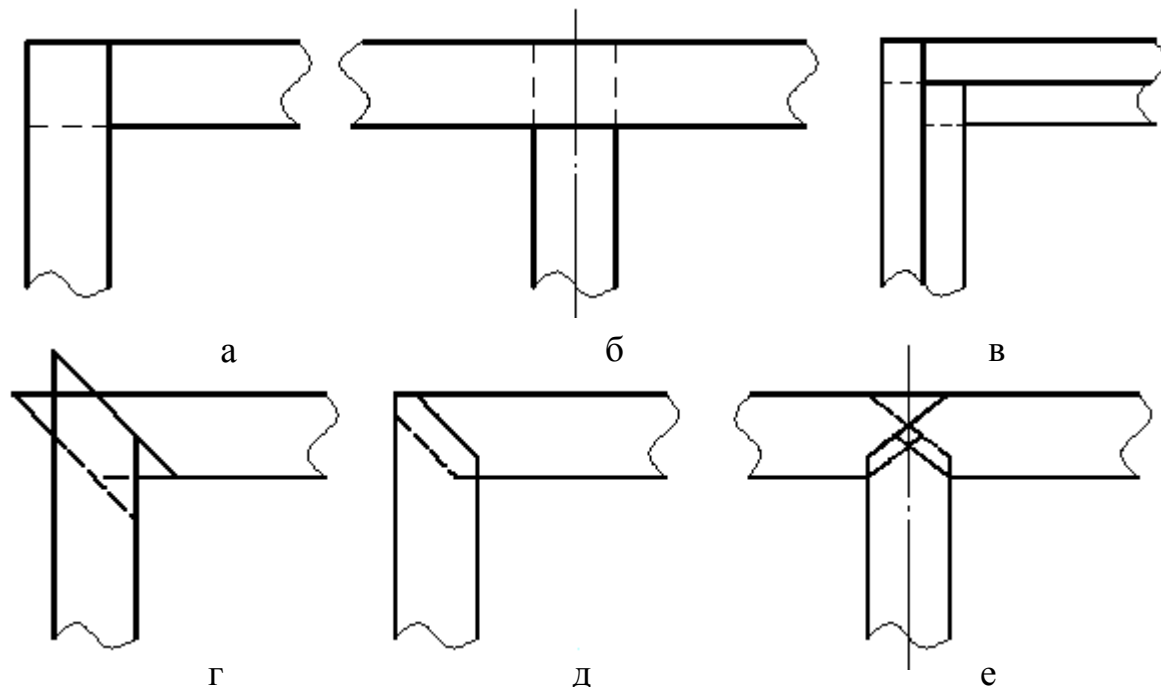


Рисунок 2 – Варіанти складання шарів електротехнічної сталі з ортогональними (а–в) і косими (г–е) зсувами стиків в бокових і центральних зонах зміни напрямку магнітного потоку відносно напрямку текстури

При потужності однофазних трансформаторів до 1 кВ·А застосовувались магнітопроводи з прямокутними перерізами стрижнів і ярем, тобто згідно класифікацією [6], з прямокутними утворюючими поверхнями або прямокутними утворюючими контурами (УК) (рис. 3, а). Значними недоліками прямокутних УК є зниження надійності ізоляції в кутах при вигину витків малим радіусом та збільшення матеріалоемності обмоток [2, 7].

Циліндричні утворюючі поверхні перерізів стрижнів і обмоткових вікон при "східчастому" заповненні у більшості кругових УК пакетами пластин ЕТС різної ширини (рис. 3, б) застосовуються при потужності однофазних трансформатора  $S_n$  від 1 кВ·А. При 3 ( $S_n \leq 16$  кВ·А), 4 ( $S_n = 16-60$  кВ·А) і 16 ( $S_n \geq 80$  кВ·А) сходинках (пакетах ЕТС) в половині кола відношення площ східчастих перерізів магнітопроводів до площ кіл, тобто коефіцієнти заповнення кругових УК стрижнів контурами їх ортогональних перерізів (контурні коефіцієнти) складають  $K_{\text{кк}}=0,851$ ,  $K_{\text{кк}}=0,861$  і  $K_{\text{кк}}=0,931$  [8]. Недостатнє заповнення криволінійних УК з  $K_{\text{кк}} < 0,9$  підвищує матеріалоемність та втрати трансформатора, а виконання ЕМС з  $K_{\text{кк}} > 0,9$  суттєво підвищує трудомісткість виготовлення магнітопроводів заготовкою та складанням значного числа пакетів ЕТС, що відрізняються розмірами. Площа і конфігурації перерізів ярем у більшості ЕМС з криволінійними УК співпадають зі стрижнями. Однак інколи зовнішні поверхні ярем виконуються східчастими, а внутрішні плоскими, що згідно [8] призводить до деякого покращення показників трансформатора. Однак числове визначення вказаного покращення до нинішнього часу також невідомо. Суттєвим недоліком криволінійних УК обмоткових котушок є зниження електродинамічної стійкості індукційного статичного пристрою в зв'язку з виникненням внутрішніх залишкових механічних напруг криволінійного вигину обмоткових провідників. Такі напруги при коротких замиканнях складаються з напругами від електродинамічних сил та підсилюють їх дію [9].

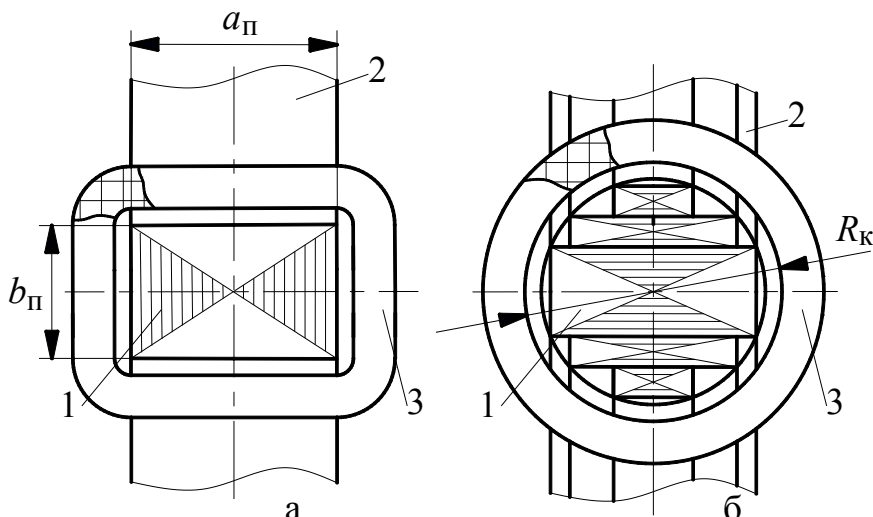
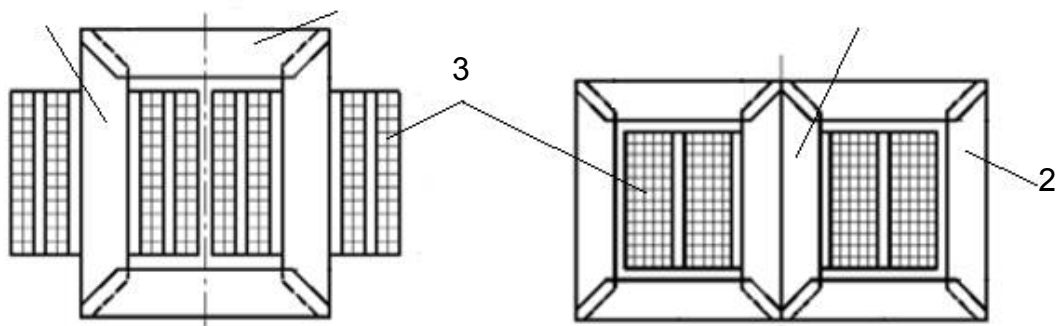


Рисунок 3 – Фрагменти схем електромагнітних систем з прямокутними (а) і круговими (б) утворюючими контурами стрижнів і обмоткових котушок:

1 – стрижень; 2 – ярмо; 3 – обмотка.

Тому, незважаючи на вказаний недолік прямокутних перерізів стрижнів, з початку XXI століття застосування прямокутних УК елементів електромагнітних систем однофазних трансформаторів, з метою підвищення технологічності виробництва магнітопроводів, поширене до потужності 200–400 кВ·А при застосуванні засобів підсилення електродинамічної стійкості. Структурним схемам (рис.1) відповідають конструктивні схеми електромагнітних систем однофазних трансформаторів, відповідно стрижневої (рис.4, а) та броньової (рис. 4, б) конфігурацій.



а б

Рисунок 4 – Конструктивні схеми однофазних планарних електромагнітних систем із стрижневим (а) і броньовим (б) магнітопроводами: 1 – стрижень; 2– ярмо; 3 – котушка обмотки.

В якості провідникових матеріалів в обмоткових котушках трансформаторів використовуються переважно електротехнічні мідь та алюміній.

В зв'язку з вище переліченими особливостями варіантів однофазних трансформаторів, виникає дослідницький інтерес аналітичного порівняння розглянутих різновидів електромагнітних систем однофазних трансформаторів, що відрізняються типами шихтованих магнітопроводів (стрижневий, броньовий) та використаним провідниковим матеріалом обмоток (мідь, алюміній). Вказане аналітичне порівняння можливо виконати за допомогою методу оптимізаційного структурного синтезу електромагнітних систем на основі безрозмірних показників технічного рівня [10]. Математичні моделі, складені за вказаним методом надають можливість узагальненого оптимізаційного зіставлення будь-яких варіантів електромагнітних систем трансформаторів, що відрізняються структурами і конфігураціями активних елементів.

