

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра кріогенної техніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

На тему: «Розробка органічного циклу Ренкіна для батареї Карно з 245fa
та водою-середою зберігання середньої продуктивності»

Здобувача Кісси Дмитра Владиславовича
(прізвище, ініціали)
4 курсу ЕН-142 групи

Керівник к.т.н., ст.вкл., Мошкатюк А.В.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультант: проф. Морозюк Л.І
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2026 р., протокол № _____

Завідувач кафедри КТ _____ **Юрій СИМОНЕНКО**

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В.С. МАРТИНОВСЬКОГО

Кафедра	Кріогенної техніки
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма	«Холодильні машини, установки і кондиціювання повітря»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КТ

д.т.н., проф. Симоненко Ю.М

«__» ____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Кісса Дмитро Владиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка органічного циклу Ренкіна для батареї Карно з 245fa та водою-середою зберігання середньої продуктивності

керівник роботи к.т.н., старший викладач Мошкатюк Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 31 жовтня 2025 року № 613-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Теплова потужність батареї Карно – 2000кВт,

температура акумулюючого середовища – 80°C

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

Вступ. Актуальність теми. Аналітична частина. Огляд літератури з питань, що розробляються, та вибір інженерних рішень. Батарея Карно – інноваційна система зберігання енергії. Робочі речовини для батареї Карно. Органічний цикл Ренкіна — низькотемпературна енергетична установка. Теплові насоси промислового призначення. Акумулятори тепла. Теоретична частина. Аналіз схемно-циклового рішення органічного циклу Ренкіна. Синтез схемно-циклового рішення ОЦР. Моделювання енергетичного аналізу циклу ОЦР. Питомі характеристики циклу. Загальні характеристики теплового насосу. Підходи до вибору ОЦР-турбін. Тепловий та конструктивний розрахунок кожухотрубного випарника. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Галузь застосування. Організація безпечної експлуатації електроустановок. Економічна оцінка наукової роботи. Розрахунок вартості досліджень і розробок. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу:

Презентація Power Point (10 слайдів)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Проф. Морозюк Л.І.		

7. Дата видачі завдання _____ 01.12.2025 _____

Керівник _____ к.т.н., ст.вкл. Мошкатюк А.В.
 Завдання прийняв до виконання _____ Кісса Д.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення технічного завдання	5 днів	
2	Огляд і аналіз літератури	30 днів	
3	Розробка математичної моделі об'єкта	10 днів	
4	Адаптація методів дослідження до практичного застосування	15 днів	
5	Теплові і конструктивні розрахунки елементів об'єкта	10 днів	
6	Розробка креслень і графічних моделей	20 днів	
7	Аналіз результатів досліджень	8 днів	
8	Оформлення пояснювальної записки	5 днів	
9	Обговорення та затвердження результатів роботи	5 днів	
10	Підготовка матеріалів роботи до захисту	5 днів	

Здобувач-дипломник _____
 (підпис)

Кісса Д.В.

 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
 (підпис)

Мошкатюк А.В.

 (прізвище та ініціали)

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчинності

Здобувач-дипломник _____
 Кісса Д.В.
 (ПІБ)

_____ (підпис)

АНОТАЦІЯ

Кісса Д.В. Розробка органічного циклу Ренкіна для батареї Карно з 245fa та водою-середою зберігання середньої продуктивності.

В роботі представлено проєкт та термодинамічний аналіз схемно-циклового рішення органічного циклу Ренкіна в системі батареї Карно з R245fa робочою речовиною.

На основі огляду технічної літератури виявлено можливості створення схемно-циклового рішення для дослідження. За результатами енергетичного аналізу циклу ОЦР виконано співставлення енергетичних характеристик циклів з різними температурами середовища, що акумулює тепло, виявлено термодинамічну ефективність кожного температурного режиму. Наведено вибір конфігурацій основного устаткування у контексті інтеграції з схемно-цикловим рішенням, що спроектовано.

SUMMERY

Kissa D.V. An organic Rankine cycle design for Carnot battery with water heat accumulator and R245fa working fluid.

The paper presents a design and thermodynamic analysis of a circuit-cycle solution of an organic Rankine cycle in a Carnot battery system with R245fa as a working substance.

Based on a review of technical literature, the possibilities of creating a circuit-cycle solution for research were identified. Based on the results of the energy analysis of the OCR cycle, a comparison of the energy characteristics of cycles with different temperatures of the heat-accumulating medium was performed, and the thermodynamic efficiency of each temperature regime was revealed. The choice of configurations of the main equipment in the context of integration with the circuit-cycle solution designed.

