

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра: «Електрообладнання і автоматики суден»

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ ГІДРОДИНАМІЧНІЙ
СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ
МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ

Виконав: студент 6 курсу, групи 3601

спеціальності:

271 – Морський та внутрішній водний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Спеціалізація: «Експлуатація суднового
електрообладнання і засобів автоматики»

БІЧЕВ ВЛАДИСЛАВ ІВАНОВИЧ
(підпис, прізвище та ініціали)

допущений до захисту 15. 12. 2023
(дата)

Завідуючий кафедрою Гвоздева І.М.
(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник Гвоздева І.М.
(підпис, прізвище та ініціали)

Нормоконтролер В. Келесен
(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент В.М. Захарченко
(підпис, прізвище та ініціали)

Одеса – 2023

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

18.12.2023

з підписом: Diploma Bichev.pdf.p7s

з підписом: 1.7 МБ

файли:

без підпису: Diploma Bichev.pdf

без підпису: 1.7 МБ

перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних

Бичев Владислав Іванович

Бичев Владислав Іванович

Ідентифікатор

382367105294AF9704000000DF641800CA4B7301

(підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 00:17:15

видалий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

номер: 382367105294AF9704000000DF641800CA4B7301

застосованого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

підпису: ДСТУ-4145

кваліфікований

Підпис та дані в CMS-файлі (CAAdES)

з повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

кваліфікований

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА
АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки
Спеціалізація: Експлуатація суднового електрообладнання і засобів
автоматики

Кафедра «Електрообладнання і автоматики суден»

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри

Гвоздева І.М.

(прізвище та ініціали)

« 15 » 12 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу магістра

БІЧЕВА В.І.

(прізвище та ініціали)

1. Тема: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ
ГІДРОДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І
КОНДИЦІОНУВАННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ
АНАЛОГІЙ

затверджена наказом ректора № 2003 від «12» грудня 2023 року

2. Термін закінчення роботи: «15» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: параметри та схеми суднових енергетичних
установок, структурні схеми системи опалення, вентиляції і
кондиціювання, параметри типових регуляторів використовуваних на
судах

4. Зміст дипломної роботи магістра:

1 суднова система опалення, вентиляції і кондиціювання як об'єкт
дослідження; 2 властивості рідини у гідравлічних системах; 3 метод

електрогідравлічних аналогій; 4 комп'ютерне моделювання системи опалення та кондиціонування за допомогою метода електрогідравлічних аналогій.

5. Перелік ілюстрацій до презентації дипломної роботи магістра: схеми моделювання суднових САУ, графічні результати моделювання, оптимізація результатів моделювання, структурні схеми суднової САУ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи магістра	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання до ДРМ	30.12.2022	Виконано
2	Ознайомлення з судовою системою ОВіК	01.02.2023-01.04.2023	Виконано
3	Вивчення та огляд методів опису гідравлічних систем	02.04.2023-01.06.2023	Виконано
4	Вивчення методу електрогідравлічних аналогій	25.08.2023-01.10.2023	Виконано
5	Розробка моделі у ПЗ Electronic Workbench	02.10.2023-01.11.2023	Виконано
6	Розробка моделі у сучасному програмному середовищі	02.11.2023-01.12.2023	Виконано
7	Створення пояснювальної записки	02.12.2023-15.12.2023	Виконано

Курсант (студент)

(підпис)

Бічев В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гвоздева І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра: 65 с., 20 рис., 4 табл., 30 джерел.

**Тема: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СУДНОВІЙ
ГІДРОДИНАМІЧНІЙ СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І
КОНДИЦІОНУВАННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ
АНАЛОГІЙ**

Актуальність теми: досліджування процесів у судновій гідравлічній системі опалення, вентиляції та кондиціювання повітря є актуальним і має вагоме значення в галузі судноплавства.

Економічні показники функціонування транспортного судна істотно залежать від встановленої на ньому енергетичної установки (СЕУ), яка забезпечує рух судна та постачання необхідною енергією всіх суднових споживачів. Витрати на експлуатацію СЕУ складають 35-50% від вартості експлуатації всього судна [1]. Тому підвищення ефективності роботи СЕУ, економія палива та інших енергетичних і матеріальних ресурсів становить важливу науково-технічну задачу. при вирішенні вказаної задачі значна роль відводиться вдосконаленню процесів, які відбуваються у різних суднових системах, що входять до складу СЕУ, зокрема, у системі опалення, вентиляції та кондиціювання. Підвищення ефективності використання суднових систем опалення, вентиляції і кондиціювання пов'язане з необхідністю дослідження процесів, які відбуваються у них. Одним із відомих методів, що дозволяє спростити математичний опис процесів є метод електрогідравлічної аналогії [2].

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами: тематика магістерської роботи співпадає з науковими дослідженнями кафедри електрообладнання і автоматики суден Національного університету «Одеська морська академія».

Метою магістерської роботи є дослідження процесів у судновій гідродинамічній системі опалення, вентиляції і кондиціювання методом

електрогідравлічних аналогій із застосуванням методів моделювання у сучасних програмних середовищах.

Для досягнення вказаної мети було поставлено та вирішено наступні завдання:

- провести огляд технічної бази системи опалювання, вентиляції і кондиціонування;
- визначити ключові параметри, що впливають на потік рідини у системі;
- провести аналогію між електричними та гідравлічними компонентами;
- зробити опис елементів гідравлічної мережі методом електрогідравлічних аналогій;
- розробити моделі гідравлічної системи.

Об'єкт дослідження: процеси, що відбуваються під час роботи суднової системи опалення, вентиляції та кондиціонування.

Предмет дослідження: моделі і методи дослідження процесів, які відбуваються при роботі суднової системи опалення, вентиляції та кондиціонування.

Методи досліджень: при теоретичних дослідженнях використовувались методи всебічного системного аналізу, методи комп'ютерного моделювання, основ електротехніки та теорії електричних ланцюгів, а для обробки результатів моделювання - методи опису і прогнозування.

Гіпотеза: запропонований метод дослідження суднової системи ОВіК дозволить провести моделювання системи в різних режимах роботи і розробити технічне рішення щодо модернізації.

Наукова новизна отриманих результатів:

- для суднових системи опалення, вентиляції та кондиціонування запропоновано спосіб моделювання гідравлічної системи методом електрогідравлічних аналогій, що дозволяє провести дослідження процесів, що протікають у середині;
- за допомогою методу електрогідравлічних аналогій та сучасних програмних засобів створено комп'ютерна модель суднової

системи опалення, вентиляції та кондиціювання, що дозволяє досліджувати процеси у різних режимах роботи системи.

Практичне значення отриманих результатів: на підставі обраної і уточненої методики інженерного розрахунку суднової системи ОВіК, проведене моделювання компонентів такої системи для впровадження методу моделювання суднових гідродинамічних систем.

Апробація результатів дипломної роботи: тези з тематики даної роботи обговорювались на XIII міжнародній науково-технічній конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» (СЕІЕА-2023), яка проходила у Національному Університеті «Одеська морська академія», місто Одеса.

Публікації: публікація із зв'язаною тематикою дипломної роботи опубліковано у матеріалах XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» (СЕІЕА-2023).

ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, КОНДИЦІЮВАННЯ,
ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ГІДРАВЛІКА, ГІДРОДИНАМІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНА АНАЛОГІЯ

ABSTRACT

Master's thesis: 65 pp., 20 figures, 4 tables, _30_sources.

Topic: **RESEARCH OF PROCESSES IN THE SHIP'S HYDRODYNAMIC SYSTEM OF HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING BY THE METHOD OF ELECTROHYDRAULIC ANALOGIES**

Relevance of the topic: the research of processes in the ship's hydraulic system of heating, ventilation and air conditioning is relevant and has a significant importance in the field of shipping.

The economic performance of a transport vessel depends significantly on the power plant installed on it, which ensures the movement of the vessel and the supply of the necessary energy to all ship users. The costs of operating the SEU make up 35-50% of the cost of operating the entire vessel [1]. Therefore, increasing the efficiency of SEU work, saving fuel and other energy and material resources is an important scientific and technical task. In solving this problem, a significant role is assigned to the improvement of processes that take place in various ship systems that are part of the SEU, in particular, in the heating, ventilation and air conditioning system. Increasing the efficiency of the use of ship heating, ventilation and air conditioning systems is connected with the need to study the processes that take place in them. One of the well-known methods that allows to simplify the mathematical description of processes is the method of electro-hydraulic analogy [2].

Connection of the work with scientific programs, topics, plans: the topic of the master's thesis coincides with the scientific research of the Department of Electrical Equipment and Automation of Ships of the National University "Odesa Maritime Academy".

The purpose of the master's thesis is to study the processes in the ship's hydrodynamic system of heating, ventilation and air conditioning by the method of electrohydraulic analogies with the use of modeling methods in modern software environments.

To achieve this goal, *the following tasks* were set and solved:

- conduct an inspection of the technical base of the heating, ventilation and air conditioning system;
- to determine the key parameters affecting the flow of liquid in the system;
- draw an analogy between electrical and hydraulic components;
- to describe the elements of the hydraulic network by the method of electrohydraulic analogies;
- develop hydraulic system models.

Object of research: processes occurring during the operation of the ship's heating, ventilation and air conditioning system.

The subject of research: models and methods of researching processes that occur during the operation of the ship's heating, ventilation and air conditioning system.

Research methods: theoretical studies used methods of comprehensive system analysis, methods of computer modeling, the basics of electrical engineering and the theory of electric circuits, and methods of description and forecasting were used to process modeling results.

Hypothesis: the proposed method of researching the ship HVAC system will allow modeling the system in different operating modes and developing a technical solution for modernization.

Scientific novelty of the obtained results:

- for the ship's heating, ventilation and air conditioning system, a method of modeling the hydraulic system by the method of electrohydraulic analogies is proposed, which allows to conduct a study of the processes occurring in the middle;
- using the method of electro-hydraulic analogies and modern software, a computer model of the ship's heating, ventilation and air conditioning system was created, which allows to study the processes in different operating modes of the system.

The practical significance of the obtained results: on the basis of the selected and refined engineering calculation method of the ship's HVAC system, the simulation of the components of such a system was carried out for the implementation of the ship's hydrodynamic system modeling method.

Approbation of the results of the thesis: theses on the subject of this work were discussed at the XIII International Scientific and Technical Conference "Ship Electrical Engineering, Electronics and Automation" (CEIEA-2023), which was held at the National University "Odesa Maritime Academy", the city of Odesa.

Publications: a publication with a related topic of the thesis was published in the materials of the XIII International Scientific and Technical Conference "Ship Electrical Engineering, Electronics and Automation" (CEIEA-2023).

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, LIFE SUPPORT,
HYDRAULIC, HYDRODYNAMICS, ELECTRICAL ENGINEERING,
ELECTROHYDRAULIC ANALOGY

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ-----	12
ВСТУП-----	13
1 СУДНОВА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІЮВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ-----	14
1.1 Гідравлічні системи, що входять до суднового обладнання-----	14
1.2 Міжнародні вимоги щодо судових системи опалення, вентиляції і кондиціювання-----	15
1.3 Основні технічні характеристики судна-----	17
1.4 Опис технічних характеристик і конструктивних особливостей системи опалення, вентиляції і кондиціювання-----	18
Висновки до розділу 1-----	23
2 ВЛАСТИВОСТІ РІДИНИ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ-----	24
2.1 Фізичні властивості рідини-----	24
2.2 Методи опису гідравлічних систем-----	29
2.3 Домінуючі параметри, що впливають на потік рідини-----	32
2.4 Режими руху рідини та її втрата при русі-----	33
Висновки до розділу 2-----	37
3 МЕТОД ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ-----	38
3.1 Опис методу електрогідравлічних аналогій-----	38
3.2 Аналогія між електричними та гідродинамічними ланками-----	38
Висновки до розділу 3-----	43
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ, КОНДИЦІЮВАННЯ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ-----	44
4.1 Опис судової системи в режимі роботи охолодження-----	44
4.2 Модель електричного аналогу системи опалення, вентиляції і кондиціювання-----	46
4.3 Розробка моделі судової системи опалення, вентиляції і	

кондиціювання у сучасному програмному середовищі -----	47
4.4Опис елементів мережі згідно методу електрогідравлічної аналогії-----	51
4.4.1 Модель джерела енергії мережі постійного тиску-----	51
4.4.2 Модель секції трубопроводу мережі-----	52
4.4.3 Модель першого споживача мережі-----	54
4.4.4 Модель другого споживача мережі-----	54
4.4.5 Модель регулятора тиску в мережі-----	55
4.5Загальна тестова програма моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску-----	56
Висновки до розділу 4-----	60
ВИСНОВКИ-----	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ-----	62
ДОДАТКИ-----	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДРМ – дипломна робота магістра

ЕГДА – електрогідравлічна аналогія

МАГДА – магнітогідродинамічна аналогія

ОВіК – опалювання, вентиляція і кондиціювання

ПЗ - програмне забезпечення

ПІД – пропорційний інтегрально диференціальний

САУ – система автоматичного управління

СЕУ – суднова енергетична установка

ТЕЛ – теорії електричних ланцюгів

ТЕМП – теорії електромагнітного поля

ТОЕ – теоретичних основ електротехніки

АНУ – блок обробки повітря (air handling unit)

HVAC – опалювання, вентиляція і кондиціювання (Heating, Ventilation, & Air Conditioning)

ІМО – міжнародна морська організація (International Maritime Organization)

Rec. – рециркуляція (recirculating)

SOLAS – міжнародна конвенція з безпеки людей на морі International Convention for the Safety of Life at Sea)

TEU – двадцяти футовий еквівалент (twenty-foot equivalent unit)

TXV – терморегулюючий клапан (Thermal expansion valve)

UK – Сполучене Королівство (United Kingdom)

ВСТУП

Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря (ОВіК) або Heating, Ventilation, & Air Conditioning (HVAC) відіграють вирішальну роль у створенні та підтримці комфортного середовища в приміщенні.