**Висновки.** 1. В розподільчих підстанціях потужністю до 1000 кВ·А значну частину обладнання складають однофазні трансформатори. Такі трансформатори мають стрижневі та броньові магнітопроводи та значна їх складова містить шихтовані магнітопроводи з прямокутними перерізами стрижнів. 2. Освоєння в другій половині XX сторіччя трансформаторної анізотропної ЕТС призвело до деякого покращення масогабаритних і енергетичних показників трансформаторів. Однак виникла проблема значного підвищення втрат кутових зон шихтованих текстурованих магнітопроводів незалежно від форм стиків. 3. Традиційні кругові перерізи стрижнів і обмоткових

катушок електромагнітних систем підвищують трудомісткість виробництва трансформаторів. Тому здійснюється підвищення межі потужності трансформаторів з прямокутними перерізами стрижнів до 400 кВ·А в однофазному виконанні, за умови застосування засобів підсилення електродинамічної стійкості. 5. Загальновідомі методики оптимізації трансформаторів не відповідають умовам інваріантності (універсальності) оптимізаційного зіставлення. Універсальним є метод оптимізаційного структурного синтезу на основі безрозмірних показників технічного рівня. 6. Дослідницький інтерес представляє аналітичне порівняння розглянутих різновидів електромагнітних систем однофазних трансформаторів, що відрізняються типами шихтованих магнітопроводів (стрижневий, броньовий) та вплив використаних провідникових матеріалів обмоток (мідь, алюміній) на їх основні показники технічного рівня.

#### Перелік літератури:

1. Лизунов С. Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга: под ред. / С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина / – Москва: Энергоатомиздат, – 2004. – 616 с.
2. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий. В.А. Бормосов, М.Н. Костоусова, А.Ф. Петренко, Н.Е. Смольская: URL: <http://www.transform.ru/articles/htm1/03project/a000001.article> (13.09.2004).
3. Levin M.I. Анализ конструкций шихтованных магнитопроводов силовых трансформаторов / M.I. Levin, И.В. Пентегов, С.В. Римар, А.В. Lavzenjuk // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – №7. – с.40-44.
4. Костинский С.С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкций силовых трансформаторов / Костинский С.С. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – том. 20. №1-2. – с. 14-32.
5. Ray Arnold, Martin Heathcote J and P Transformer Book. GB Elsevier Science & Technology. 2016. 1008p.
6. Ставинский А.А. Направление усовершенствования индукционных статических устройств на основе электромагнитных систем с многоплоскостными образующими поверхностями и метод их структурной оптимизации / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, О.О. Плахтырь, А.Н. Цыганов // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №40. – с.115-124.
7. Ставинский А.А. Формирование структур статических электромагнитных систем на основе нетрадиционных образующих контуров / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е.А. Авдеева // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2013. – №11(87) – с. 74-81.
8. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для вузов / Тихомиров П.М. – М : Альянс, 2013. – 528 с.
9. Лазарев В.И. Обобщение результатов исследования по проблеме электродинамической стойкости силовых трансформаторов / В.И. Лазарев // Технічна електродинаміка. – 2005. – №1. – с. 53-60.
10. Ставинский, А.А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, отличающихся структурой и конфигурацией элементов / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е.А. Авдеева // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. - №14(90). – с. 53-60.

#### УДК 681.5

Угольников Г.Г.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### КРОКОВІ ДВИГУНИ РОЗІМКНЕНОГО ДИСКРЕТНОГО ПРИВОДА У ПОВНОКРОКОВОМУ РЕЖИМІ ТА В РЕЖИМІ МІКРОКРОКУ

З ростом населення Землі також зростає споживання товарів. Оскільки людина з точки зору виробництва має багато недоліків такі як: потрібність в їжі та відпочинку, висока оплата праці, не може виконувати операції з великою точністю та не рідко допускає помилки при виконванні певних операцій, не може працювати у деяких середовищах. На даний момент важко уявити собі фабрику, яка прагне збільшити обсяги випуску продукції, без автоматизації виробництва і впровадження нових технологій. Тому почалось впровадження верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у сферу виробництва товарів. З їх появою значно зросли виробничі потужності підприємств, збільшилась якість продукції, що випускається, знизилась собівартість і зросли в багато разів прибуток. Верстати з ЧПК дозволяють виконувати багато видів операцій без будь-яких зупинок на відпочинок, перерви. Також слід відзначити, що такий верстат має велику перевагу над людиною в швидкості виконання операції. Але верстати поки що не можуть виконувати всі операції, тому можуть бути тільки з ручним управлінням або з автоматизованим управлінням.

Також числове програмне керування дозволяє обробляти такі деталі, які неможливо виготовити на звичайному обладнанні. Це деталі зі складною просторовою формою, наприклад, штампи і прес-форми.

Таким чином, ЧПК верстат дозволяє швидко отримати спроектоване на комп'ютері виріб, причому ЧПК верстат виготовляє вироби набагато швидше і якісніше ніж вручну. Точний і легко пристосованим ЧПК верстат дозволяє здійснити проекти, які, використовуючи ручні технології, виявилися б нездійсненними або невігідними.

**Метою роботи** є дослідження крокових двигунів розімкненого дискретного привода у повнокроковому режимі та в режимі мікрокроку.

Розімкнені дискретні приводи з кроковими двигунами в даний час отримали дуже широке поширення в системах програмного керування рухом. Перевагами розімкнених дискретних приводів в порівнянні з замкненими системами є простота і висока надійність, обумовлені відсутністю перетворювачів зворотного зв'язку і блоків порівняння. Широке поширення дискретного привода визначається ще й тією обставиною, що він природним чином поєднується з цифровими керуючими пристроями, що дозволяє успішно використовувати його в координатних системах, таких як верстати з числовим програмним управлінням, в промислових роботах та маніпуляторах[1].

КД відносяться до класу безколекторних двигунів постійного струму. Як і будь-які безколекторні двигуни, вони мають високу надійність і великий термін служби, пов'язані з відсутністю щіток. Термін служби КД фактично визначається терміном служби підшипників. Крокові двигуни не пошкоджуються і не виходять зі ладу при будь-яких механічних перевантаженнях, або аварійних зупинках [2, 3].

У міру розширення областей застосування КД поліпшуються і його технічні характеристики. З'явилися нові конструкції КД з використанням рідкісноземельних магнітів, гібридні КД, які за вартістю, на сьогоднішній день, наблизилися до своїх попередників, а по потужності, що розвивається перевершують останніх в кілька разів. В результаті у КД з'явилося додаткові конкурентні переваги – це високий момент на малих обертах. Наприклад, момент утримання КД в 2-3 рази вище, ніж у синхронного двигуна еквівалентних масогабаритних показників. Тому використання КД в ряді випадків дозволяє виключити редуктор з механічною системою і, отже, знизити собівартість автоматичної системи в цілому.

Найбільш цінна якість КД – точність позиціонування і повторюваність при простоті управління – досить лише в правильній послідовності подавати імпульси в обмотки двигуна і вал КД починає обертатися. По суті, крокові системи пропонують єдину можливу технологію руху, яка здатна здійснювати управління положенням без зворотного зв'язку. Точність кроку визначається якістю механічної обробки ротора і статора електродвигуна, сучасні крокові двигуни з кутовим переміщенням 1,8 °/крок або 0,9 °/крок мають точність 3-5% від величини кроку. Ця помилка не накопичується від кроку до кроку.

Підвищений інтерес до гібридних КД, а так само нові вимоги, що пред'являються до якості руху, змусили переглянути методи його управління. В даний час при використанні цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) необхідної розрядності і перетворювачів напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ) в поєднанні з локальним зворотним зв'язком за струмом і попереднім калібруванням двигуна практично відпали обмеження на його мінімальний крок переміщення ротора за рахунок можливості формування синус-косинусного або близьких до них за формою кривих фазних струмів [4]. Це з фізичної точки зору практично повністю стирає межу між традиційним кроковим електроприводом і класичним частотно керованим синхронним електроприводом безперервного типу [5].

Основним принципом роботи КД є створення обертового магнітного поля, яке змушує обертатися ротор. Обертове магнітне поле створюється статором, обмотки якого відповідним чином живляться. Способи керування фазами КД визначаються кількістю і конфігурацією обмоток управління.

Існує кілька способів управління фазами КД (рис 1). Перший спосіб забезпечується поперемінною комутацією фаз, при цьому в один момент часу включена тільки одна фаза. Точки рівноваги ротора для кожного кроку збігаються з полюсами статора. Недоліком цього способу управління є те, що для біполярного двигуна в один і той же момент часу використовується 50% обмоток. Це означає, що в такому режимі не може бути отриманий повний момент [6].

Другий спосіб – управління фазами з перекриттям: дві фази включені в один і той же час. При цьому способі управління ротор фіксується в проміжних позиціях між полюсами статора і забезпечується приблизно на 40% більший момент, ніж в разі однієї включеної фази. Цей спосіб управління забезпечує такий же кут кроку, як і перший спосіб, але становище точок рівноваги ротора зміщений на півкроку.

Третій спосіб є комбінацією перших двох. Кожен другий крок запитана лише одна фаза, а в решті випадків запитані дві. В результаті кутове переміщення ротора становить половину кута кроку для перших двох способів управління, тобто двигун працює на половинних кроках. Недоліком змішаного режиму є досить значне коливання моменту від кроку до кроку. У тих положеннях ротора, коли запитана одна фаза, момент становить приблизно 70% від повного. Ці коливання можуть стати причиною підвищених вібрацій і шуму [7, 8].

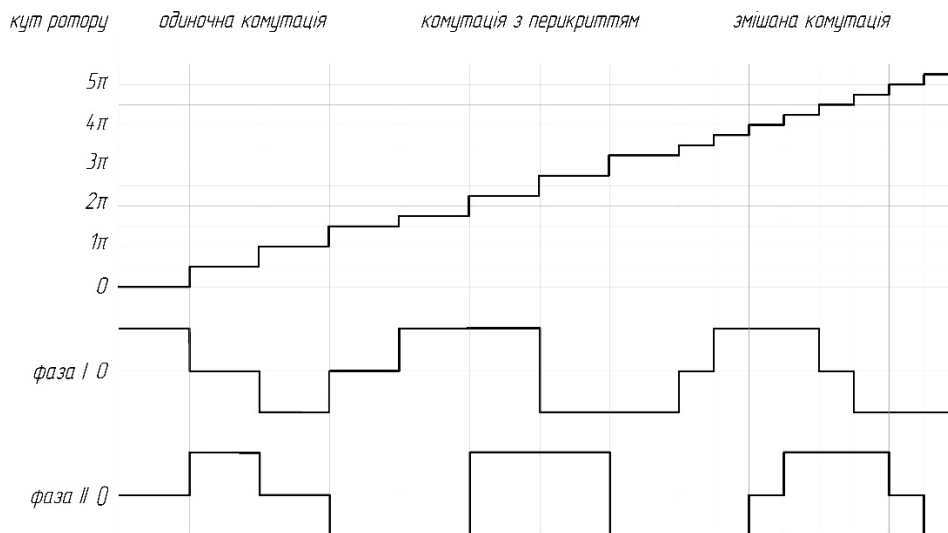


Рис. 1. Режими комутації фаз КД

Завдання, в яких потрібне отримання широкого діапазону регулювання швидкості, низьких і наднизьких швидкостей, високою рівномірності руху і точного позиціонування використовується метод електричного дроблення кроку [9] (мікрокроковий режим).