Системи HVAC на суднах забезпечують комфорт, безпеку та добробут членів екіпажу та пасажирів. Морське середовище створює унікальні проблеми, включаючи вплив суворих погодних умов, коливань температури та обмежений простір. Суднові системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря розроблені для вирішення цих проблем і забезпечують оптимальні умови життя та роботи на борту. Ці системи є невід'ємною частиною житлових приміщень, забезпечуючи не тільки контроль температури, але й якість повітря та вентиляцію.

Важливість систем ОВіК полягає в їх здатності створювати оптимальні умови всередині приміщень, незалежно від зовнішніх коливань погоди. У регіонах з екстремальними температурами системи HVAC регулюють температуру всередині приміщень, зберігаючи мешканців взимку теплом і прохолодою влітку. Крім теплового комфорту, системи HVAC сприяють якості повітря в приміщеннях, забезпечуючи вентиляцію та фільтрацію, тим самим створюючи більш здорове середовище для життя та роботи.

Таким чином, системи опалення, вентиляції, вентиляції та кондиціонування на суднах мають важливе значення для створення придатного для життя та безпечного середовища, що забезпечує благополуччя людей на борту. Ці системи повинні відповідати унікальним викликам морського середовища, одночасно включаючи енергоефективні та надійні технології для задоволення конкретних потреб судна.

1 СУДНОВА СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Гідравлічні системи, що входять до суднового обладнання

Суднова апаратура включає в себе різноманітні гідравлічні системи, які виконують різні функції на судні і конкретні системи можуть відрізнятися в залежності від типу судна, його призначення та конструкції - це [3]:

- 1) гідравлічна система управління кермовим пристроєм;
 - забезпечує управління напрямком судна;
- 2) гідравлічна система стабілізації;
 - використовується для управління системами стабілізації судна та мінімізації впливу хвиль;
- 3) гідравлічні системи для підйому та опускання вантажів;
 - використовуються в системах вантажозахоплення для кранів, ліфтів та інших механізмів;
- 4) гідравлічні системи підйому та опускання плавучих платформ;
 - використовуються для управління підйомом та опусканням плавучих доків та інших подібних пристроїв;
- 5) гідравлічні системи аварійного закриття водонепроникних відсіків;
 - використовуються для аварійного закриття водонепроникних відсіків у випадку пошкодження корпусу;
- 6) гідравлічні системи трапів та сходів;
 - використовуються для управління трапами та сходами на борту судна;
- 7) гідравлічні системи для управління механізмами вантажних трюмів;
 - забезпечують відкривання та закривання люків вантажних трюмів;
- 8) гідравлічні системи внутрішнього та зовнішнього буксирного обладнання;
 - використовуються для управління буксирними лебідками та

іншими буксирними пристроями.

Застосування гідравлічних систем на суднах має кілька переваг, оскільки це дозволяє забезпечити ефективну роботу різних механізмів та систем.

Такі переваги мають гідравлічні суднові системи [4]:

- сила та керованість - гідравлічні системи надають значну силу та керованість. Це особливо важливо для суден, оскільки вони можуть використовувати ці системи для керування лебідками, які піднімають якоря, маніпулювання вантажем, а також для управління рульовою системою;
- ефективність - гідравлічні системи зазвичай дуже ефективні та швидкі у порівнянні з іншими механізмами. Вони можуть забезпечувати значну силу при відносно невеликому обсязі та ваги обладнання;
- автоматизація та дистанційне управління - гідравлічні системи легко піддаються автоматизації, що робить можливим використання дистанційного управління для багатьох процесів на судні. Це полегшує роботу екіпажу та забезпечує безпеку операцій;
- надійність - гідравлічні системи часто вважаються надійними, особливо при правильній експлуатації та обслуговуванні. Вони менше піддаються зносу та поломкам порівняно з іншими типами систем;
- можливості управління різними механізмами - гідравліка дозволяє ефективно управляти різними механізмами, такими як якорі, шлюзи, гаки для вантажів, рулеві системи та інші. Це дозволяє суднам виконувати різноманітні завдання та операції.

1.2 Міжнародні вимоги щодо суднових системи опалення, вентиляції і кондиціонування

Міжнародна морська організація (ІМО) встановлює стандарти і вимоги щодо безпеки на морі, включаючи системи опалення, вентиляції та кондиціонування. Основні вимоги з цього питання містяться в Міжнародній

конвенції SOLAS. Основна інформація щодо вимог до систем опалення, вентиляції та кондиціювання міститься у розділі II-1 і II-2 [5].

Розділ II-1 (Конструкція суден) - секція 26 SOLAS визначає вимоги до систем опалення на судах. Вона охоплює вентиляційні та опалювальні системи з урахуванням забезпечення безпеки експлуатації та ефективності обслуговування.

- безпека вентиляції - SOLAS встановлює вимоги до ефективності та безпеки систем вентиляції на судах. Зокрема, це стосується обладнання для забезпечення достатнього обміну повітря в різних зонах судна;
- керування та моніторинг - вимоги до систем керування і моніторингу ОВК містяться в SOLAS. Вони стосуються надійності обладнання, систем автоматичного відключення в разі аварій та можливостей контролю екіпажу;
- запобігання конденсації - системи кондиціювання повинні запобігати утворенню конденсату, щоб уникнути вологості та корозії на судні;
- навчання екіпажу - в SOLAS може бути включена вимога до навчання екіпажу щодо правильного використання та обслуговування систем ОВК. Надання інструкцій щодо безпеки та проведення навчання екіпажу щодо використання систем ОВК та дій в разі пожежі.

Розділ II-2 (Запобігання пожежі та боротьба з нею) - Секція 20 SOLAS стосується систем вентиляції і кондиціонування. Вимоги включають забезпечення ефективної вентиляції для запобігання пожежам та забезпечення безпеки перебування людей на судні у випадку пожежі.

- матеріали - вимоги до матеріалів, які використовуються в системах ОВК, для запобігання поширенню вогню;
- захист від пожежі - вимоги до систем опалення та кондиціювання пов'язані з безпекою від пожежі. Вони можуть включати в себе вимоги до матеріалів, які використовуються в системах, та необхідність установки аварійних вентиляційних систем;
- вентиляційні системи - забезпечення ефективних систем вентиляції для

- уникнення утворення та розповсюдження диму в разі пожежі;
- контроль пожежі - наявність систем контролю пожежі та автоматичних вимикачів для забезпечення безпеки.

1.3 Основні технічні характеристики судна

У магістерській роботі розглянуто судно - контейнеровоз , збудоване у Кореї на верфі Кодже (Geoje) компанією «SAMSUNG SHIPBUILDING & HEAVY INDUSTRIES CO. LTD» у 2003 році. Загальні характеристики судна наведені у таблиці 1.1:

Таблиця 1.1 – Основні характеристики судна

Довжина	260 м
Ширина	32.25 м
Осадка	12.6 м
Дедвейт (водотонажність)	50813 т
Брутто – реєстрова тонна	39941 т
Нетто – реєстрова тонна	24458 т
Потужність головного двигуна	36529 кВт
Потужність електричної установки	1700 кВт * 4 шт.
Місткість контейнерів (TEU)	4253 шт.
Каюти	25 шт.

На даний момент судно має назву Qingdao Tower та ходить під флагом Ліберії з портом приписки Монровія (Monrovia). Судновласником є EASTERN PACIFIC SHIPPING, SINGAPORE і судовим менеджером ZODIAC MARITIME, LONDON (UK).

Регіон плавання є Азіатські країни, такі як: Південна Корея, Китай, Гонконг, Макао, Сінгапур, Малайзія, Індонезія та Філіппіни.

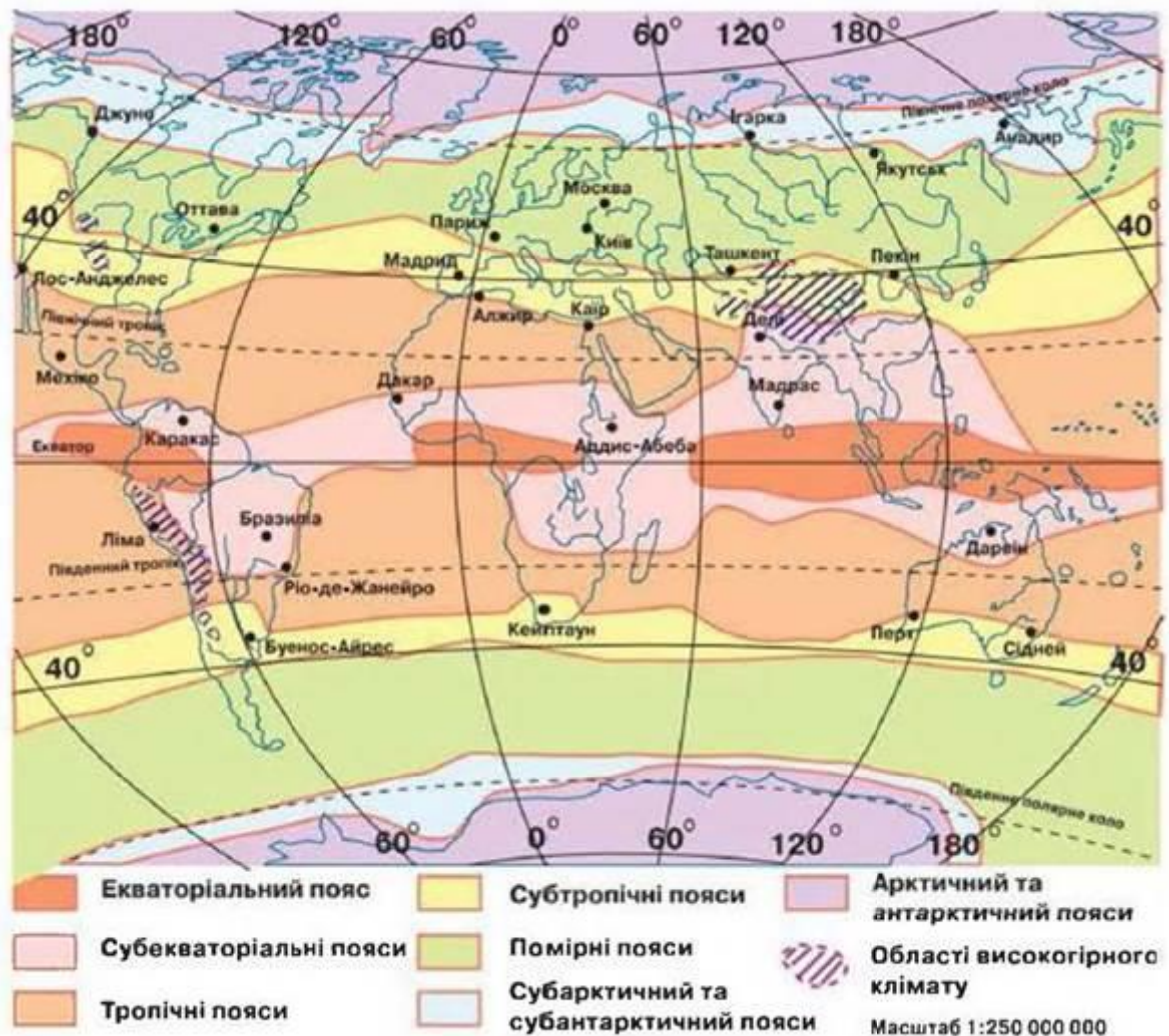


Рисунок 1.1 – Кліматичні пояси землі

Як бачимо з рисунка 1.1, що регіон є досить обширним, включаючи помірний, субтропічний, тропічний, субекваторіальний і екваторіальний кліматичні пояси [6].

1.4 Опис технічних характеристик і конструктивних особливостей системи опалення, вентиляції і кондиціонування

Суднова система ОВіК є високошвидкісною однотрубною системою центрального опалення/охолодження з індивідуальним контролем об'єму повітря в кожній кабіні, від нуля або заданого мінімуму до необхідного максимуму.

Нище показано принципи нагрівання та охолодження через АНУ -

центральный блок обработки воздуха (рис.1.2). При индивидуальном подборе, секции можно скласти разом у будь-якій комбінації.

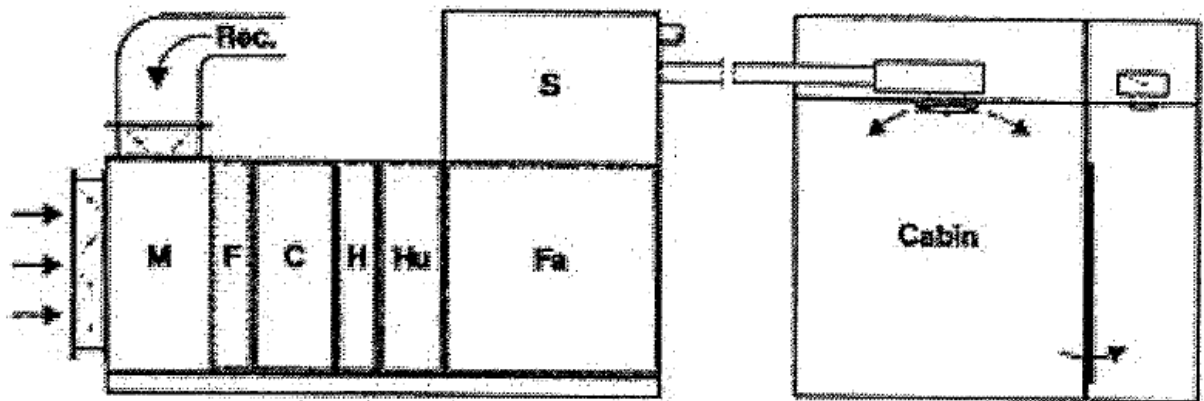


Рисунок 1.2 – Секції центрального блоку ОВіК:

Rec. – рециркуляція (Recirculation); M - змішування (mixing);

F –фільтр (filter); C –охолоджувач (cooler); H –підігрівач (heater);

Hu - зволожувач (humidification); Fa – вентилятор (fan);

S - звукогасник (soundtrap); Cabin – каюта

Центральний блок обробки повітря – це високоякісне обладнання із сертифікованою потужністю, розроблене для морських застосувань. Він підбирається відповідно до проектних умов кожної окремої установки. Припливно-витяжні установки можуть поставлятися з будь-якою комбінацією наступних компонентів:

- змішувальна секція з заслінками для ручного або моторизованого керування. Секція змішування використовується для змішування свіжого зовнішнього повітря з зворотним повітрям, що надходить із житлових приміщень. Цей процес допомагає підтримувати якість повітря в приміщенні, надаючи контрольовану кількість свіжого повітря. Заслінки використовуються для контролю потоку повітря всередині АНУ, які можна регулювати, щоб контролювати кількість повітря, що надходить у різні частини системи, що дозволяє точно контролювати температуру та повітряний потік;

- секція фільтра розміщена на стороні всмоктування, безпосередньо біля змішувальної секції або входу свіжого повітря. Сам фільтр являє собою нержавіючу раму зигзагоподібної форми з поліамідним фільтруючим килимком. Після зняття дверцят для обслуговування фільтр можна легко витягнути для зняття та заміни фільтрувальної прокладки. Це покращує якість повітря в приміщенні, запобігаючи циркуляції забруднюючих речовин у повітрі;
- секція опалення для пара, електрики, гарячої води або термального масла. Парові та водяні змійовики побудовані з алюмінієвими ребрами на безшовних мідних трубах. Термомасляні обігрівачі виготовлені із сталевих труб зі сталевим оребренням;
- секція зволоження з форсунками для пари або води, для запобігання таким проблемам, як сухість шкіри та дихальний дискомфорт. Осушувачі також можуть бути вбудовані для видалення надлишкової вологи, запобігання розвитку цвілі та підтримки комфортного рівня вологості;
- секція охолодження для прямого розширення фреону або для охолодженої води. Змійовик складається з мідних трубок і алюмінієвих оребрень;
- секція водовідвідника розташована відразу після секції охолодження, щоб запобігти потраплянню крапель конденсату з повітряного охолоджувача до секції вентилятора;
- вентиляторна секція містить відцентровий вентилятор з подвійним входом, приводом від клинового ремня. Вентиляторна установка встановлена на антивібраційних опорах і забезпечена гнучким з'єднанням. Сприяє циркуляції кондиціонованого повітря як в режимах опалення, так і в режимі охолодження.

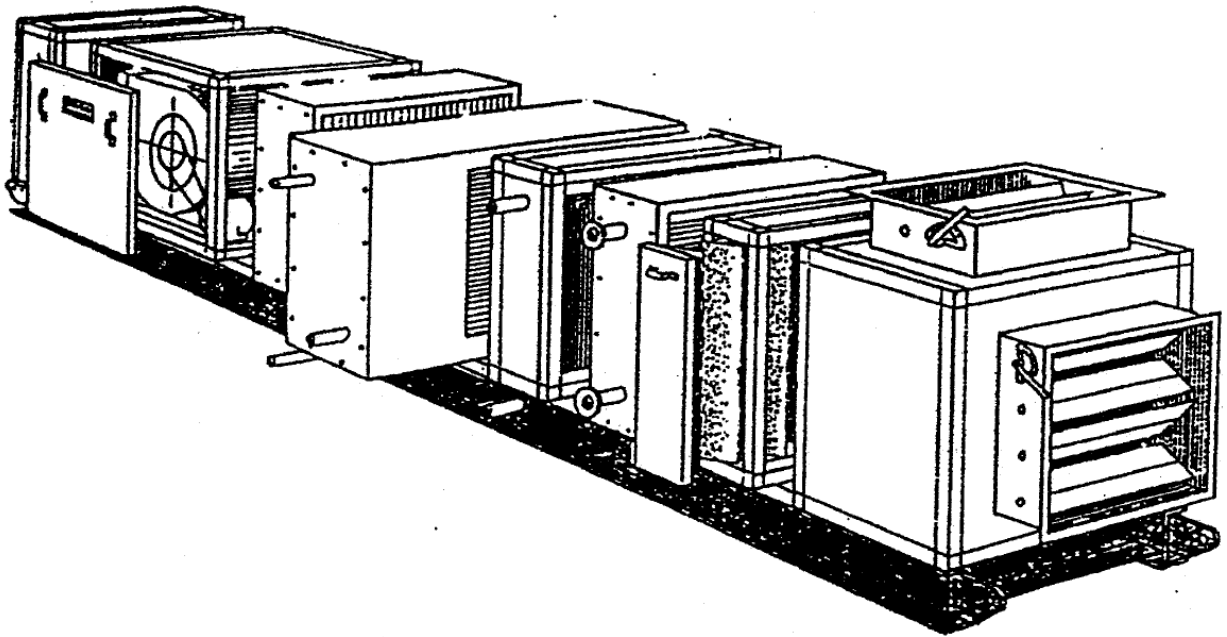


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд блоку обробки повітря (АНУ)

З центрального блоку (рис 1.3) повітря подається через однотрубну систему повітроводів до кожної кабіни або відсіку. Вся фільтрація, нагрівання або охолодження повітря відбувається тільки в центральному блоці.

Блок побудований на міцній рамі, виготовленій зі сталі і включає всі секції, необхідні для відповідності кожній індивідуальній специфікації, як зазначено нижче.

Кожне розширення проектується як складова частина модульної системи і складається з жорсткого каркаса з квадратних труб зі спеціальними монтажними куточками. Модулі покриті оцинкованою листовою сталлю, добре ізольовані зсередини гіпсовими плитами товщиною 9 мм і мінеральною ватою з покриттям 30 мм.

Кожна секція ретельно затягнута зсередини і зовні, а гумова прокладка між секціями забезпечує герметичність всього блоку.

Секції кріпляться до каркаса за допомогою кутників, які можна легко зняти, щоб вийняти секції окремо для можливого ремонту або заміни.

Також є оглядові дверцята до секцій, які легко знімаються, що містять обладнання для забезпечення легкого обслуговування.

Таке обладнання, як вентилятори, двигуни та фільтрувальні прокладки,

також можна просто вийняти зі своїх секцій.

Система була спроектована так, щоб перекрити всі температурні витрати при передачі повітря, у результаті отримуємо досить стабільну температуру віддаваного повітря, яке автоматично регулюється відповідно до температури зовнішнього повітря.

Для мінімізації шуму та вібрації вентиляційні агрегати часто оснащуються віброізоляторами та ізоляцією. Це гарантує, що робота пристрою буде максимально тихою.

За технічною документацією [7] було зроблено таблицю (див. табл. 1.2) де висвітлюються основні системні параметри.

Таблиця 1.2 – Параметри на які була спроектована система

Літній період	Зовні судна	Температура, °C	+38
		Волога. %	70
	Всередині судна	Температура, °C	+26
		Волога. %	50
	Відношення рециркуляції	Свіже повітря 56.6%	Зворотне повітря 43.4%
Зимовий період	Зовні судна	Температура, °C	-15
		Волога. %	-
	Всередині судна	Температура, °C	+22
		Волога. %	50
	Відношення рециркуляції	Свіже повітря 56.6%	Зворотне повітря 43.4%

Висновки до розділу 1

У першому розділі було:

- 1) Розглянуто призначення та переваги гідравлічних систем, що входять до суднової СЕУ;
- 2) Визначено, в яких кліматичних поясах ходить судно та розглянуто за міжнародною документацією вимоги, за якими повинна розроблятися система опалювання, вентиляції і кондиціювання.

2 ВЛАСТИВОСТІ РІДИНИ У ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМАХ

2.1 Фізичні властивості рідини

Рідини, як фізичні тіла, мають менші сили міжмолекулярного зчеплення, ніж у твердих тіл, тому вони настільки рухливі, що течуть під дією сили тяжіння і не мають здатності зберігати форму, набуваючи форму посудини. Хоча рідини практично не чинять опору розриву, їх в'язкість значно обмежує відносний рух сусідніх шарів.

За механічними властивостями рідини поділяються на два класи:

- крапельні рідини - це мало стисливі рідини, що володіють фіксованим об'ємом;
- газоподібні рідини - це рідини, що добре стискаються, що займають весь наданий їм об'єм.

Краплинні рідини (паливо, масла, вода та інші) при розбризкуванні утворюють краплі, газоподібні рідини (повітря та інші гази) в звичайному стані крапель не утворюють.

Краплинні рідини мають великий опір при стисненні, і на відміну від газів, практично не змінюють при цьому свого об'єму.

Гази при стисненні здатні різко змінити свій об'єм, змінюючи при цьому свою густину. Але при слабких перепадах тиску, малих швидкостях руху, відсутності значних нагрівів - газ з достатнім ступенем наближення можна вважати нестисливою рідиною.

З цієї причини використовую слова «рідина» і «газ» як синоніми, хоча існує різниця між ними в тому, наскільки стислива та нестислива рідина.

Таким чином, газоподібні рідини під дією прикладених до них сил можуть змінювати як форму, так і об'єм, а краплинні рідини – тільки форму [8].

Густина характеризує кількість маси рідини в одиниці об'єму.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;

m – маса рідини, кг;

V – об’єм рідини, м³.

Формула (2.1) може відобразити лише середню густину, якщо рідина має не однорідну структуру.

Для знаходження густини в конкретному місці застосовуємо формулу:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \quad (2.2)$$

де Δm – нескінченно мала маса рідини;

ΔV – нескінченно малий об’єм, що прагне до нуля об’єму цієї маси рідини.

Величина зворотна густині – питомий об’єм:

$$v = \frac{V}{m} \quad (2.3)$$

де v – питомий об’єм, м³/кг.

Густина крапельних рідин залежить від температури і тиску. З ростом температури густина рідин знижується. Однак при невеликих перепадах температур величину густини в розрахунках можна приймати постійною [9].

Але ще від температури і тиску залежать такі параметри як:

- густина;
- питома вага;
- відносна питома вага;
- відносна густина.

Питома вага – вага одиниці об’єма рідини:

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (2.4)$$

де γ – питома вага, Н/м³;

P – вага, Н.

Так як вага тіла, що перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, збігається з силою тяжіння:

$$P = mg \quad (2.5)$$

де g – швидкість вільного падіння, м/с².

Тому питома вага може бути виражена через густину речовини через

формули (2.1) і (2.5) як:

$$\gamma = \rho g \quad (2.6)$$

Відносна густина - це відношення густини рідини до густини води.

$$\sigma = \frac{\rho_{\text{рідина}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (2.7)$$

де $\rho_{\text{рідина}}$ – густина відомої рідини;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – густина води.

Відносна питома вага - це відношення питомої ваги рідини до питомої ваги води.

$$\sigma = \frac{\gamma_{\text{рідина}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (2.8)$$

де σ – безрозмірна величина;

$\gamma_{\text{рідина}}$ – питома вага відомої рідини;

$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$ – питома вага води.

Текучість рідини – здатність рідини деформуватися під впливом малих дотичних сил. Рідини та гази, маючи загальну властивість текучості, відрізняються стисливістю (пружністю).

Стисливість (пружність) - це здатність зменшувати свій об'єм під впливом тиску і відновлювати свій об'єм при припиненні впливу. Хоча для більшості завдань стисливість рідини не є важливою, для деяких завдань необхідно враховувати зміну об'єму рідини.

Коефіцієнт об'ємного стиснення рідини або модуль об'ємної пружності показує її стисливість.

Коефіцієнт об'ємного стиснення β_V - це відносне зменшення об'єму зі збільшенням зовнішнього тиску на 1 атмосферу:

$$\beta_V = - \frac{\Delta V}{V_0 \Delta P} \quad (2.9)$$

де β_V – коефіцієнт об'ємного стиснення, Па^{-1} ;

ΔV – зміна об'єму рідини під впливом тиску, м^3 ;

ΔP – зміна тиску в рідині, Па ;

V_0 – початковий об'єм рідини до стиснення, м³.

Знак «-» стоїть, бо позитивному збільшенню тиску відповідає зменшення об'єму.

Величина зворотна коефіцієнту об'ємного стиснення – це модуль об'ємної пружності:

$$E = \frac{1}{\beta_V} \quad (2.10)$$

де E – модуль об'ємної пружності, Па.

Чим більше модуль об'ємної пружності E , тим менш стислива рідина.