Його суть полягає в збільшенні числа електричних станів вектора струму на електричному обороті вала. Якщо одночасно включені дві фази, але їх струми не рівні, то становище рівноваги ротора буде лежати не в середині кроку, а в місці, визначеному співвідношенням струмів фаз [10]. Зсув точки рівноваги ротора говорить про те, що ротор можна зафіксувати в будь-якій довільній позиції. Для цього потрібно лише правильно встановити відношення фазних струмів. Саме цей факт використовується при реалізації мікрокрокового режиму (рис. 2).

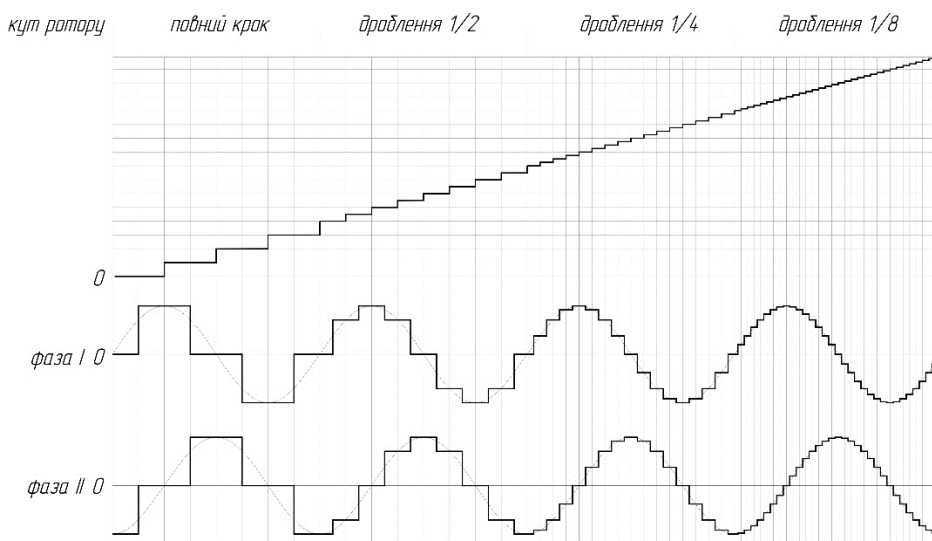


Рис. 2. Мікрокроковий режим

**Висновки.** Управління двигуном у повнокроковому режимі дає великий момент, а також не вимагає складної та дорогої електроніки. Управління двигуном у режимі мікрокроку дає більшу точність, плавність прискорення, знижує ефект резонансу, вібрації та шуму, що дуже важливо для привода верстата. Але зі збільшенням поділу кроку зменшується момент. При цьому у приводі верстата на двигун діє багато зовнішніх факторів. Тому складність полягає в правильному розрахунку параметрів управління кроковим двигуном для оптимальної та якісної роботи привода верстата. Тому, актуальною задачею є дослідження та розрахунок параметрів керування для двигунів у приводі фрезерного верстата з ЧПК власної розробки.

#### Список літератури

1. Ключев В. И. Теория электропривода. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.

2. "Stepper Motor Basics", Industrial Circuits Application Note. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://solarbotics.net/library/pdfib/pdf/motorbas.pdf>
3. Reston Condit, Dr. Douglas W. Jones, "Stepping Motors Fundamentals", AN907(DS00907A), Microchip Technology Inc., 2004, 22 p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://homepage.divms.uiowa.edu/~jones/step/an907a.pdf>
4. Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф. Шаговый электропривод в робототехнике/ Под ред. Л. А. Садовского. – М.: МЭИ, 1984. – 100 с.
5. Ивоботенко Б. А., Козаченко В. Ф. Проектирование шагового электропривода / Под ред. Л. А. Садовского. – М.: Моск. Энерг. Ин-т, 1985. – 100 с.
6. Douglas W. Jones, "Current limiting for stepping motors," Handbook of Small Electric Motors edited by Alan W. Yeadon William H. Yeadon, McGraw-Hill, 2001, ch. 10.
7. Thomas Hopkins. Stepper motor driver considerations common problems & solutions. Application note (AN460), STMicroelectronics, Dec. 2003, 11p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/CD00003771.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/CD00003771.pdf).
8. Thomas Hopkins. Stepper motor driving. Application note (AN235), STMicroelectronics, Nov. 2012, 23p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/CD00003774.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/CD00003774.pdf).
9. G. Baluta, "Microstepping mode for stepper motor control," in International Symposium on Signals, Circuits and Systems, Iasi, Romania, 2007, [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4292799/>
10. Sudhir Nagaraj. Stepper motors made easy with AutoTune (SLPS483), Texas Instruments Incorporated, March 2016, 7p. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.embedded.com/print/4217719>.

#### УДК 621.31

*Подымака В.И., Новогрецкий С.Н., к.т.н., Панасык А.Г., Болтач С.Ю.*

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев*

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

**Анализ исследований и публикаций.** На сегодняшний день вопросы расширения пределов статической и динамической устойчивости судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) актуальны, так как их решение позволяет значительно улучшить качество вырабатываемой электроэнергии в автономной энергосистеме. Обычно они решаются за счёт усовершенствования автоматических регуляторов возбуждения, как в схемотехническом плане, так и в плане реализуемых законов регулирования. В качестве генераторов используются при этом синхронные генераторы одноосного возбуждения.

В то же время в мощных береговых электроэнергетических системах нашли применение синхронные машины продольно-поперечного возбуждения (СМППВ), которые обладают более высокими показателями управляемости и устойчивости по сравнению с синхронными машинами одноосного возбуждения [1]. Как показали исследования, наилучшее демпфирование колебаний в системе обеспечивается поперечной управляющей обмоткой (УПО) на роторе при малых углах вылета ротора СМППВ, то есть когда угол между вектором напряжения и поперечной осью индуктора минимален [2]. С другой стороны, генераторы с УПО на роторе имеют более высокий уровень динамической устойчивости по сравнению с обычными генераторами одноосного возбуждения [3]. Однако необходимо указать, что все эти преимущества достигаются за счёт конструктивного усложнения машины и увеличения её массогабаритных показателей [4].

Принимая во внимание выше сказанное, был предложен новый подход к решению обозначенных вопросов. Он заключается в использовании в СЭЭС скомпенсированных синхронных генераторов (СкСГ). Под СкСГ понимается синхронный генератор продольно-поперечного возбуждения, в котором управляющая поперечная обмотка возбуждения выполняет роль компенсационной обмотки (КО), намагничивающая сила которой предназначена для полной компенсации поперечной составляющей реакции якоря. При полной компенсации угол между вектором напряжения и поперечной осью индуктора, то есть угол вылета ротора, незначительный [5], а значит, при определённом регулировании напряжения в поперечной обмотке возбуждения появляется возможность значительного улучшения демпфирования малых колебаний в системе.

**Целью работы** является синтез закона регулирования возбуждения для скомпенсированной синхронной машины.

**Основной материал исследования.** Задачу синтеза закона регулирования возбуждения наиболее просто решить на основании анализа передаточной функции СкСГ. При анализе систем автоматического регулирования уравнения, описывающие систему, как правило, линеаризуются. Поэтому для получения передаточной функции СкСГ запишем уравнения электромагнитного контура генератора в вариациях переменных:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( x_{af} \delta \vec{i}_f + x_a \delta \vec{i} \right) + r_a \vec{i} + j\omega \left( x_{af} \delta \vec{i}_f + x_a \delta \vec{i} \right) &= -\delta \vec{U}_r; \\ \frac{d}{dt} \left( x_f \delta \vec{i}_f + x_{fa} \delta \vec{i} \right) + r_f \delta \vec{i}_f &= \delta \vec{U}_f. \end{aligned} \right\}$$

Поскольку нас интересует процесс регулирования напряжения, считаем, что частота вращения ротора  $\omega = 1$  о.е. =  $const$ , следовательно  $\delta\omega = 0$ .

Пусть при  $t = 0$   $\delta \vec{i}(0) = 0$  и  $\delta \vec{i}_f(0) = 0$ , т.е. рассматриваем свободное движение системы. Принятое допущение позволяет записать уравнения машины в операторной форме в виде:

$$\left. \begin{aligned} (p + j\omega) x_{af} \delta \vec{i}_f(p) + (p + j\omega) x_a \delta \vec{i}(p) + r_a \delta \vec{i}(p) &= -\delta \vec{U}_r(p); \\ (p + \tau_{d0}) \delta \vec{i}_f(p) + \frac{x_{fa}}{x_f} p \delta \vec{i}(p) &= \frac{\delta \vec{U}_f(p)}{x_f}. \end{aligned} \right\}$$

Здесь  $\tau_{d0} = 1/T_{d0}$ ;  $T_{d0} = x_f/r_f$  (рад.) – постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутом якоре в синхронных секундах или радианах.