Але згадаємо те, що стисливість рідини не потребує особливої уваги для розгляду у задачах. Треба звернути увагу на те, що використання стислості рідини у особливих випадках. Наприклад, гідравлічний удар.

$$E = \rho a^2 \quad (2.11)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;

a – швидкість звуку у середовищі, м/с.

Таким чином, чим більше модуль пружності E , тим більше швидкість. Для повітря - $a = 340$ м/с, для води – $a = 1400$ м/с.

Термін «температурне розширення» стосується властивості рідини змінювати об'єм під час зміни температури. Коефіцієнт температурного розширення, який показує відносне збільшення або зменшення обсягу рідини в результаті зміни її температури, є ознакою цієї властивості рідини.

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \quad (2.12)$$

де β_t – коефіцієнт температурного розширення, °C⁻¹;

ΔV – зміна об'єму рідини під температури, м³;

Δt – зміна температури в рідині, Па;

V_0 – початковий об'єм рідини до впливу температури, м³.

Коефіцієнт температурного розширення, показує відносне збільшення обсягу рідини при збільшенні температури на 1 градус. β_t – для рідин мізерно малий і в практичних розрахунках не враховується.

Рух рідин і газів під впливом зовнішніх сил супроводжується

деформацією – тобто зсувом або ковзанням одного шару рідини відносної іншого. При цьому між шарами виникають сили внутрішнього тертя. Тертя призводить до втрат енергії потоком рідини. Причиною тертя є в'язкість рідини.

В'язкість - це здатність рідини чинити опір деформації зсуву. Якщо рідина тече вздовж плоскої стінки паралельними шарами. Через гальмуючий вплив стінки шари рідини будуть рухатися з різними швидкостями. Частинки рідини, що знаходяться поблизу твердої поверхні, «прилипають» до неї, тому швидкість шару рідини біля стінки труби буде близька до 0. У міру віддалення від твердої поверхні швидкість руху рідини збільшується.

Залежність сил внутрішнього тертя, що виникають при ковзанні шарів, запропонована Ньютоном [9], має вигляд:

$$T = \pm \mu S \frac{dU}{dn} \quad (2.13)$$

де T – сила тертя, Н;

μ – коефіцієнт динамічної (абсолютної) в'язкості - характеризує опірність рідини зсуву, сПа;

S – площа поверхні контакту дотичних шарів рідини, м²;

dU – різниця швидкості двох дотичних шарів при тому, що шари нескінченно тонкі, м/с;

dn – відстань між осями шарів, м;

dU/dn – градієнт швидкості рідини в напрямку нормалі до напрямку руху, 1/с.

На межі поділу між шарами виникає сила тертя T , яка характеризується величиною дотичної напруженості.

Дотична напруга або напруга тертя - це сила тертя, що припадає на одиницю площі взаємодії шарів рідини:

$$\tau = \frac{dT}{dS} \quad (2.14)$$

де τ – дотична напруга, Па.

Напруга тертя в рідині, коли шари знаходяться нескінченно близько

один до одного, якщо дотична напруга τ пропорційна деформації зсуву (градієнту швидкості), тому:

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{dU}{dn} \quad (2.15)$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості має не звичайну особливість у вигляді його розмірності в якій немає одиниць сили або маси.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.16)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, Ст.

$$[\nu] = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = \text{Ст} - \text{Стокс} \quad (2.17)$$

2.2 Методи опису гідравлічних систем

Для того щоб дослідити рух рідин у класичній формі використовують класичні методи опису гідравлічних систем – це метод Ейлера та метод Лагранджа. Розглянемо їх поодиноці.

Метод Ейлера – рух рідини досліджується шляхом опису руху в окремих (фіксованих) точках непорушного простору. Тобто, об'єктом дослідження не сама рідина, а простір який заповнений рухомою рідиною при тому, що досліджуються зміни різних елементів руху с плином часу у кожній фіксованій точці та їх зміни у просторі.

Рух рідини характеризується в окремих точках простору гідродинамічним тиском P і її швидкістю проекціями на осі $U(U_x, U_y, U_z)$ у конкретній точці.

$$\begin{cases} P = f_1(t, x, y, z) \\ U_x = f_2(t, x, y, z) \\ U_y = f_3(t, x, y, z) \\ U_z = f_4(t, x, y, z) \end{cases} \quad (2.18)$$

Завдяки залежності гідродинамічного тиску та швидкості від часу та координати можна створити зображення руху рідини в будь-який момент часу, що дозволяє досліджувати рух рідини.

Метод Лагранджа – дослідження проводиться окремих часток рідини,

які розглядаються як окремі матеріальні точки. У початковий момент часу обирається частка рідини с координатами a, b, c . Формула (2.19) показує координати частки рідини в конкретний момент часу.

$$\begin{cases} x = f_1(t, a, b, c) \\ y = f_2(t, a, b, c) \\ z = f_3(t, a, b, c) \end{cases} \quad (2.19)$$

Тоді за формулою (2.19) отримаємо швидкість (проекція) руху частинки рідини в момент часу t :

$$\begin{cases} U_x = \frac{dx}{dt} = \frac{df_1(t,a,b,c)}{dt} \\ U_y = \frac{dy}{dt} = \frac{df_2(t,a,b,c)}{dt} \\ U_z = \frac{dz}{dt} = \frac{df_3(t,a,b,c)}{dt} \end{cases} \quad (2.20)$$

Метод не здобув популярності у застосуванні у гідравліці так як відносно складний у розрахунках [11].

Можливо зробити висновок, що в методі Лагранджа x, y, z є змінними руху точки у просторі, а у методі Ейлера ці змінні характеризують точки простору, водночас повз які в певний час проходять різні точки.

Для вирішення деяких питань для спрощення розв'язку складних гідравлічних систем можуть застосовуватися аналітичні способи розв'язку, методу аналогій та графічних методів.

Аналітичний метод потребує використання тяжких методів обчислення, конформних відображень (безперервне відображення, що зберігає кути між кривими, а значить і форму нескінченно малих фігур). Оскільки аналітичні рішення інколи не можуть бути використаними із за складності систем за рахунок того що аналітичний метод не показує повне зображення системи, використовуються методи аналогій або графічно будуються гідродинамічні сітки руху рідини.

Спосіб аналогій будується на тому, що деякі фізичні явища підпорядковуються рівнянню Лапласа (2.21). Оскільки дослідження зміни потенціалу однорідного електричного поля зробити набагато легше, чим знайти потенціал в точках фільтраційного потоку (рух рідини в пористому

середовищі).

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (2.21)$$

Метод ЕГДА (метод електрогідравлічних аналогій) був винайдений ученим Н.Н. Павлоським у 1918 році. Використовується для дослідження фільтраційних задач. Більш детальний опис методу згадано у розділі 3 і 4.

Метод МАГДА (метод магнітогідродинамічних аналогій) також був розроблений вченим А.Н. Патрашевим. Його сутність закладається у тому, що скалярний потенціал магнітного поля у середовищі з постійною магнітною проникністю також задовільняє рівнянню Лапласа(2.22):

$$\frac{\partial^2 \Phi_M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi_M}{\partial y^2} = 0 \quad (2.22)$$

де Φ_M – скалярний потенціал магнітного поля.

Цей підхід розглядає електромагнітні явища у термінах аналогій з гідродинамікою. Цей метод використовує аналогії між різними фізичними системами для легшого розуміння та аналізу складних електромагнітних процесів.

Однією з основних ідей магнітогідродинамічних аналогій є встановлення відповідності між різними параметрами електромагнітних полів і параметрами руху рідини. Наприклад, електричний струм може аналогічно інтерпретуватися як потік рідини, а напруженість магнітного поля - як тиск. Рідинне середовище можна розглядати як магнітну рідину, де рух рідини аналогічний руху зарядженого тіла в магнітному полі. Таким чином, вивчаючи рух тіла в рідині, можна отримати інформацію про поведінку тіла в магнітному полі.

Застосування МАГДА дозволяє інженерам ефективно проектувати та аналізувати рух космічних апаратів, зокрема враховуючи вплив магнітних полів на їхню траєкторію та стійкість. Однак важливо зауважити, що цей метод є спрощеною моделлю і може не враховувати всі нюанси реального середовища космосу [10].

Магнітогідродинамічні аналогії можуть бути корисними при

дослідженні магнітних полів в плазмі, роботі магнітних генераторів.

Цей метод застосовується в тісному зв'язку з фізикою плазми, яка вивчає стан речовини, який складається з іонів та електронів, часто взаємодіючих під впливом магнітних полів. Також - досить ефективно себе продемонстрував при дослідженні обтікання тіл і потенціального руху стискаємої рідини.

2.3 Домінуючі параметри, що впливають на потік рідини

Визначення ключових параметрів, що впливають на потік рідини, є критичним для розуміння та оптимізації гідродинамічних систем. Ось деякі з основних параметрів[12]:

- 1) швидкість руху рідини (Velocity) - це величина, яка вказує на швидкість руху частин рідини в системі;
 - величина швидкості визначає вид потоку, розподіл тиску та опір течії;
- 2) тиск рідини (Pressure) - тиск в рідині визначається силами, які діють на неї в перпендикулярному напрямку до її поверхні.
 - тиск визначає напрямок потоку рідини та може впливати на розподіл швидкості;
- 3) густина рідини (Density) - вказує на кількість маси, яка вміщається в одиницю об'єму;
 - густина впливає на інерцію рідини та взаємодію з іншими тілами в системі;
- 4) в'язкість рідини (Viscosity) - в'язкість рідини характеризує опір рідини внутрішньому зсуву;
 - в'язкість визначає опір течії та розподіл швидкостей в системі;
- 5) розмір трубопроводу або каналу (Diameter/Width) - геометричні параметри, такі як діаметр трубопроводу чи ширина каналу, впливають на розмір та форму потоку;
 - зміна геометричних параметрів впливає на опір течії та розподіл

швидкостей;

- 6) довжина трубопроводу або каналу (Length) - довжина шляху, який рідина повинна подолати;
 - збільшення довжини може призвести до збільшення загального опору течії та зменшення тиску на виході.
- 7) температура рідини (Temperature) - температура впливає на в'язкість та густину рідини;
 - зміна температури може впливати на характеристики течії та теплообмін;
- 8) висота напливу або спаду (Head or Elevation) - відстань між рівнями рідини в двох точках системи;
 - висота напливу або спаду генерує потенційну енергію, яка може перетворюватися в кінетичну енергію руху рідини.

Ці параметри є ключовими для аналізу та дизайну гідродинамічних систем, і їх взаємодія визначає різноманітні аспекти потоку рідини в трубопроводах, каналах або інших гідравлічних системах[13].

2.4 Режими руху рідини та її втрата при русі

Одна і та й сама рідина, протікаючи у трубопроводі, може мати різний характер руху – це ламінарний, перехідний та турбулентний режими.

Ламінарний режим руху рідини обумовлений тим, що рідини рухається паралельними струями чи шарами, які рухаються з різною швидкістю. У цьому режимі струї не змінюють траєкторію та не пересікаються один із одним. Частинки рідини, що знаходяться безпосередньо біля стінки труби, якби присмоктуються до стінки і не мають швидкості. Тобто:

$$V_{min} = 0 \quad (2.23)$$

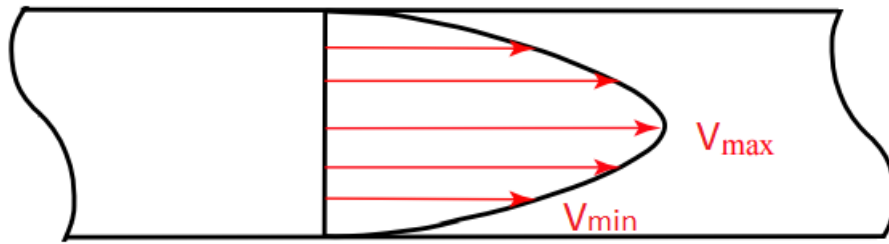


Рисунок 2.1 – Розподілення швидкості між шарами при ламінарному потоці

Із за властивості рідини, в'язкості, ці непорушні частки пригальмовують інші частки, шари рідини і виникає градієнт швидкостей.

Турбулентний режим – рух частинок рідини носить хаотичний характер. Частки змінюють свою траєкторію, пересікаються один із одним. Частинки можуть здійснювати не лише поступальний рух, а й поперечний. Цим поперечним рухом можна обґрунтувати перемішування рідини при турбулентному потоці.

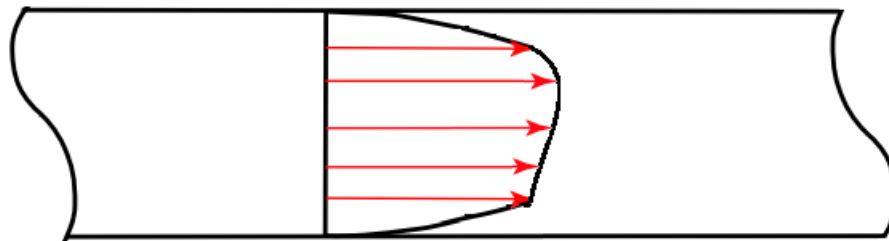


Рисунок 2.2 – Розподілення швидкості між шарами при турбулентному потоці

Іноді виділяють третій режим руху рідин - перехідний, при якому впорядкований рух часток дуже нестійкий, і при найменшій зміні умов переміщення потоку може статися перехід від ламінарного режиму до турбулентного і навпаки.

Під час руху рідини відбуваються втрати механічної енергії. Ці втрати бувають двох типів [14]:

- 1) Втрати енергії по довжині трубопровода;
 - відбуваються за рахунок сил внутрішнього тертя (в'язкості) рідини;
 - при взаємодії в'язкої рідини з шорсткими стінками труби;

- 2) Втрати енергії на місцеві опори - визначаються зміною швидкості руху потоку рідини як за величиною, так і за напрямом, залежать від конфігурації елемента.

$$h_{\omega} = h_{\text{дов}} + h_{\text{м}} \quad (2.24)$$

де h_{ω} – загальні втрати напору;

$h_{\text{дов}}$ – втрати напору по довжині;

$h_{\text{м}}$ – втрати напору на місцеві опори.

Втрати напору по довжині пов'язані з подоланням опорів, що виникають через тертя при течії рідини за прямими ділянками трубопроводів.

Для розрахунку втрат напору по довжині трубопроводу користуються залежністю Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\text{дов}} = \lambda \frac{lV^2}{2gd} \quad (2.25)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного (рідинного) тертя, коефіцієнт Дарсі;

l – довжина прямої ділянки трубопроводу, м;

V – середня швидкість у трубопроводі, м/с;

d – діаметр трубопроводу, м.

Коефіцієнт гідравлічного тертя в умовах ламінарного режиму залежить тільки від значення числа Рейнольдса і розраховується:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.26)$$

де Re – коефіцієнт пропорційності Рейнольдса.

Для зони турбулентного режиму, де спостерігається гідравлічно гладка труба, визначення коефіцієнта гідравлічного тертя ведуть за формулою Блаузіуса (2.27). Режим гідравлічно гладких труб спостерігається до значення $Re \approx 100000$.

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (2.27)$$

В області переходу від гідравлічно гладких до гідравлічно шорстких труб, коефіцієнт гідравлічного тертя починає залежати не тільки від Re , але і

від висоти виступів шорсткості. Для цієї області існує залежність Альтшуля;

$$\lambda = 0.11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right) * 0.25 \quad (2.28)$$

де $\bar{\Delta}$ – відносна висота виступів шорсткості матеріалу труби.

Відносну висоту можна розрахувати:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d} \quad (2.29)$$

де Δ - висота виступів матеріалу труби.

Коефіцієнт Дарсі розраховується:

$$\lambda = f(Re) \quad (2.30)$$

де Re – коефіцієнт пропорційності Рейнольдса.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (2.31)$$

де Re – коефіцієнт пропорційності Рейнольдса, безрозмірна величина $\text{м}^2/\text{с}$;

V – швидкість рідини, $\text{м}/\text{с}$;

d – діаметр труби, м ;

ν – в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$.

Чисельник показує сили інерції, знаменник – сили тертя/в'язкості.

Місцеві втрати напору при турбулентному режимі руху визначаються за формулою Вейсбаха [15]:

$$h_m = \xi \frac{V^2}{2g} \quad (2.32)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору, який визначається дослідним шляхом.

У разі декількох місцевих опорів, загальна витрата буде сумою всіх втрат напору:

$$h_m = \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{V_i^2}{2g} \quad (2.33)$$

Висновки до розділу 2

У другому розділі було:

- 1) Визначено, якими методами можливо описати рух рідини в гідравлічній системі. Метод електрогідравлічних аналогій вибраний за рахунок простоти аналогії з електричними параметрами;
- 2) Визначено призначення режиму руху рідини і його вплив на потік рідини.

3 МЕТОД ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ

3.1 Опис методу електрогідравлічних аналогій

Електрогідравлічна аналогія — це концептуальна основа, яка проводить геніальну паралель між поведінкою електричних систем і більш відчутним світом динаміки рідин та газів. Вона надає засоби перекладу абстрактних електричних концепцій у звичні гідравлічні еквіваленти, роблячи світ електротехніки більш доступним та інтуїтивно зрозумілим.

Електрогідравлічна аналогія дозволяє відобразити електричні елементи, такі як напруга, струм, резистори, конденсатори, котушки індуктивності та перемикачі, на їхні гідравлічні аналоги — тиск, швидкість потоку, звуження, акумулятори, інерцію та клапани. Завдяки цій відповідності аналогія не тільки спрощує розуміння електричних систем, але й полегшує їх проектування, аналіз та усунення несправностей. Вона утворює міст, який перетинає розрив між абстрактним і конкретним, пропонуючи відчутний спосіб концептуалізації та роботи з електричними схемами. Але застосування можливе і у зворотному напрямку, щоб зрозуміти гідравлічні концепції відповідно до електричних.

3.2 Аналогія між електричними та гідродинамічними компонентами

Перенесення теорії електричних ланцюгів у гідравліку є основою для використання електрогідравлічної аналогії. При цьому основні електричні рівняння переходять у відповідні гідравлічні співвідношення, які завжди виконуються і на підставі яких можна складати гідравлічні схеми і аналізувати їх тими ж добре розвиненими методами, що і електричні ланцюги.

Найбільшого поширення набули аналогії: тиск P і напруга U , об'ємна витрата Q і струм I . Однак у цьому питанні відсутня єдина думка. Деякі автори трактують як аналогію масовий витрата G і струм I , силу F і напруга U [16].

Завдяки Р.О. ді Бартіні, який зміг зв'язати фізичні величини, можливо виразити фізичні величини за допомогою довжини L та часу T (табл. 3.1).

Основною особливістю цієї системи є те, що розмірність заряду (гравітаційного, електричного і навіть магнітного) однакова. Класична кінематична таблиця ді Бартіні має розмірності від L^{-3} до L^6 та від T^{-6} до T^3 . Робочий простір таблиці складається з 58 комірок, для кожної з яких підібрані існуючі фізичні величини, а також введені нові, фізична суть яких не пояснена (наприклад поверхня часу, об'єм часу, поверхнева потужність). У багатьох комірках знаходяться похідні від величин.

Зв'язок між одиницями системи СІ та кінематичною системою визначається за значеннями фізичних констант (гравітаційної, електричної, магнітної, Больцмана та ін.). Для механічних та електромагнітних величин розмірність маси, електричного заряду та їх похідних у системі L - T на основі гравітаційного рівняння та теореми Остроградського-Гауса [17].

Таблиця 3.1 – Система фізичних величин у розмірності відстань - час (таблиця ді Бартіні)

$\begin{matrix} T \\ L \end{matrix}$	L^{-2}	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-5}								Потужність
T^{-4}					Тиск		Сила	Енергія, теплота, робота
T^{-3}		Гідроопір об'ємній витраті		Густина струму	Напруже- ність магнітного поля	Масова витрата Сила струму	Імпульс	

Продовження таблиці 3.1

T ⁻²			Густина	Прискорення	Напруга	Маса	Магнітний момент	
			Густина електричного заряду	Напруженість електричного кола	Питома енергія gH	Електричний заряд		
					Магнітно рушійна сила			
T ⁻¹			Частота	Швидкість	Магнітний потік	Об’ємна витрата		
			Магнітна індукція					
T ⁰			Безрозмірні величини	Довжина	Площа поверхні	Об’єм простору		
				Електрична ємність				
				Напір				
T ¹		Електричний опір	Час					
		Гідроопір масовій витраті						
T ²	Магніт на проник-ність	Індуктивність						

Фактично кінематична система Р. ді Бартіні дотепер і не завершена. В ній не подано ряд широкоживаних у теорії та практиці наук про Землю фізичних величин.

За таблицею Р.О. ді Бартіні різні фізичні зв'язані величини, які знаходяться у одній комірці, мають однакову розмірність: довжина – електрична ємність – напір, швидкість - електропровідність і тощо.

Виділимо комірки, які мають однакову розмірність пов'язані з електричним струмом. Тобто, струм, напруга і опір.

Сила струму I і масова витрата G :

$$I = G = L^3 T^{-3} \quad (2.1)$$

де I – сила струму, А;

G – масова витрата, кг/с.

Напруга U та потенціальна енергія води gH :

$$U = gH = L^2 T^{-2} \quad (2.2)$$

де U – напруга, В;

g – швидкість вільного падіння м/с²;

H – напір, м.

Електричний опір R_e та гідроопір до масової витрати R_r :

$$R_e = R_r = L^{-1} T^1 \quad (2.3)$$

де R_e – електричний опір, Ом;

R_r – гідравлічний опір масової витрати, м²/скг

Величина, відома як опір або імпеданс, показує повну опір проходженню електричного струму, руху тіл тощо. Це порівняння «силового» фактора (електрична напруга, сила, тиск) з «швидкісним» фактором (електричний струм, швидкість, об'ємна або масова витрати) [16].

Запишемо закон Ома:

$$I = \frac{U}{R_e} \quad (2.4)$$

За аналогією отримуємо нову формулу:

$$G = \frac{gH}{R_r} \Rightarrow R_r = \frac{gH}{G} \quad (2.5)$$

Але, як згадано у розділі 3.1, у гідравліці знайшли застосування Q об'ємна витрата і тиск P , які застосовуються аналогами струму I і напруги U відповідно, які мають відповідні залежності з масовою витратою G та потенціальною енергією води gH .

За формулою (2.6) переведу із масової витрати до об'ємної витрати знаходимо Q :

$$G = \rho Q \Rightarrow Q = \frac{G}{\rho} \quad (2.6)$$

де ρ – густина речовини, кг/м³;

Q – об'ємна витрата, м³/с.

$$P = \rho g H \quad (2.7)$$

де P – тиск, Па.

Перейшовши до нових аналогів, гідравлічний опір об'ємної витрати буде складатися як:

$$R = \frac{P}{Q} = \frac{\frac{\rho g h}{\frac{G}{\rho}}}{\frac{G}{\rho}} = \rho^2 * \frac{g H}{G} = \rho^2 R_{\Gamma} \quad (2.8)$$

де R – гідравлічний опір об'ємної витрати, $\text{кг/м}^4\text{с}$.

Крім того, очевидно, що в класичній теорії турбулентних режимів гідравлічних мереж ідея гідравлічного опору, аналога R , який визначається законом Ома, не була широко використана. Натомість використовується безрозмірний гідравлічний коефіцієнт тертя λ , який також називають коефіцієнтом Дарсі. Число Рейнольдса, режим руху рідини та шорсткість поверхні проточної частини визначають коефіцієнт тертя [16].

За результатами дослідження складено остаточну таблицю 3.2, у котрій систематизовано всі знайдені електричні аналогії відповідно до гідравлічних аналогів.

Таблиця 3.2 – Електричні та гідравлічні аналогії

Система	Фізичні величини	
Електрична	Напруга U , В	Струм I , А
Гідравлічна	Тиск P , Па	Витрата Q , $\text{м}^3/\text{с}$

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було:

- 1) Описано електричні та гідродинамічні аналоги, їх взаємопов'язані величини.
- 2) Розглянуто концептуальна основу методу електрогідравлічної аналогії, його особливості і способи застосування.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ, КОНДИЦІОНУВАННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ

4.1 Опис системи в режимі роботи охолодження

Система ОВіК була розроблена спеціально для кондиціонування повітря суден і тому надається велике значення досягнення максимальної надійності. Також щоденна робота у керуванні та спостереженні за різними функціями блоку обробки повітря скорочена до мінімуму за рахунок автоматичних елементів керування.

При зовнішній температурі близько 18-20°C або для деяких суден навіть нижче, необхідно запустити установку обробки повітря у охолоджуючий режим[7].

Система регулювання охолоджувальної установки автоматично адаптує потужність установки до охолоджувального навантаження в будь-який конкретний момент. Температура в приміщенні регулюється шляхом регулювання кількості припливного повітря, за винятком установок TWIN-PIPE, де варіюється відносна пропорція попередньо охолодженого та повністю охолодженого повітря. Таким чином, регулювання кімнатної температури повністю покладено на мешканців кімнати.

Блок обробки повітря працює за рахунок холодоагенту/фреону у системі R-404A. Щоб уникнути втрати фреону в періоди, коли охолоджуюча установка не працює, весь заряд фреону слід закачати в ресивер перед вимкненням охолоджувальної установки.

Регулювання потужності компресора регулюється тиском всмоктування. Регулятори тиску типу OT-1 (WIKAI) у всмоктувальній лінії контролюють зачеплення та розчеплення циліндрів компресора за допомогою триходових електромагнітних клапанів.

Горизонтальний кожухотрубний конденсатор конденсує стиснений

холодоагент за допомогою охолодженої води. Об'єм між трубками теплообмінника всмоктувального газу та трубками конденсатора працює як ресивер.

Один електромагнітний клапан розміщений у рідинній лінії перед повітроохолоджувачем, а датчик температури розміщений у подачі свіжого повітря. Коли датчик температури досягне заданого значення, електромагнітні клапани перекриють подачу рідини в повітроохолоджувач, а регулятор низького тиску зупинить компресор.

На рисунку 4.1 зображено гідравлічну схему системи опалювання, вентиляції і кондиціонування. Система складається з: компресорів; рідинних сепараторів; масляних сепараторів; конденсаторів; фільтрів; осушувачів; соленоїдних клапанів; камери розширення холодоагенту клапанів; трубопроводу.