Принимая во внимание, что активное сопротивление якорной обмотки на два порядка меньше ее реактивности (действительно  $r_a = 0.008...0.08$  о.е.,  $x_a = 1...2$  о.е.), его не учит практически не сказывается на величине напряжения при его регулировании, что позволяет существенно упростить передаточную функцию машины:

$$\left. \begin{aligned} (p + j\omega) x_{af} \delta \vec{i}_f(p) + (p + j\omega) x_a \delta \vec{i}(p) &= -\delta \vec{U}_r(p); \\ (p + \tau_{d0}) \delta \vec{i}_f(p) + \frac{x_{fa}}{x_f} p \delta \vec{i}(p) &= \frac{\delta \vec{U}_f(p)}{x_f}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Разрешив систему (1) относительно  $\delta \vec{U}_r(p)$  и выразив  $\delta \vec{i}_f(p)$  через  $\delta \vec{U}_r(p)$  и  $\delta \vec{i}(p)$ , получаем:

$$\delta \vec{U}_r(p) = -\frac{x_{af}}{x_f} \frac{(p + j\omega)}{(p + \tau_{d0})} \delta \vec{U}_f(p) + \frac{x_{fa} x_{af}}{x_f} \frac{p (p + j\omega)}{(p + \tau_{d0})} \delta \vec{i}_d(p) - x_a (p + j\omega) \delta \vec{i}_d(p),$$

или, учитывая, что  $\frac{x_{af} x_{fa}}{x_f} = (x_a - x'_a)$ :

$$\delta \vec{U}_r(p) = -(p + j\omega) \left( \frac{x_{af}}{x_f (p + \tau_{d0})} \delta \vec{U}_f(p) + \left( x_a - \frac{(x_a - x'_a)p}{p + \tau_{d0}} \right) \delta \vec{i}(p) \right). \quad (2)$$

Уравнение (2) является простейшей передаточной функцией СкСГ по напряжению в функции напряжения возбуждения и тока нагрузки. Проведем следующие алгебраические преобразования

$$x_a - \frac{(x_a - x'_a)p}{p + \tau_{d0}} = \frac{x'_a \left( p + \tau_{d0} \frac{x_a}{x'_a} \right)}{p + \tau_{d0}} = \frac{x'_a (p + \tau'_d)}{p + \tau_{d0}},$$

где  $\tau'_d = 1/T'_d = x_a/(x'_a T_{d0})$ .

Это позволяет передаточную функцию (2) переписать следующим образом:

$$\delta \vec{U}_r(p) = -W_f(p) \delta \vec{U}_f(p) - W_i(p) \delta \vec{i}_d(p),$$

где  $W_f(p) = (p + j\omega) \frac{x_{af}}{x_f (p + \tau_{d0})}$ ;  $W_i(p) = (p + j\omega) \frac{x'_a (p + \tau'_d)}{p + \tau_{d0}}$ .

Введем неединичную обратную связь по напряжению генератора с передаточной функцией:

$$W_{oc}(p) = j k. \quad (4)$$

В этом случае передаточная функция замкнутой системы будет иметь вид

$$\Phi(p) = \frac{-W_f(p)}{1 - W_f(p) W_{oc}(p)} = \frac{-(p + j\omega) x_{af}}{(x_f - j k x_{af}) p + (\tau_{d0} x_f + \omega k x_{af})}.$$

Корень характеристического уравнения полученной передаточной функции

$$p_h = -\frac{\tau_{d0} x_f + \omega k x_{af}}{x_f - j k x_{af}} = -\frac{x_f (\tau_{d0} x_f + \omega k x_{af})}{x_f^2 + k^2 x_{af}^2} - j \frac{k x_{af} (\tau_{d0} x_f + \omega k x_{af})}{x_f^2 + k^2 x_{af}^2}.$$

Как мы можем видеть, действительная часть корня стремится к более отрицательным величинам при изменении коэффициента усиления  $k$  от 0 до оптимального значения  $k_{opt}$ , что приводит к увеличению степени устойчивости и быстродействия системы. При дальнейшем увеличении коэффициента  $k$  действительная часть

корня стремится к нулю, в связи с чем дальнейшее увеличение степени устойчивости системы невозможно. Определим  $k_{\text{опт}}$ , для чего найдем частную производную действительной части корня характеристического уравнения по параметру  $k$  и приравняем нулю:

$$\frac{\partial p_h}{\partial k} = \frac{\omega x_{af}(x_f^2 + k^2 x_{af}^2) - 2k x_{af}^2(\tau_{d0} x_f + \omega k x_{af})}{(x_f^2 + k^2 x_{af}^2)^2} = 0.$$

В результате произведенных операций мы получили квадратное уравнение по отношению к параметру  $k$ . Разрешив данное уравнение и отбросив отрицательный корень, запишем выражение для  $k_{\text{опт}}$ :

$$k_{\text{опт}} = \frac{x_f}{\omega x_{af}} \left( -\tau_{d0} + \sqrt{\tau_{d0}^2 + \omega^2} \right).$$

Учитывая тот факт, что в общем случае  $\tau_{d0}$  много меньше  $\omega$ , последнее выражение можно переписать:

$$k_{\text{опт}} \approx \frac{x_f}{x_{af}}$$

Необходимо отметить, что на самом деле значение  $k_{\text{опт}}$  может значительно отличаться от полученного, так как при выводе последнего не учитывалось уравнение движения ротора СКСГ, влияние колебания тока нагрузки, активное сопротивление статорной обмотки и т.д.. Однако он доказывает сам факт значительного улучшения устойчивости системы при введении предложенной обратной связи.

Таким образом, закон регулирования возбуждения СКСГ можно записать в таком виде:

$$\delta \bar{U}_f(p) = -j k \delta \bar{U}_r(p)$$

В соответствии с принятыми в [6] направлениями осей  $d$ ,  $q$  векторы, входящие в выражение, можно представить через проекции

$$\begin{aligned} \delta \bar{U}_f(p) &= -\delta U_{fd}(p) - j \delta U_{fq}(p); \\ \delta \bar{U}_r(p) &= \delta U_d(p) + j \delta U_q(p). \end{aligned}$$

Тогда закон регулирования перепишем в таком виде

$$\begin{cases} \delta U_{fd}(p) = -k \delta U_q(p); \\ \delta U_{fq}(p) = k \delta U_d(p). \end{cases}$$

В связи с тем, что мы оперировали не абсолютными значениями параметров, а их вариациями, то при  $\Theta_H \approx 0$  справедливо следующее

$$\begin{cases} \delta U_d = \delta(U \sin \Theta) = \sin \Theta_H \delta U + U_H \cos \Theta_H \delta \Theta = U_H \delta \Theta; \\ \delta U_q = \delta(U \cos \Theta) = \cos \Theta_H \delta U - U_H \sin \Theta_H \delta \Theta = \delta U, \end{cases},$$

тогда закон регулирования можно переписать следующим образом

$$\begin{cases} \delta U_{fd}(p) = -k \delta U(p); \\ \delta U_{fq}(p) = k U_H \delta \Theta(p). \end{cases}$$

Таким образом, для скомпенсированного синхронного генератора достаточно ввести регулирование в продольной оси по отклонению амплитуды напряжения статора, а в поперечной оси – по отклонению угла вылета ротора. Вполне очевидно, что наличие лишь этих обратных связей без интегральной составляющей будет сопровождаться установившимися ошибками регулирования как по углу вылета ротора, так и по напряжению. Однако, даже в этом случае, в нормальных режимах синхронный генератор продольно-поперечного возбуждения будет работать с малыми углами вылета ротора. С другой стороны, введение производных по напряжению и углу вылета ротора приведет к повышению устойчивости работы генераторного агрегата. Для определения оптимальных коэффициентов обратных связей в поперечной оси необходимо рассматривать работу генераторного агрегата на мощную сеть (что эквивалентно рассмотрению взаимных колебаний роторов генераторных агрегатов при параллельной работе [7]), а в продольной оси – одиночную работу генератора на активно-индуктивную нагрузку при уже зафиксированных значениях коэффициентов обратных связей в поперечной оси.

**Выводы.** 1. Для эффективного гашения малых колебаний в системе наиболее перспективным является работа генератора продольно-поперечного возбуждения в скомпенсированном режиме, то есть при угле вылета ротора, равном нулю. 2. Для обеспечения режима, близкого к скомпенсированному, достаточно ввести обратные связи в поперечной оси возбуждения по углу вылета ротора, а в продольной – отклонению напряжения статора. 3. Существует оптимальные с точки зрения статической устойчивости значения коэффициентов обратной связи в продольной и поперечной оси. 4. Для определения коэффициентов обратной связи в поперечной оси достаточно рассмотреть задачу обеспечения максимума степени статической устойчивости при работе генератора на мощ-

ную сеть. 5. Для определения коэффициентов обратной связи в продольной оси достаточно рассмотреть задачу обеспечения максимума степени статической устойчивости при работе генератора на активно-индуктивную нагрузку.

#### Список использованных источников:

1. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 304с.
2. Литкенс И.В., Погорелов Л.М., Строев В.А. Выбор закона регулирования синхронной машины с продольно-поперечным возбуждением. // Электричество. – 1977. – №8. – С.23-29.
3. Каспаров Э.А., Фези-Жилинская М.С., Зозулин Ю.В. Динамическая устойчивость турбогенераторов с управляющей поперечной обмоткой на роторе. // Электрические станции. – 1988. – №4. – С.47-54.
4. Шакарян Ю.Г., Загорский А.Е., Мнацаканян В.С., Соотношение основных размеров и параметров синхронной машины переменного тока. // Электричество. – 1977. – №2. – С.11-15.
5. Подымака В.И., Новогрецкий С.Н. Влияние реактивной мощности на запас устойчивости скомпенсированной синхронной машины. // ВІСНИК Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2003. – №4(62). – С.88-95.
6. Веретенников Л.П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. – Л.: Судостроение, 1975. – 376с.
7. Новогрецкий С. М. Статическая устойчивость параллельной работы двух скомпенсированных синхронных генераторов [Текст] / С. М. Новогрецкий // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 2 (407) – С. 130 – 136.

#### УДК 621.314.58

Козлов М.О. аспірант<sup>1</sup>, Осадченко Ю.В. аспірант<sup>2</sup> (науковий керівник Жук Д.О. к.т.н., доц).

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОДВІЙНОГО РОДУ СТРУМУ СУДНА ПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯ ПАРАЗИТНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ

**Ключові слова:** якість електроенергії, суднова електроенергетична система, напівпровідникові перетворювачі, комп'ютерне моделювання.

Вирішення питань електромагнітної сумісності і якості електроенергії (ЯЕ) є актуальною задачею в процесі створення та експлуатації сучасних електроенергетичних систем суден технічного флоту з потужними пропульсивними електроустановками на базі напівпровідникових перетворювачів (НП) з частотним керуванням. Якість роботи судових електроенергетичних систем (СЕЕС) в цілому визначається ЯЕ мережі живлення. Отже питання ЯЕ в СЕЕС безпосередньо зв'язані із надійністю функціонування та енергоефективністю останніх [1, 2].

Питання ЯЕ актуальні в т.ч. для автономних СЕЕС, які містять перетворювачі частоти (ПЧ) за схемою «некерований випрямляч (НВ) – ланка постійного струму – автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією» (АІН з ШІМ) у складі навантажень [3]. Робота потужних НП супроводжується спотвореннями форми напруги і струму мережі внаслідок наявності вищих гармонік і появою реактивної потужності на основній гармоніці [4, 5]. Несинусоїдальність напруги мережі є одним із факторів зниження ЯЕ, що може призвести до зайвих електричних втрат і аварійних ситуацій на судні [6].

**Метою роботи є** оцінка якості електроенергії в електроенергетичній системі судна технічного флоту з потужними напівпровідниковими перетворювачами у складі комплексу електричного руху шляхом дослідження її моделі з урахуванням паразитних параметрів електрообладнання.



Рисунок 1 – Типове судно постачання бурових платформ «ATLANTIC HARRIER»

Одним із типових прикладів СЕЕС сучасних суден постачання бурових платформ (рис. 1) є автономні електроенергетичні системи подвійного роду струму (рис. 2). Такі судна відіграють важливу роль в морській промисловості через здатність працювати як в ходовому режимі, так і виконувати операції динамічного позиціонування [7].

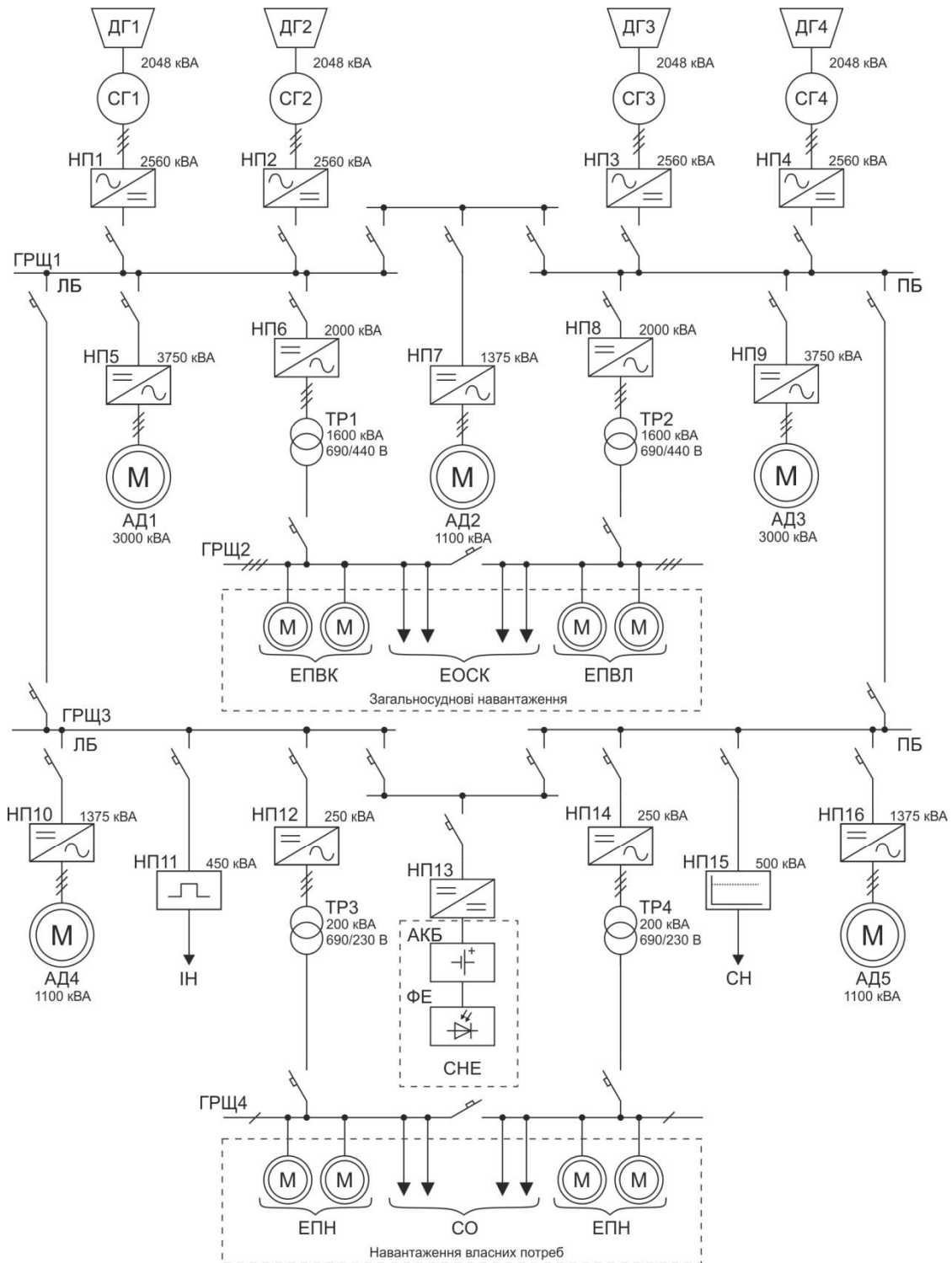


Рисунок 2 – Однолінійна скелетна схема гібридної СЕЕС судна «ATLANTIC HARRIER»

Скелетна однолінійна схема СЕЕС судна «ATLANTIC HARRIER» наведена на рис. 2. Вона реалізована з двома розподільчими секціями для підвищення надійності (живучості) судна та резервування потужності генераторних агрегатів [8].

Основу СЕЕС складають системи шин постійного (ГРЩ1, 3) та змінного (ГРЩ2, 4) струму. Суднова електростанція містить 4 дизель-генераторних установки ДГ(1-4)-СГ(1-4) ( $S_{ГН1-4} = 4 \times 2048$  кВА). Змінна напруга генераторів СГ1-4 перетворюється в постійну напругу перетворювачами НП1-4 (некеровані випрямлячі) і передається на ГРЩ1. Потужність некерованих випрямлячів становить  $S_{НП1-4} = 4 \times 2560$  кВА.

До ГРЩ1 підключено регульовані електроприводи пропульсивної установки НП5,9 на базі АІН з ШІМ ( $S_{НП5,9} = 2 \times 3750$  кВА), які живлять гребні асинхронні електродвигуни АД1,3 ( $S_{АД} = 2 \times 3000$  кВА). Електропривод водометного підрулюючого пристрою (ПП) також підключено до ГРЩ1 і реалізовано на базі НП7 (АІН з ШІМ) потужністю  $S_{НП7} = 1375$  кВА та АД2 потужністю  $S_{АД7} = 1100$  кВА [9].

З'єднання ГРЩ1 постійного струму і ГРЩ2 змінного струму реалізовано за допомогою НП6,8 (АІН з ШІМ) ( $S_{НП1,8} = 2 \times 2000$  кВА) та знижувальних трансформаторів ТР1,2 ( $S_{ТР1,2} = 2 \times 1600$  кВА, 690/440 В). До ГРЩ2 підключені електроприводи вантажних кранів (ЕПВК) та лебідок (ЕПВЛ), електрообладнання системи кондиціонування (ЕОСК) і т.і..

До ГРЩ3 підключені азимутальні ПП з перетворювачами НП10,16 (АІН з ШІМ) потужністю  $S_{НП10,16} = 2 \times 1375$  кВА з АД4,5  $S_{АД4,5} = 2 \times 1100$  кВА у складі навантажень; імпульсні навантаження (ІН) через НП11 ( $S_{НП11} = 450$  кВА); стабілізоване джерело живлення постійної напруги на базі НП15 ( $S_{НП15} = 500$  кВА); система накопичення енергії (СНЕ) з джерелом живлення на базі фотоелектричних елементів (ФЕ) та акумуляторної батареї (АКБ) з НП13 (імпульсний перетворювач), яка дозволяє короткочасно підтримувати необхідний рівень постійної напруги на шинах ГРЩ3,1 при перехідних режимах, а також непрямо регулювати активну/реактивну потужність на шинах змінного струму [10];

Через НП12,14 (АІН з ШІМ) потужністю  $S_{НП12,14} = 2 \times 250$  кВА та ТР3,4 ( $S_{ТР3,4} = 2 \times 200$  кВА, 690/230 В) ГРЩ3 з'єднано з ГРЩ4. Від ГРЩ4 живляться навантаження власних потреб, в тому числі електроприводи насосів (ЕПН) і система освітлення (СО).

Інтерес представляє аналіз схеми (рис. 2) на предмет оцінки ЯЕ з метою використання отриманих результатів для подальшого створення заходів, спрямованих на її підвищення.

Для проведення такого аналізу розроблено імітаційну модель за спрощеною структурою СЕЕС судна «ATLANTIC HARRIER» в пакеті Matlab Simulink [11]. Модель СЕЕС представлена на рис. 3.

На рис.3 синхронні генератори, перетворювачі постійного та змінного струму, навантаження СЕЕС заміщено відповідними блоками еквівалентної потужності. Синхронний генератор СГ<sub>Е</sub> представлено ланкою з послідовним з'єднанням джерела змінної напруги  $U_r$ , активним опором генератора  $R_r$  та індуктивністю генератора  $L_r$ . Наявність паразитних параметрів мережі живлення враховано опором витoku ізоляції  $R_n$  та ємністю «фаза – фаза», «фаза – корпус»  $C_n$ . Активний опір та індуктивність кабелю позначені як  $R_k$  та  $L_k$ . Вихідний Г-подібний фільтр АІН містить індуктивність  $L_\phi$  та ємність  $C_\phi$ . Асинхронне навантаження АД<sub>Е</sub> еквівалентоване  $R_d$ ,  $L_d$  ланкою.