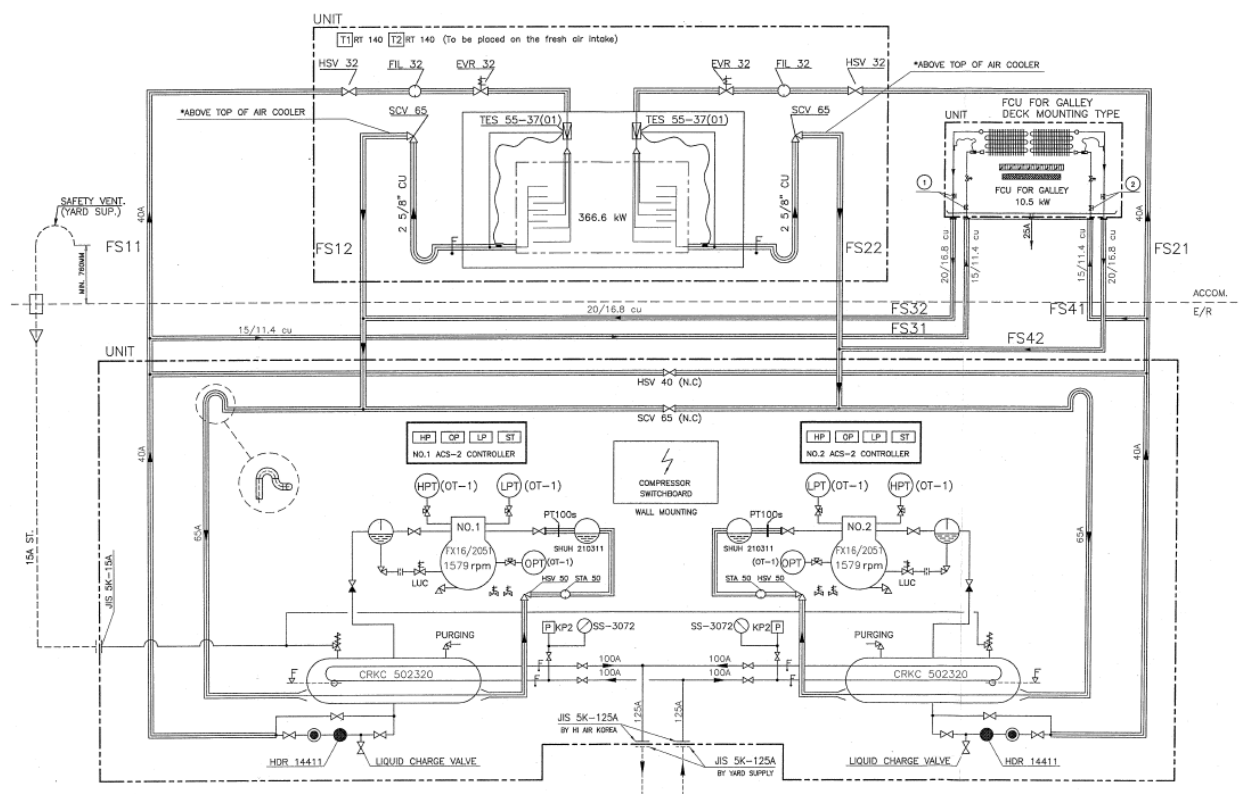


Рисунок 4.1 – Трубопровідна мережа хладогенту суднової системи ОВіК

Завдяки цій системі, можливе контролювання температури у теплі пори року.

4.2 Модель електричного аналогу системи опалення, вентиляції і кондиціонування

Для побудування електричного аналогу треба врахувати, те що система є замкнутою та симетричною. Тому нова схема із спрощеннями буде виглядати рис 4.2.

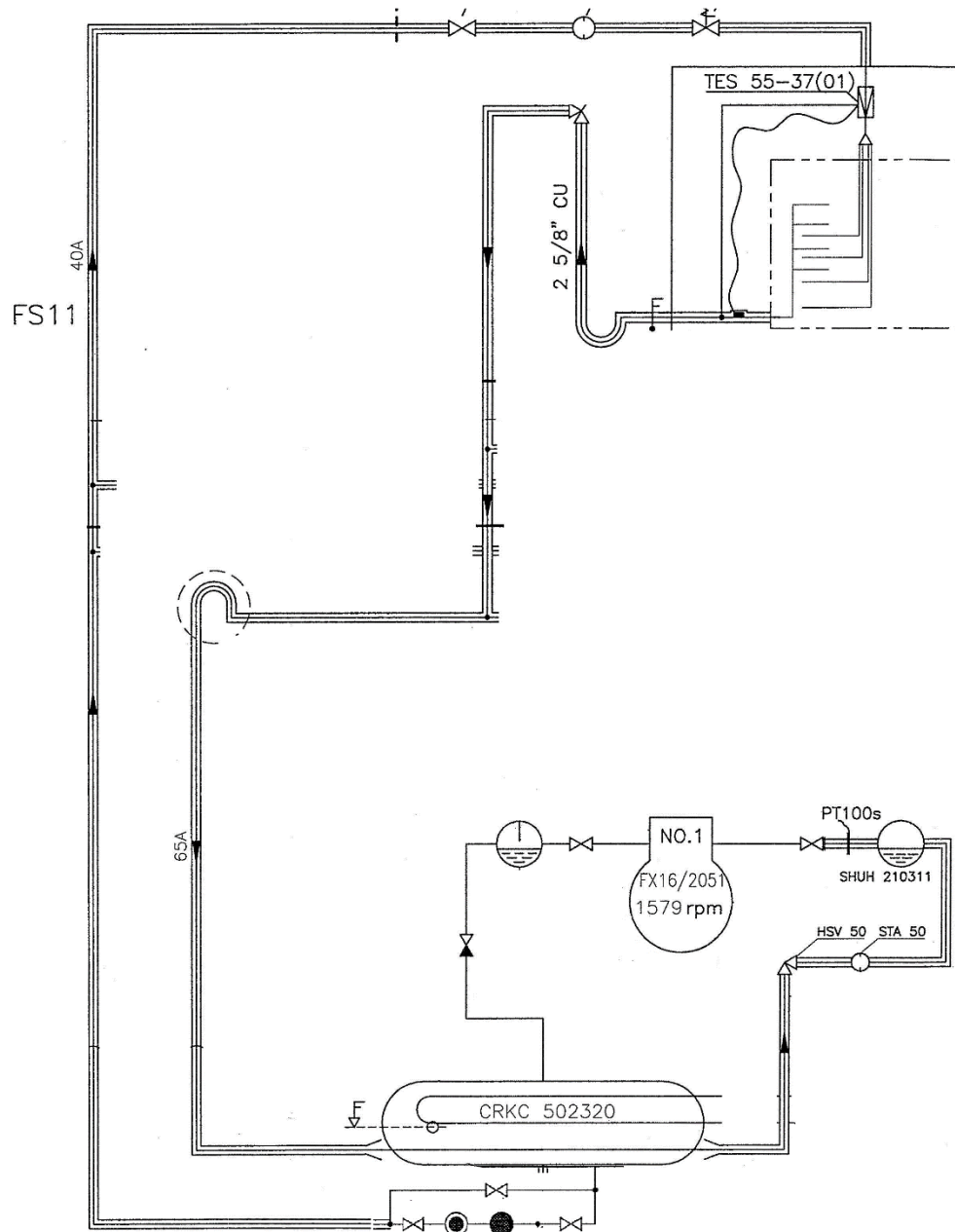


Рисунок 4.2 – Трубопровідна мережа хладагенту після спрощення

Побудування електричного аналогу заміщення гідравлічної системи зробимо за допомогою програмного забезпечення Electronics Workbench.

За електрогідравлічною аналогією напруга є тиском, а компресор видає постійний тиск, тому робимо заміну на батарею зробивши заміщення елементів рис. 4.2.

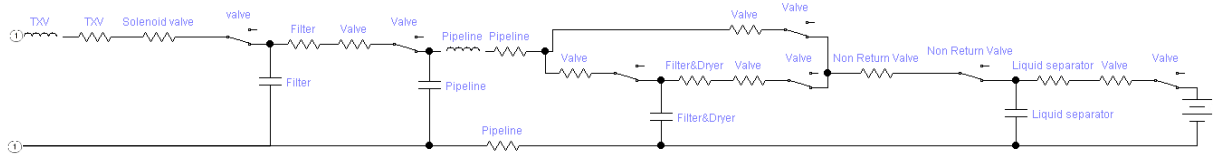


Рисунок 4.3 – Електрична схема заміщення гідравлічної системи

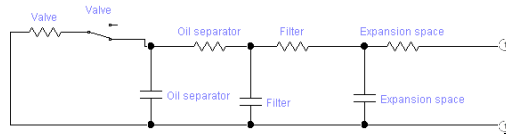


Рисунок 4.4 – Продовження рисунку 4.3 електрична схема заміщення гідравлічної системи

Нажаль програмне забезпечення Electronics Workbench не може змоделювати перехідних процесів. Тому відповідно до підрозділу 4.3 і 4.4 описано гідравлічну систему за допомогою сучасних середовищ моделювання.

4.3 Розробка моделі суднової системи опалення, вентиляції і кондиціонування у сучасному програмному середовищі

①

Відповідно до розділу 3 метод електрогідравлічної аналогії (ЕГДА) спирається на подібність математичного опису процесів в мережах розподілу робочого тіла відповідним процесам в електричних мережах та використовує відповідні розділи теорії електромагнітного поля (ТЕМП), теоретичних основ електротехніки (ТОЕ), та, в більшості випадків, теорії електричних ланцюгів (ТЕЛ). Така подібність спирається на подібність формулювань відповідних законів збереження та рівноваги з певними суттєвими обмеженнями.

Сутність методу ЕГДА становить подібність рівнянь збереження та рівноваги у розподіленій гідравлічній мережі у вигляді

$$\begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{2a}{S} Q + \frac{\rho_0}{S} \frac{\partial Q}{\partial t}, \\ -\frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{S}{\rho_0 c^2} \frac{\partial P}{\partial x}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

де P – тиск рідини;

Q – витрата рідини;

S – площа поперечного перерізу мережі;

ρ_0 – щільність рідини;

c – швидкість звуку в рідині;

a – коефіцієнт в'язкого тертя, що визначається втратами кінетичної енергії в мережі;

x – відстань від початку мережі, та відповідними диференціальними рівняннями в часткових похідних для лінії електропередачі з розподіленими параметрами без врахування втрат:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial U}{\partial x} &= RI + L \frac{\partial I}{\partial t}, \\ -\frac{\partial I}{\partial x} &= C \frac{\partial U}{\partial x}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

де U, I – напруга та струм на відстані x від початку лінії;

R, L, C – активний опір, індуктивність та ємність, віднесені до одиниці довжини лінії.

Вказаним диференціальним рівнянням у часткових похідних відповідає «довга лінія», а вирішення таких рівнянь потребує не тільки початкових, а також крайових умов згідно ТЕМП. Вказана математична модель застосовується при деяких умовах, що відповідають співвідношенням розповсюдження збудження. Вважається, що для наближених розрахунків, якщо швидкість потоку робочого тілу несутимна із швидкістю розповсюдження збудження, то окремі елементи мережі можуть вважатися зосередженими у просторі (більш коректним є розгляд хвильового числа, і якщо таке число багато менше одиниці, то може прийматися гіпотеза

зосередженості у просторі). Тому може бути застосований наближено еквівалентний опис у вигляді ТЕЛ, який оперує законами Кіргхофа та аналогіями згідно рис. 4.5. Слід зауважити, що в ТЕЛ використовуються виключно напруги та струми у вигляді змінних, та резистори, котушки індуктивності і конденсатори як ідеалізовані елементи ТЕЛ, які володіють виключно певними властивостями, а саме, перетворення електромагнітної енергії в тепло, в енергію магнітного поля, та в енергію електростатичного поля. Не завжди відповідні аналоги володіють такими властивостями і потрібно застосовувати деякі еквівалентні схеми заміщення[24 - 26].

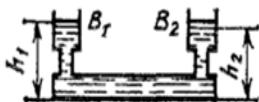
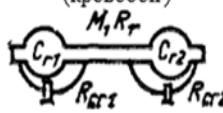
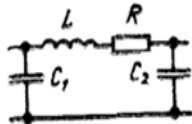
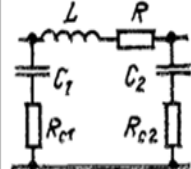
Гідродинамічні системи			Електричні аналоги	
Потік рідини, що не стискається, під напором 	Потік рідини (газу), що стискається під час відхилення від усталеного стану (акустичні аналогії) 	Потік рідини, що не стискається в пружнов'язких трубопроводах (кровообіг) 	Для гідродинамічних систем 1 та 2 	Для гідродинамічних систем 3 
П'єзометричний напір h	Тиск P		Напруга u	
Об'єм рідини V			Заряд q	
Витрата $Q = dV/dt$			Струм $i = dq/dt$	
Дзеркало резервуару $B = V/h$	Гідравлічна ємність $C_z = V/P$		Ємність $C = q/u$	
Інерційність $M = P/(dQ/dt)$			Індуктивність $L = u/(di/dt)$	
Гідравлічний опір R_z : при фільтраційному та ламінарному потоці $R_z = P/Q = const$; при турбулентному потоці $R_z = k Q ^{n-1}$, де $n \approx 2$ (для води)			Опір $R = u/i$	
Час t			Час t	

Рисунок 4.5 – Відповідність змінних та елементів мережі

Ще одним важливим чинником, який впливає на адекватність результатів моделювання, є характер потоку робочого тілу. Зазвичай такий характер потоку розподіляють на ламінарний, хвильовий та турбулентний за значенням параметру Рейнольдса. Далі вважається, що характер потоку в мережі наближений до ламінарного за співвідношеннями його швидкості, вязкості та характерних діаметрів див 2.4. Зазвичай місцеві турбулентності враховуються емпіричними коефіцієнтами додаткового опору.

Таким чином далі вважається, що виконуються наступне припущення, що є

в поточний час загальноприйнятими, а саме: мережа може бути представлена зосередженими у просторі елементами, які виключно характеризується інструментарієм ТЕЛ [27-30].

Вихідна узагальнена схема мережі, що використовується при моделюванні усталених та динамічних перехідних режимів, представлена на рис. 4.6 [18-22]. Деталізація вказаної схеми виконується на основі функціональної схеми мережі за необхідністю. Мережа містить послідовно з'єднані джерело енергії у вигляді, як правило, джерела постійного тиску, систему трубопроводів, низку споживачів різного характеру, комутаційну арматуру, що призначена для виконання експлуатаційних програм та забезпечує споживачів, а також засоби контролю, індикації та реєстрації, виконані в передових рішеннях у вигляді SCADA – системи із візуально-орієнтованим інтерфейсом[19,23].

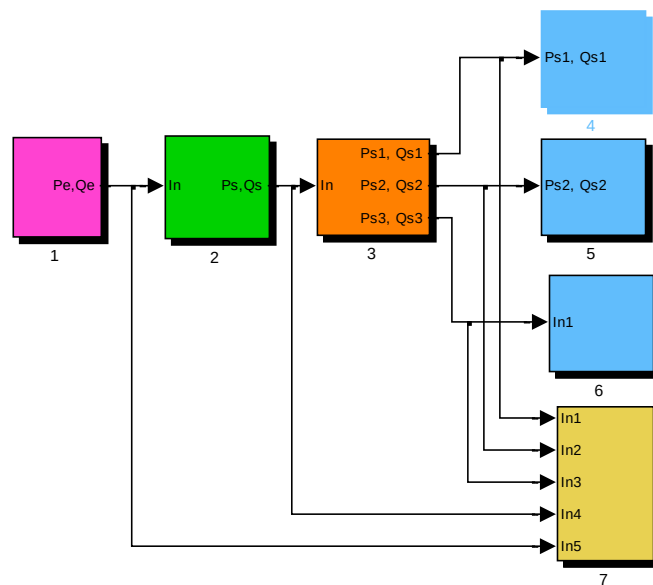


Рисунок 4.6 – Узагальнена схема мережі:

1 – джерело енергії; 2 – модель трубопроводів; 3 – модель комутаційної арматури; 4 ...6 – моделі споживачів; 7 – засоби контролю, індикації та реєстрації

Узагальнена схема мережі, що використовується при моделюванні процесів регулювання, представлена на рис. 4.7 [20 - 25]. Схему містить

додатково блок регуляторів режимів роботи джерела енергії шляхом зміни його продуктивності. При зміні навантаження шляхом підключення або відключення споживачів та зміни режимів їх роботи блок регуляторів забезпечує підтримку тиску у визначеному розміщенням відповідних датчиків тиску місці мережі.

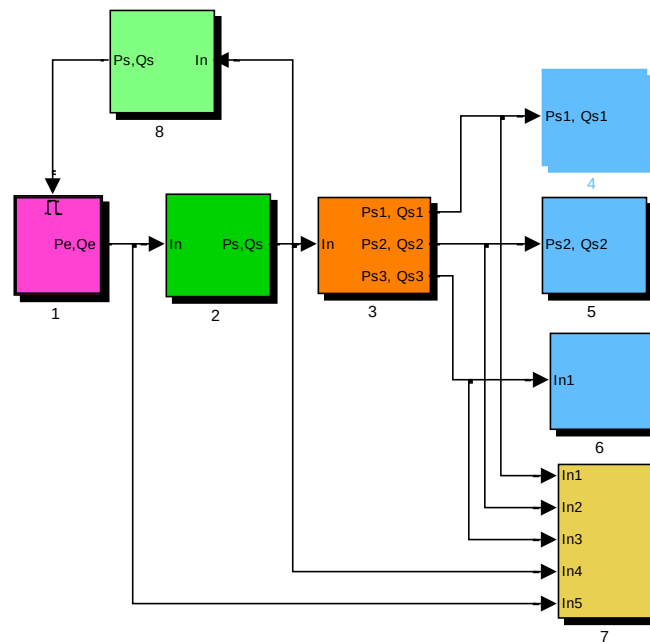


Рисунок 4.7 – Узагальнена схема мережі з регулятором режимів:

8 – блок регуляторів

4.4 Опис елементів мережі згідно методу електрогідравлічної аналогії.

4.4.1 Модель джерела енергії мережі постійного тиску

Наближена модель джерела енергії мережі постійного тиску зображена на рис. 4.8.

Джерела енергії мережі загалом складають складні електромеханічні системи з дискретним або безперервним регулюванням продуктивності. Їх розгляд є окремим прикладним завданням. Далі вважається, що їх статичні та

динамічні характеристик відповідають застосуванню, а характерний час процесів їх регулювання є несумірно малим за співставленням із характерним часом динамічних процесів у мережі. Тому пропонується модель ЕГА джерела постійної, але регульованої напруги (тиску) у вигляді, що зображено на рис.4.8.

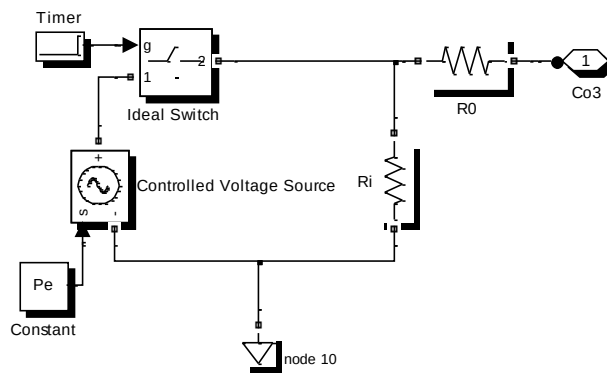


Рисунок 4.8 – Модель джерела енергії мережі постійного тиску

Модель містить джерело постійної регульованої напруги за уставкою номінального тиску P_n , блоки таймеру та арматури включення або відключення, а також еквівалентні опори, що відповідають внутрішнім втратам R_0 та можливим втратам R_i за рахунок недоліків герметизації. Слід вважати, що при проектуванні та виготовленні забезпечені вимоги щодо малих втрат та малої провідності ізоляції щоб забезпечити високе значення коефіцієнта корисної дії. Загальні втрати не повинні перевищувати 10 відсотків в будь-якому разі.

З іншої сторони, модель дозволяє врахувати можливу деградацію обладнання в процесі довготривалої експлуатації.

4.4.2 Модель секції трубопроводу мережі

Наближена модель секції трубопроводу мережі відповідно таблиці на рис. 4.5 зображена на рис. 4.9.

Далі вважається, що може бути прийнятою гіпотеза щодо зосередженості параметрів трубопроводів мережі, тому може бути прийнятою еквівалентна схема довгої лінії у вигляді що представлено на рис. 5.

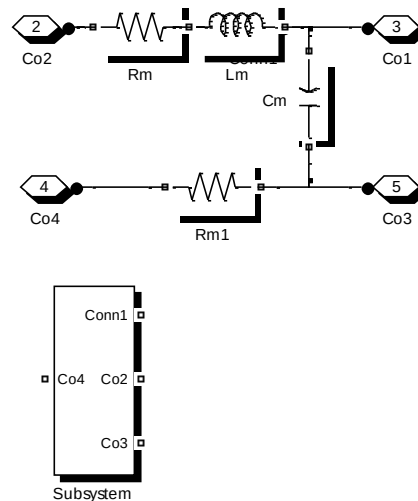


Рисунок 4.9 – Модель секції трубопроводу мережі

Модель містить R, L, C ланцюг, що включає постійні опори R_m, R_{m1} відповідно втратам в мережі, а також реактивні елементи L_m та C_m відповідно інерційним та ємнісним властивостям мережі. При наявності вихідних даних, значення параметрів вказаних елементів обчислюються за вказаними вище формулами подібності. За відсутності таких даних, слід вважати, що при кваліфікованому проектування мережі втрати не повинні перевищувати декілька відсотків. Що до реактивних елементів слід керуватися співвідношенням

$$\sqrt{\frac{L_m}{C_m}} \leq R_m + R_{m1}. \quad (4.3)$$

Наведене співвідношення вочевидь унеможлиблює існування недопустимих коливальних явищ в мережі.

4.4.3 Модель першого споживача мережі

Наближена модель першого споживача мережі відповідно таблиці на рис. 4.5 зображена на рис. 4.10. В якості першого споживача мережі обрано такий споживач, реактивний опір якого має переважно ємнісний характер, тобто є ланцюгом типу R, C .

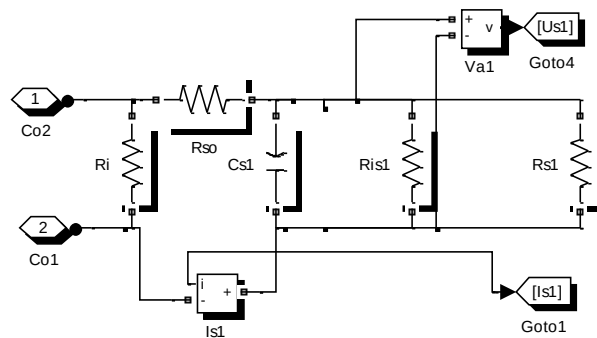


Рисунок 4.10 – Модель першого споживача мережі

Модель містить R, C ланцюг, що включає постійні опори R_{s0}, R_i відповідно втратам в мережі під'єднання до арматури комутації, постійні опори R_{s1}, R_{is1} відповідно втратам в першому споживачі, а також реактивний елемент C_{s1} відповідно ємнісним властивостям першого споживача. Додатково модель містить вимірювальні пристрої (датчики) напруги та струму U_{s1}, I_{s1} , які відповідають тиску та витратам P_{s1}, Q_{s1} .

4.4.4 Модель другого споживача мережі

Наближена модель другого споживача мережі відповідно таблиці на рис. 4.5 зображена на рис. 4.11. В якості другого споживача мережі обрано такий споживач, опір якого має комбінований активно-реактивний характер,

тобто є ланцюгом типу R, L, C .

Вважається, що індуктивний опір є переважним, для порівняння з першим прикладом.

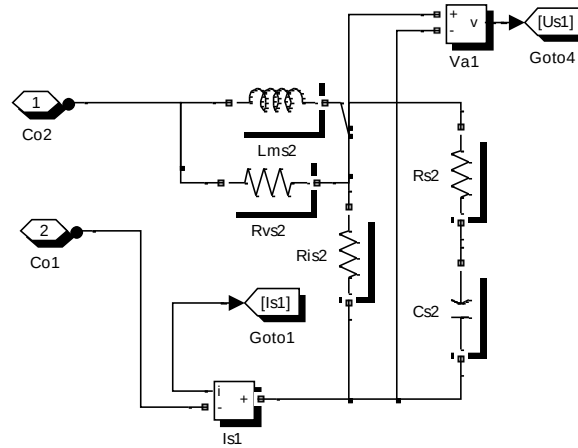


Рисунок 4.11 – Модель другого споживача мережі.

Модель містить R, L, C ланцюг, що включає постійні опори R_{vs2}, R_{s2}, R_{is2} відповідно втратам в другому споживачі, а також реактивні елементи L_{ms2}, C_{s2} відповідно властивостям другого споживача. Додатково модель містить вимірювальні пристрої (датчики) напруги та струму U_{s2}, I_{s2} , які відповідають тиску та витратам P_{s2}, Q_{s2} .

4.4.5 Модель регулятора тиску в мережі

Наближена модель регулятора тиску в мережі зображена на рис. 4.12. В якості регулятора тиску в мережі обрано класичний пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор, який призначений для підтримання номінального значення тиску при зміні навантаження.

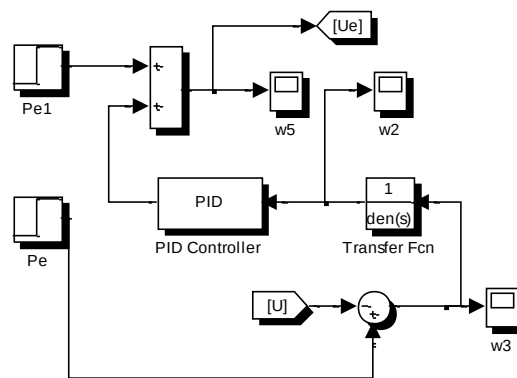


Рисунок 4.12 – Модель регулятора тиску в мережі

Модель містить схему визначення похибки регулювання, ПД – регулятор, блок фільтрації високочастотних компонент та блоки індикації динамічних процесів регулювання.

4.5 Загальна тестова програма моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску

Загальна тестова візуально-орієнтовна програма моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску зображена на рис. 4.13.

Мережа моделюється згідно рис. 4.5 у складі керованого джерела постійного регульованого тиску, трубопроводу у вигляді двох секцій відповідно рис. 4.9, двох споживачів різного типу, блоків регулювання тиску, моделей комутуючої арматури та засобів індикації, реєстрації та документування результатів моделювання.

Результати моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску в нормованому вигляді представлені на рис. 4.14.