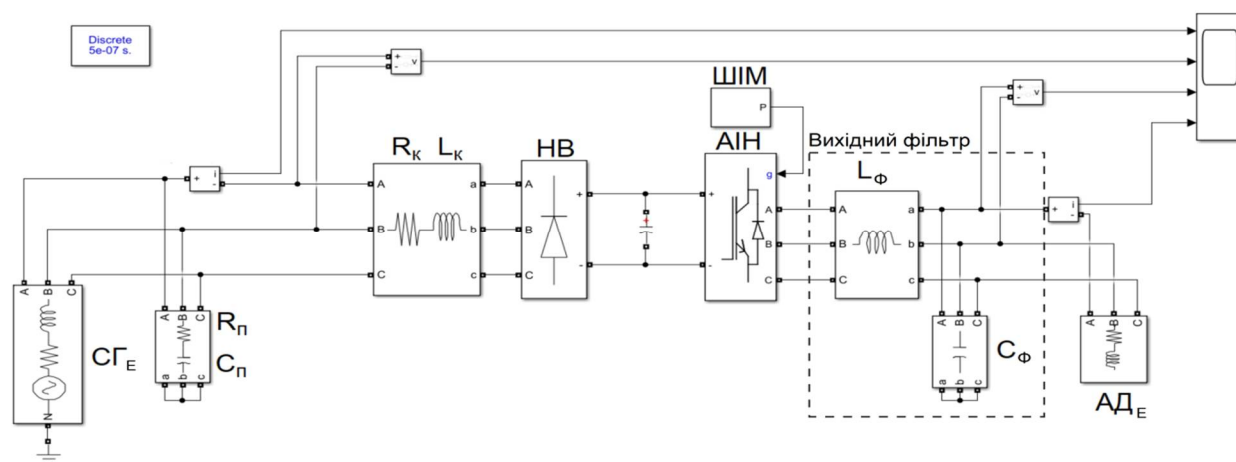


Рисунок 3 – Спрощена MATLAB-модель СЕЕС судна «ATLANTIC HARRIER»

Модель СЕЕС судна «ATLANTIC HARRIER» досліджена в пакеті Matlab Simulink з використанням дискретного методу. Діапазон моделювання обрано в межах 0 с до 0,5 с. Форми кривих напруги  $U_n$  та струму  $I_n$  на вході

СГ і асинхронного навантаження АІН для двох періодів повторюваності отримані в усталеному режимі роботи СЕЕС (0,075 с - 0,115 с). Шляхом використання блоку «Powergui» (Simulink) отримані амплітудні спектри гармонік напруги і струму ( $U_n$ ,  $I_n$ ) на вході СГ і асинхронного навантаження АІН в діапазоні 1 – 50 порядків, а також значення відповідних коефіцієнтів несинусоїдальності напруги  $K_{HU_n}(THD_{U_n})$  і струму  $K_{HI_n}(THD_{I_n})$  (рис. 4, 5).

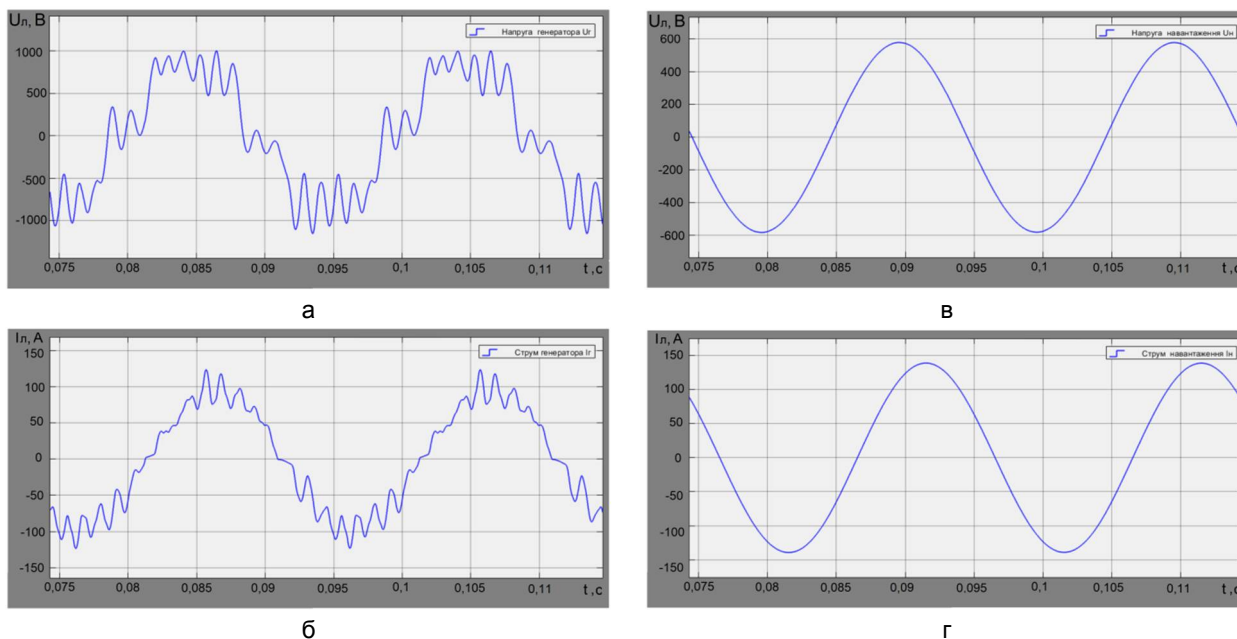


Рисунок 4 – Форма кривих напруги та струму на вході генератора (а, б) та криві напруги та струму на вході асинхронного навантаження (в, г)

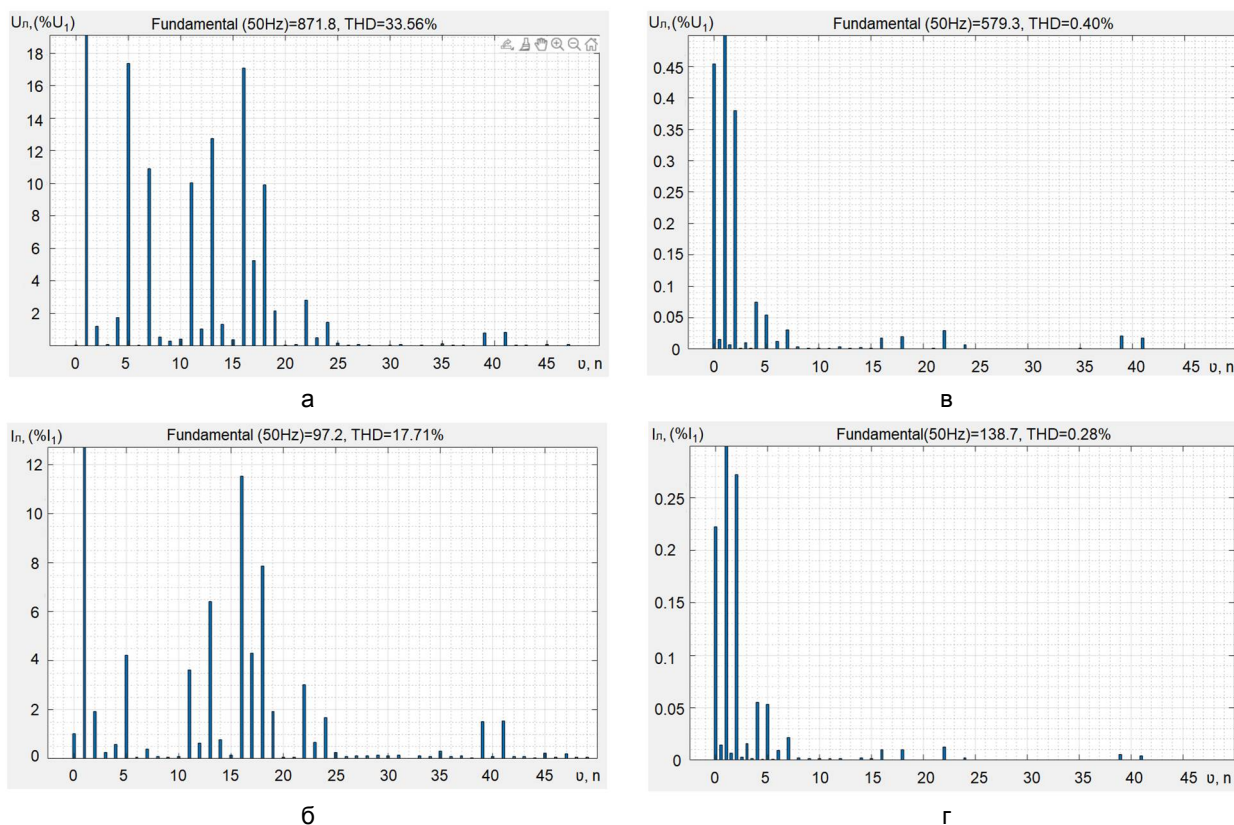


Рисунок 5 – Амплітудні спектри гармонік напруги та струму на вході генератора (а,б) та амплітудні спектри гармонік напруги та струму асинхронного навантаження (в,г)

**Висновки.**

1. Виконано аналіз структури СЕЕС подвійного роду струму судна технічного флоту «ATLANTIC HARRIER». Встановлено що така СЕЕС є гібридною, оскільки поряд з традиційними джерелами електроенергії (дизель-генераторні установки) в ній наявні поновлювальні джерела електроенергії на базі фотоелектричних елементів, системи перетворення і накопичення електроенергії.

2. Встановлено що сумарна потужність НП у складі пропульсивних електроустановок співмірна з усталеною потужністю генераторних агрегатів, що призводить до суттєвого впливу НП на ЯЕ в СЕЕС.

3. Для оцінки впливу НП на ЯЕ в СЕЕС розроблено MatLab модель, результати дослідження якої дозволила встановити наступне:

- суттєві відхилення форм кривих  $U_n$  і  $I_n$  на вході генератора від синусоїдальної;

- коефіцієнти несинусоїдальності  $K_{nU_n}(THD_{U_n}) = 33,56\%$ ,  $K_{nI_n}(THD_{I_n}) = 17,71\%$  значно перевищують стандартні (максимально припустимі) норми, встановлені реєстром судноплавства України та міжнародними стандартами [12, 13, 14, 15].

4. Для вирішення проблеми забезпечення ЯЕ в розглянутій СЕЕС потребується подальше дослідження її роботи в різних режимах з розробкою засобів компенсації гармонік напруги і струму.

**Література:**

1. Жук Д.А. Современные средства повышения качества электроэнергии в АЭЭС/ Жук Д.А., Трибулькевич С.Л., Запальский В.Н. //Інформаційно-керуючі Системи і комплекси: матеріали МНТК студентів, аспірантів та молодих вчених, Миколаїв:НУК, 2005-284с., С. 222–226

2. Жук А.К. Анализ влияния сетевых фильтров на несинусоидальность напряжения в автономных электроэнергетических системах с тиристорными преобразователями. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силовоелектроніка та енергоефективність». Ч. 2. 2004. С. 93-98.

3. Жук А.К., Жук Д.А. Комплексная оценка и обеспечение качества электроэнергии в единой ЭЭС двойного рода тока бурового судна «Газпром–1». Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ: Випуск 2/2002(12) – Кременчук: КДПУ, 2002. – С. 208–211;

4. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний // Електромашинобудування та електрообладнання, 2003, №60, С. 39 – 47.;

5. Modern active and traditional passive filters / H. Akagi // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. – 2006, vol. 54, no. 3. – p. 255-269.

6. Жук О. К. Несинусоидальність напруги в автономній електроенергетичній системі з керованим фільтрокомпенсуючим пристроєм / О. К. Жук, Д. О. Жук, Д. В.Криворучко. // Технічна електродинаміка. – 2018. – №5. – С. 26–30.

7. Жук Д.А. Особенности электроэнергетических систем современных буровых судов с динамическим позиционированием // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2004. – №4 (397). – С.111–119.

8. A. Boveri, F. D'Agostino, A. Fidigatti, E. Ragaini, and F. Silvestro, "Dynamic modeling of a supply vessel power system for DP3 protection system," IEEE Trans. Transport. Electrification, vol. 2, no. 4, pp. 570–579, Dec. 2016.

9. P. C. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, and S. Pekarek, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, vol. 75. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013.

10. K.-J. Lee, D. Shin, D.-W. Yoo, H.-K. Choi, and H.-J. Kim, —Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode in South Korea—Experimental investigation, II Energy, vol. 49, pp. 475–483, Jan.2013.

11. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. Питер, 2008г, 288с.

12. Анисимов Я.Ф. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых установок. - Л. / Я.Ф. Анисимов, Е.П. Васильев - Судостроение, 1990. – 264 с., ил.

13. Карташев И.И., Зуев Э.Н. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения. – М.: МЭИ, 2001. – 120 с.

14. Rules and Regulations for the Classification of Ships. Lloyd's Register of Shipping 1996, part 6, Electrical Engineering.

15. ДСТУ EN 61000-6-4:2015. Електромагнітна сумісність. Частина 6-4. Родові стандарти. Емісія завод у виробничих зонах.

## СЕКЦІЯ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 534.843.5

*Змієвець В. Р., магістрант*

*Науковий керівник: к.т.н. Козирев С. С.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

### ОЦІНКА ВПЛИВУ РЕВЕРБЕРАЦІЇ НА РОЗБІРЛИВІСТЬ МОВИ, СПОТВОРЕНОЇ СТАЦІОНАРНИМ ШУМОМ

На даний час актуальним є питання забезпечення розбірливості мови, оскільки стрімко розвиваються інформаційно-керуючі комплекси, в яких використовується дистанційне керування пристроями за допомогою голосу. Тому особливої важливості набувають системи розпізнавання мовної інформації, що вбудовуються в такі пристрої. Важливим також є забезпечення розбірливого та якісного мовного сигналу для телефонних розмов, для військових ліній зв'язку. Актуальним є питання захисту приміщень від витоку інформації. В таких випадках сигнал на виході маскується чи глушиться. Тому на сьогоднішній день існує велика кількість різних систем активного віброакустичного маскування мовної інформації, які створюють акустичні завади у вигляді стаціонарних та нестаціонарних шумів. Для оцінювання захищеності мовної інформації набуває широкого вжитку критерій розбірливості мови. Такий критерій більш точно відображає сприйняття смислової складової мовного повідомлення й ефективність прийнятих заходів захисту мовної інформації від існуючих загроз у порівнянні з критерієм відношення сигнал/шум (SNR) [1].

Існують ситуації, які вимагають знаходження шляхів, щодо підвищення розбірливості мовного сигналу, виходячи з умов приміщення. Відомим є те, що реверберація вносить зміни до сигналу [2]. Загальновідомо що пізня реверберація вносить спотворення, які знижують розбірливість мови, тому її намагаються усунути. Рання реверберація, чи ранні відбиття, можуть сприяти зростанню розбірливості, оскільки приходять синфазно, тобто первинний сигнал буде підсилений своїм же відбиттям, що покращить розбірливість мови за рахунок збільшення відношення сигнал-завада. Але цей ефект залежить від характеристик приміщення, тому існують умови, що призводять до погіршення розбірливості при наявності ранньої реверберації.

**Метою роботи** є проведення оцінки розбірливості мови в приміщеннях в умовах дії завад у вигляді білого шуму та реверберації, а також дослідження впливу ранньої реверберації, тобто ранніх відбиттів, на розбірливість мови, що спотворюється стаціонарними шумами.

Найбільш вагомі результати з оцінювання розбірливості мови в приміщеннях було отримано Бредлі та Арвейлер в період з 2003 по 2013 роки [3, 4]. Так всі дослідження показали, що бінауральне прослуховування дає більший виграш для розбірливості. Було підтверджено важливість ранніх відбиттів. Також було показано, що ранні відбиття підвищують розбірливість в умовах маскування мовного сигналу. Найкращий ефект маскування показали стаціонарні шуми. Але їх експерименти не оцінювали вплив реальних імпульсних характеристик приміщень на розбірливість в умовах маскування мовного сигналу.

Існує два підходи до оцінювання якості та розбірливості мовних акустичних сигналів: суб'єктивний та об'єктивний. Необхідно враховувати, що в багатьох об'єктивних методах використовуються експериментальні результати, які були отримані в процесі суб'єктивних артикуляційних випробувань.

До об'єктивних відносяться методи, які базуються на інструментальних вимірюваннях параметрів мовних повідомлень, до суб'єктивних – методи, основані на безпосередній експертній оцінці. Варто зазначити недоліки суб'єктивних методів: низька оперативність, трудомісткість, складність отримання результатів. При цьому їх беззаперечною перевагою (наприклад, методу артикуляційних випробувань) є висока достовірність результатів, одержаних людьми, оскільки саме людина є кінцевим споживачем мовних сигналів. Об'єктивні методи є значно швидшими та дешевшими у порівнянні з суб'єктивними. В [5] запропоновано програмну систему суб'єктивного оцінювання розбірливості мови, спотвореної стаціонарним шумом та реверберацією, яка поєднує переваги суб'єктивного та об'єктивного методів оцінювання розбірливості мови.

В результаті використання даної методики при дослідженні розбірливості мови в приміщеннях, в умовах дії завад у вигляді білого шуму та реверберації, отримано наступні результати. Оцінку розбірливості мови, спотвореної білим шумом та реверберацією, наведено на рис. 1 а. На рис. 1 б наведено відносне стандартне відхилення цього результату.

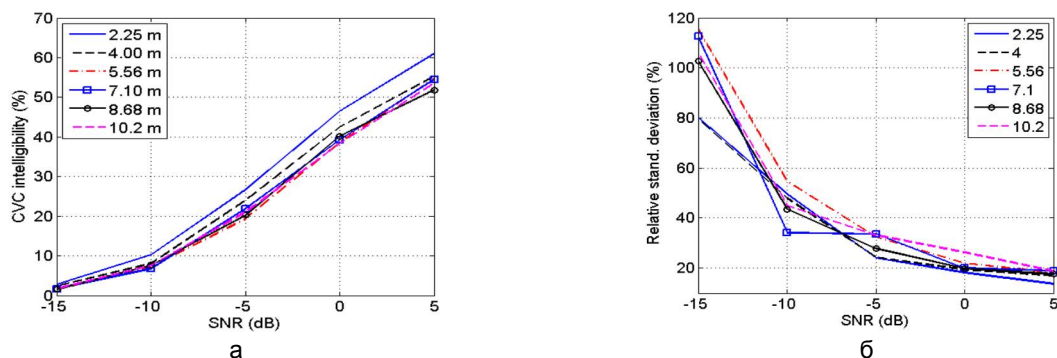


Рис. 1. Оцінки розбірливості мови (а) та їх відносне стандартне відхилення (б)

Наведені результати свідчать, що при фіксованих відношеннях сигнал-шум, розбірливість мови є найвищою для відстані 2,25 м, на відстані 4,00 м розбірливість є помітно меншою, а для більших дистанцій розбірливість є практично однаковою та найменшою.

Отримані результати підтверджують шкідливу дію пізньої реверберації. Для перевірки впливу ранньої реверберації було вирішено не враховувати (відтяти) в імпульсних характеристиках «хвости», що починаються після 50 мс, та повторити експериментальні дослідження розбірливості мовних сигналів. Результати повторного оцінювання розбірливості мови наведено на рис. 2 а, а на рис. 2 б наведено відносне стандартне відхилення цього результату.

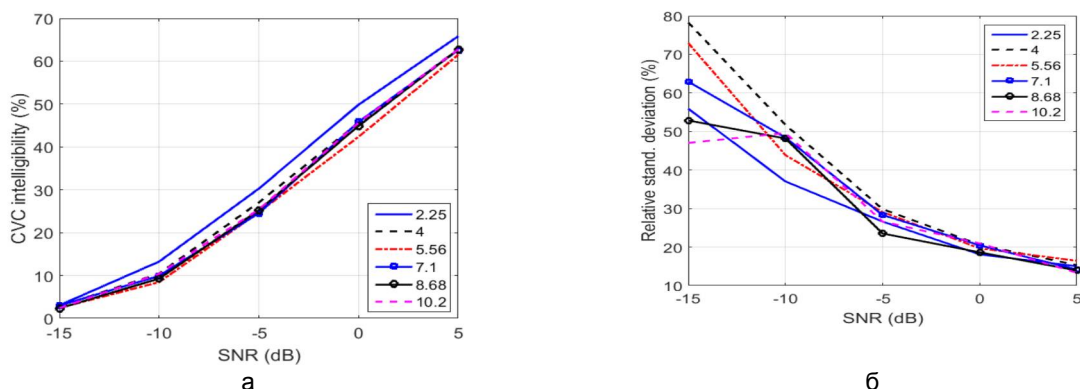


Рис. 2. Оцінки розбірливості мови (а) та їх відносне стандартне відхилення (б) в умовах відсутності пізньої реверберації.