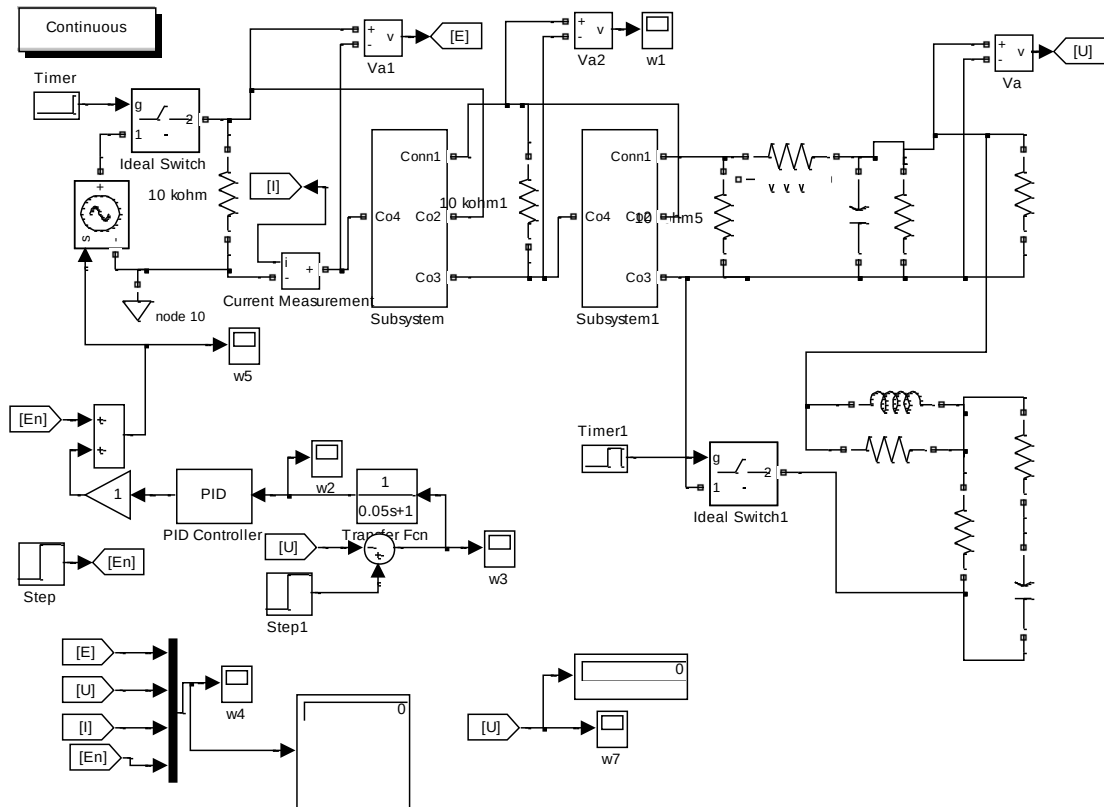


Рисунок 4.13 – Загальна тестова візуально-орієнтовна програма моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску

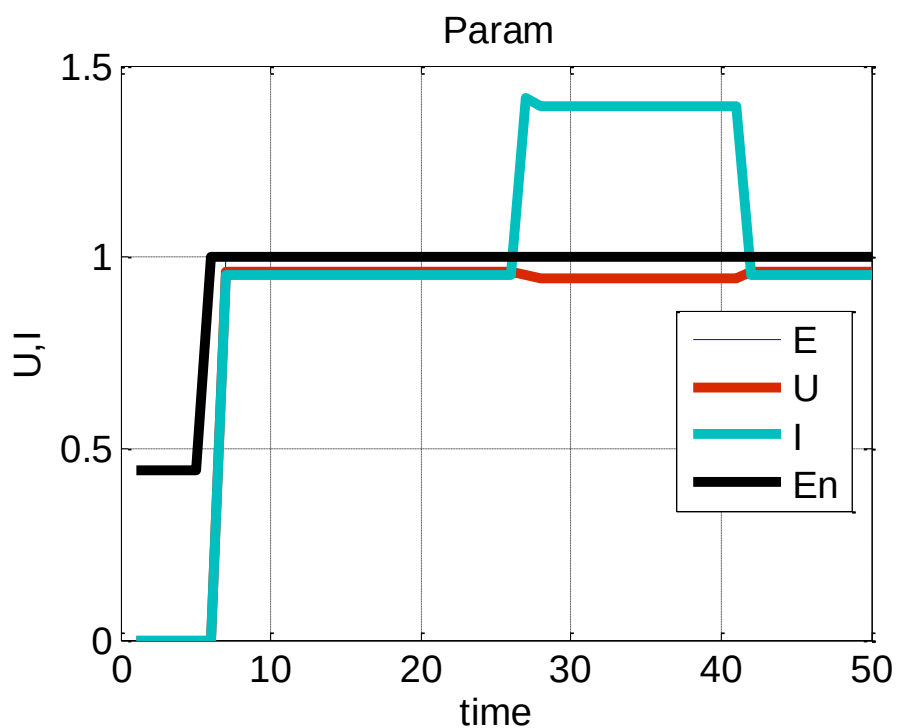


Рисунок 4.14 – Результати моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску без застосування регулятора

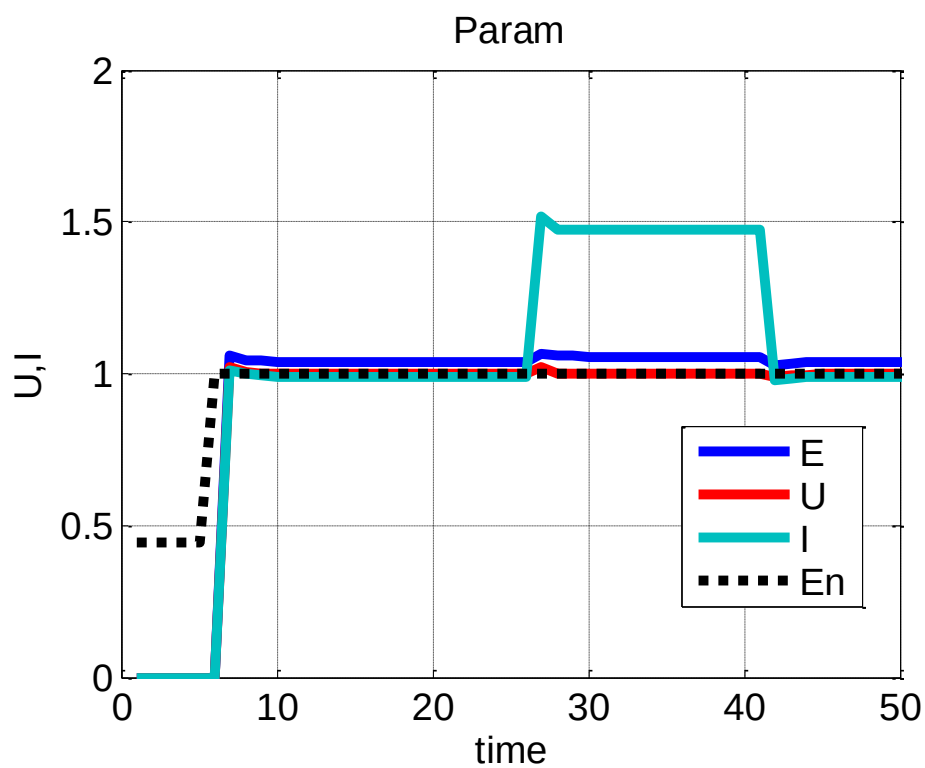


Рисунок 4.15 – Результати моделювання зміни навантаження в мережі та регулювання тиску із застосуванням регулятора

Як це видно із результатів моделювання, застосування пропонованого регулятора та схемо-технічних рішень дозволяє суттєво зменшити похибку регулювання тиску.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було:

- 1) Із застосуванням методу електрогідравлічних аналогій отримано електричні аналоги суднової гідродинамічної системи опалення, вентиляції і кондиціювання.
- 2) Вперше побудовано візуально-орієнтовна модель заміщення суднової гідравлічної системи опалення, вентиляції і кондиціювання.
- 3) За допомогою розробленої візуально-орієнтовної моделі заміщення суднової гідравлічної системи опалення, вентиляції і кондиціювання отримані досліджено перехідні процеси у системі та отримані відповідні часові залежності.
- 4) Промодельовано роботу суднової гідравлічної системи опалення, вентиляції і кондиціювання з ПД регулятором в якості регулятора тиску.

ВИСНОВКИ

На підставі виконаних теоретичних, комп'ютерних досліджень викладено нові технічні розробки і рішення, спрямовані на використання методу електрогідравлічних аналогій в якості методу моделювання суднових гідравлічних систем.

В результаті проведених досліджень отримані такі наукові та практичні результати:

- Отримано опис гідравлічних елементів гідродинамічної системи електричними аналогами;
- Отримано комп'ютерні моделі системи, які дозволяють вивчати перехідні процеси під час роботи суднової системи опалювання, вентиляції і кондиціювання;
- Вирішено задачу по оптимізації системи за допомогою ПД регулятора який призначений для підтримання номінального значення тиску при зміні навантаження.

Окремі найбільш суттєві результати роботи становлять:

- Для суднових системи ОВіК запропоновано спосіб моделювання гідравлічної системи методом електрогідравлічних аналогій, що дозволяє провести дослідження системи для розуміння процесів, що протікають у середині;
- Уточнено методику моделювання за допомогою методу електрогідравлічних аналогій.

Результати роботи можуть бути використані:

- На підставі обраної і уточненої методики інженерного розрахунку суднової системи ОВіК, проведене моделювання компонентів такої системи для впровадження методу моделювання суднових гідродинамічних систем;
- Визначення надійності гідравлічних систем для запобігання надзвичайних ситуацій при експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. http://ni.biz.ua/3/3_17/3_179655_naznachenie-printsip-deystviya-i-mesto-parovogo-kotla-v-sostave-sudovoy-energeticheskoy-ustanovki.html.
2. Бічев В.І. Моделювання паливної системи суднового допоміжного котла методом електрогідравлічних аналогій/ Бічев В.І., Гвоздева І.М., Грама Г.П., Глазева О.В. / Труды 13 науково – технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика» Одеса. – НУ «ОМА». – 2023.
3. Introduction to Marine Engineering, D. A. M.Sc. Taylor, UK, 1983.
4. Marine Engineering: An Illustrated, Guide by Roy L. Harrington, USA, 1992.
5. [http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/IMO Conventions%20\(copies\)/SOLAS.pdf](http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/IMO Conventions%20(copies)/SOLAS.pdf).
6. Географія 7 клас, навчальне видання, Гільберг Т.Г., Паламарчук Л.Б., 2015. – 272 с.
7. <http://www.hiairkorea.co.kr/en/sub02/sub01.php>.
8. Гідравлика, Шевченко Т.О., Харків, 2018.
9. Термогідродинамічні процеси, Кіріс О.В., Гаргуля Б.А., Одеса, 2019.
10. Гідромеханіка, Кіріс О.В., Лісін В.В., Одеса, 2003 – 75с.
11. <http://www.mhd.sal.lv/index.html>.
12. Handbook of Hydraulic Resistance, I. E. Idelchik, USA, 1966.
13. Hydraulic Engineering, G. C. Subramanya, India, 2009.
14. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications, Jiri Blazek, UK 2001.
15. Introduction to Fluid Mechanics, Fox, McDonald, Pritchard, 2011.
16. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на базі електрогідравлічних аналогій, Костишин В.С., Івано – Франківськ, 2000.
17. Система фізичних величин у розмірностях відстань-час стосовно наук про Землю, Морошан Р.П., Львів, 2013.
18. R.C. Dorf, R.H. Bishop., Modern Control Systems // Prentice Hall– 2004. –

832 с

19. Жукова Н.В. та ін. Сучасна теорія керування динамічних систем // Навч. посібник. . – Донецьк, . – ДонНТУ. 2013 – 292 с..
20. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с..
21. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник – К.: Либідь, 2005. - 680 с.
22. Пушкар, М.С. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.
23. Myrhorod, V. “Dynamic Systems, Similar to the Time Scale” in Books of Abstracts/ V. Myrhorod, I. Hvozdeva // Tenth International Conference on Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences 20-25 June 2018, Albena, Bulgaria, P.43-44.
24. Мошноріз М. М. Розробка методики виконання лабораторних робіт на лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання [Електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, А. С. Горбань // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4483>; <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21313?show=full>.
25. Мошноріз Микола Аналіз способів підвищення енергоефективності роботи системи водопостачання [Електронний ресурс] / М. Мошноріз, А. Горбань // Матеріали XIV міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)", м. Вінниця, 15-17 жовтня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22712>.
26. Мошноріз М. М. Автоматизація процедури енергоаудиту системи

водопостачання [Текст]/ М. М. Мошноріз, А. С., Горбань // Електротехніка та електроенергетика. - 1 (2019). - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. - С. 52 - 60. ISSN 1607-6761 (print), ISSN 2521-6241 (online). DOI 10.15588/1607-6761-2019-1-5. Режим доступу:

<http://ee.zntu.edu.ua/article/view/165195>.

27. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B9>
28. <https://studfile.net/preview/3001665/page:62/>
29. <https://mash-xxl.info/page/156102078201226201100168174092126070220111140056/>
30. https://old.lpnu.ua/sites/default/files/dissertation/2016/3949/dis_lysiak_v.g.pdf

ДОДАТКИ