Відкидання «хвостів» імпульсних характеристик призвело до незначного 3-5% в діапазоні SNR = -5...+5 дБ, проте помітного підвищення розбірливості мови. Цей результат є очікуваним, оскільки відомо про шкідливу дію пізньої реверберації.

Проте виявився, що ранні відбиття також погіршують розбірливість мови. Це погіршення сягає 5-8% в діапазоні SNR = -5...+5 дБ (рис. 2 а). Причиною цього може бути те, що очікуване підсилення рівня сигналу за рахунок ранніх відбиттів компенсується спотворенням форми сигналу, спричиненим нерівномірністю АЧХ кімнати для випадку дії ранніх відбиттів. Тобто, в даному випадку розбірливість знижується через зниження якості сигналу, й це зниження переважає над збільшенням розбірливості за рахунок збільшення відношення сигнал-шум, обумовленою ранньою реверберацією.

Таке припущення підтверджується аналітичною моделлю, коли на прямий звук (в даному випадку це гармонічний сигнал) накладається одне раннє відбиття:

$$y(t) = \cos(w_0 t) + q \cos[w_0(t - t_0)]$$

Амплітуда результуючого коливання залежить не тільки від амплітуди раннього відбиття та часу затримки, але й від частоти гармонічного сигналу:

$$A_y = \sqrt{1 + q^2 + 2q \cos w_0 t_0}$$

Тобто наявність раннього відбиття еквівалентне дії «гребінчастого фільтру», який на певних частотах підсилює сигнал, а на певних – послаблює.

Розглянута модель дозволяє пояснити причину погіршення якості мовного сигналу через дію ранніх відбиттів та, як наслідок, погіршення розбірливості мови.

**Висновки.** Результати дослідження показали, що на розбірливість мови впливає як пізня так і рання реверберація. Зі зростанням відстані розбірливість знижується в основному із-за шкідливої дії пізньої реверберації. Проте після видалення «хвостів» імпульсних характеристик виявилось, що ранні відбиття також знижують розбірливість мови, порівняно з прямим звуком. Це явище спричинене нерівномірністю АЧХ приміщень, які можна розглядати як фільтри, що й спричиняють зниження якості та розбірливості мовного сигналу. Для врахування впливу на розбірливість мовного сигналу необхідно мати імпульсні характеристики досліджуваних приміщень.

#### Список використаних джерел

1. Хорев А.А. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Защита информации. Конфидент. – 2001. - № 4. – С. 22-33.
2. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография / Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. – Киев: Имэкс-ЛТД, 2008. – 420 с.
3. Bradley, J. S., Sato, H., and Picard, M. (2003). "On the importance of early reflections for speech in rooms," J. Acoust. Soc. Am. 113, 3233-3244.
4. Iris Arweiler, Jorg M. Buchholz, Torsten Dau (2009). "Speech intelligibility enhancement by early reflections", <https://proceedings.isaar.eu/index.php/isaarproc/article/view/2009-29>.
5. Продеус А.М. Суб'єктивне оцінювання розбірливості мови на тлі шуму та реверберації. "Мікросистеми, електроніка та акустика", том 23, № 2, 2018, с. 66-73.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ.....</b>                                                                              | <b>3</b>  |
| <i>Малахова Н.Г., Дьяконов О.С.</i> Паливний коректор газопоршневого агрегату, що працює на звалищному газі..                                          | 3         |
| <i>Дацьків С.І.</i> Автоматична система управління постачанням живильної води енергоблоку ЮУАЕС з реактором ВВЕР-1000 .....                            | 5         |
| <i>Лукін Р.К., Дьяконов О.С.</i> Розробка автономної бездротової метеорологічної станції .....                                                         | 7         |
| <i>Грудініна Г.С.</i> Дослідження сили упору рушійно-рульового комплексу АНПА в косому потоці води методом комп'ютерного моделювання.....              | 11        |
| <i>Боровицький Д.В.</i> Методи адаптації систем управління маніпуляційними роботами на основі використання штучних нейронних мереж.....                | 15        |
| <i>Зівенко О.В., Яскуринська А.М.</i> Інтелектуальна система контролю параметрів зберігання аміаку.....                                                | 17        |
| <i>Іванов С.Ю., Топалов А.М.</i> Автоматизована система “Розумний будинок” на основі Arduino .....                                                     | 21        |
| <i>Вінниченко І.Л., Запов Є.О.</i> Кроссплатформений мобільний додаток для забезпечення автоматизованого доступу користувачів до локальної мережі..... | 23        |
| <b>СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ .....</b>                                                                                   | <b>30</b> |
| <i>Доманський О.Ю., Жук О.К.</i> Безпроводна енергоекономічна сигналізація.....                                                                        | 30        |
| <i>Батченко В.О., Гайдай Г.Ю.</i> Мобільний кабельний тестер з плаваючою кількістю жил на базі мікроконтролера .....                                   | 33        |
| <i>Занін Ю.С., Гайдай Г.Ю.</i> Автономна мікроконтролерна система пожежної сигналізації .....                                                          | 37        |
| <i>Труденко В.В.</i> Контроллер керування мікроклімату теплиць.....                                                                                    | 41        |
| <i>Дьяконов О.С., Чуєв Д.Ю.</i> Інформаційне забезпечення курсу «Інтернет речей» .....                                                                 | 44        |
| <i>Горбов В.Ю.</i> Безконтактна зарядка суднових тягових батарей з широтно-частотним регулюванням .....                                                | 48        |
| <i>Клеошин С.К., Нікуліна А.О.</i> Розгляд можливостей живлення бездротових систем.....                                                                | 51        |
| <i>Жук О.К., Дзисюк Я.В.</i> Енергоефективність зарядних систем берег – судно .....                                                                    | 53        |
| <b>СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД .....</b>                                                                                                   | <b>59</b> |
| <i>Войтасик А.М., Златов Р.С.</i> Особливості розробки електропривода суднового гвинтового компресора.....                                             | 59        |
| <i>Войтасик А.М., Корунський В.В.</i> Особливості розробки електропривода суднової тралової лебідки.....                                               | 61        |
| <i>Войтасик А.М., Марцин М.В.</i> Особливості розробки електропривода суднового вантажного ліфта.....                                                  | 63        |
| <i>Войтасик А.М., Фомін С.А.</i> Особливості розробки спуско-підйомного пристрою для науково-дослідного судна «Дельта» .....                           | 65        |
| <i>Клочков О.П., Байтаз В.П.</i> Особливості розробки електропривода консольно-поворотного крана вантажопідйомністю 5 т .....                          | 67        |
| <i>Клочков О.П., Балабан Д.Г.</i> Особливості розробки електропривода підводного буксирувальника .....                                                 | 70        |
| <i>Клочков О.П., Гречко С.Ф.</i> Особливості розробки електропривода азимутальної поворотного-гвинтової колонки буксира .....                          | 73        |
| <i>Клочков О.П., Жгутів Д.О.</i> Особливості розробки електропривода причального контейнерного крана-перевантажувача вантажопідйомністю 40 т .....     | 75        |
| <i>Злобенко Р.В., Сірівчук А.С.</i> Особливості електропривода суднового котла .....                                                                   | 78        |
| <i>Левицький С.Л., Сірівчук А.С.</i> Особливості електропривода стерня судна.....                                                                      | 80        |
| <i>Письменний М.М., Сірівчук А.С.</i> Особливості використання електропривода підрулюючого пристрою судна..                                            | 82        |
| <i>Семенчук Д.П., Сірівчук А.С.</i> Режим роботи електропривода суднових вантажних лебідок.....                                                        | 83        |

|                                                                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Литвиненко О.В.</i> Мікропроцесорна система керування електропривода промислового робота .....                                                                           | 85         |
| <i>Алієв А.Р., Левінський М.В.</i> Модернізація системи керування електропривода конвеєра .....                                                                             | 90         |
| <i>Петров С.С.</i> Модернізація системи керування електропривода насоса для охолодження води .....                                                                          | 93         |
| <i>Федосєєва Р.А.</i> Модернізація електропривода волоочильного стана.....                                                                                                  | 96         |
| <i>Кусков М.Є., Парафіло В.О.</i> Загальний аналіз систем ЧПК з метою подальшої модернізації .....                                                                          | 100        |
| <b>СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ.....</b>                                                                                             | <b>103</b> |
| <i>Броневич Д.М.</i> Привод електричного руху траулера на основі спеціального асинхронного двигуна.....                                                                     | 103        |
| <i>Казбан В.О.</i> Напрямки зниження матеріалоемності асинхронних двигунів .....                                                                                            | 106        |
| <i>Треля А.Ф.</i> Порівняння показників енергетичної ефективності трифазних трансформаторів з шихтованими планарними магнітопроводами.....                                  | 112        |
| <i>Фоменко Ю.О.</i> Особливості традиційних структур і конструкцій електромагнітних систем однофазних трансформаторів .....                                                 | 115        |
| <i>Угольніков Г.Г.</i> Крокові двигуни розімкненого дискретного привода у повнокроковому режимі та в режимі мікрокроку .....                                                | 118        |
| <i>Подымака В.И., Новогрецкий С.Н., Панасык А.Г., Болтач С.Ю.</i> Автоматическое регулирование напряжения для синхронного генератора продольно-поперечного возбуждения..... | 121        |
| <i>Козлов М.О., Осадченко Ю.В.</i> Дослідження електроенергетичної системи подвійного роду струму судна постачання з урахування паразитних параметрів мережі .....          | 124        |
| <b>СЕКЦІЯ 5. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА.....</b>                                                                                                   | <b>129</b> |
| <i>Змієвець В. Р.</i> Оцінка впливу реверберації на розбірливість мови, спотвореної стаціонарним шумом.....                                                                 | 129        |

*Наукове видання*

**АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА – 2021**

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

**9-10 листопада 2021 року**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

**МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

*(українською та російською мовами)*

Відповідальний за випуск:  
Комп'ютерна верстка:

О. О. Черно  
В. О. Клігіна

---

Видавець Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007  
E-mail: [publishing@nuos.edu.ua](mailto:publishing@nuos.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.