ЗМІСТ

Вступ. Актуальність теми	7
Розділ 1. Аналітична частина. Огляд літератури з питань, що розробляються, та вибір інженерних рішень.....	8
1.1. Батарея Карно – інноваційна система зберігання енергії.....	8
1.2. Робочі речовини для батареї Карно	12
1.3. Органічний цикл Ренкіна - низькотемпературна енергетична установка	14
1.4. Теплові насоси промислового призначення	17
1.5. Акумулятори тепла	19
Розділ 2. Теоретична частина. Аналіз схемно-циклового рішення органічного циклу Ренкіна	22
2.1. Синтез схемно-циклового рішення ОЦР	22
2.2. Моделювання енергетичного аналізу циклу ОЦР	25
2.2.1. Питомі характеристики циклу	25
2.2.2. Загальні характеристики теплового насосу.....	25
2.3. Підходи до вибору ОЦР-турбін	29
2.4. Тепловий та конструктивний розрахунок кожухотрубного випарника	31
Розділ 3. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (загальні положення).....	36
3.1. Галузь застосування	36
3.2. Організація безпечної експлуатації електроустановок.....	38
Розділ 4. Економічна оцінка наукової роботи	39
4.1. Формування стрічкового графіку виконання роботи.....	39
4.2. Розрахунок вартості досліджень і розробок.....	41
Висновки.....	44
Література	45

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Кісса Д.В.</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Мошкатюк А.В.</i>					6	47
<i>Реценз.</i>						<i>ЕН-142</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

ВСТУП

Актуальність теми

Сучасний стан енергозбереження є однією з провідних проблем у багатьох країнах світу. Збільшення обсягу відновлювальних джерел енергії в електричних мережах потребує впровадження ефективних систем зберігання енергії. У більшості випадків виробництво електроенергії з відновлювальних джерел має нерівномірний та переривчастий характер, що не завжди відповідає рівню споживчого попиту. У зв'язку з цим виникає потреба у застосуванні сучасних технологій, здатних забезпечити накопичення надлишкової електроенергії та її подальше використання у періоди підвищеного навантаження або недостатнього рівня генерації. Зростаюча роль систем зберігання енергії є важливим чинником забезпечення стабільності електричних мереж та підвищення загальної енергоефективності.

Численні міжнародні наукові форуми енергетичного та холодильного напрямів засвідчили наявність тісного взаємозв'язку між холодильною технікою та енергетикою, який продовжує розвиватися і поглиблюватися в межах малої енергетики. Використання тригенераційних установок, здатних одночасно виробляти електроенергію, теплоту та холод, дозволяє отримувати аналогічну кількість теплової енергії при значно меншому споживанні палива.

Децентралізація енергетичного господарства створює передумови для впровадження подібних установок у побутовій, суспільній та виробничій сферах. Серед перспективних технологій особливу увагу привертає «батарея Карно» як система масштабного та довготривалого зберігання енергії [1].

З огляду на зазначене, проведення досліджень у даній галузі є актуальним та має наукове і практичне значення.

Метою даної роботи є розробка та термодинамічний аналіз схемно-циклового рішення органічного циклу Ренкіна для батареї Карно з 245fa та водою-середою зберігання.

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Провести огляд літератури для аналізу проблеми;
- Вибрати технологічну схему для органічного циклу Ренкіна
- Виконати енергетичний аналіз циклу з R245fa робочою речовиною;
- Провести вибір конфігурацій основного устаткування у контексті інтеграції з схемно-цикловим рішенням, що спроектовано.

Об'єктом дослідження є схема та цикл органічного циклу Ренкіна.

Предметом дослідження є термодинамічні процеси, які здійснюються в елементах органічного циклу Ренкіна.

Методи дослідження: моделювання процесів в елементах холодильної системи. Основою математичного моделювання є рівняння класичної термодинаміки та теплопередавання.

Структура роботи. Бакалаврська робота складається з двох розділів теоретичних досліджень, розділу охорони праці, економічних показників роботи, списку використаної літератури. Зміст роботи викладено на 47 сторінках, включаючи 20 рисунків, 10 таблиць, список інформаційних джерел з 27 найменувань.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ, ЩО РОЗРОБЛЯЮТЬСЯ, ТА ВИБІР
ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ

1.1. Батарея Карно – інноваційна система зберігання енергії

Дослідження та проектування реальних установок зберігання електричної енергії проводилися у 1970-х–1990-тих роках. Перші великі наукові розробки були представлені у 2000-х–2010-х роках. У цей час серйозно розглядається акумулювання теплової енергії на електростанціях [2].

Зазначений термін був запропонований Німецьким Центром Аерокосмічної Техніки – (German Aerospace Center) – для позначення систем, у яких електрична енергія накопичується у вигляді теплової енергії при постійній температурі з подальшим перетворенням назад в електричну енергію [3].

Ряд німецьких дослідницьких інститутів, університетів та промислових компаній спільно започаткували науково-дослідні проекти, по вивченню різних конфігурацій батарей Карно, робочих тіл і матеріалів для акумулювання теплової енергії. На сьогодні рівень технологічної готовності батарей Карно досяг достатньо високих показників [4]. Водночас продовжуються дослідження, спрямовані на підвищення термодинамічної ефективності та економічної доцільності таких систем [5,6].

Як альтернативний напрям поряд з компресорними тепловими насосами може розглядатися адіабатична система зберігання енергії на основі зрідженого повітря.

Термодинамічна модель роботи батареї Карно показано на рис.1. Надлишкова електрична енергія від електростанції живить тепловий насос ТН. Високопотенційне тепло.(корисний ефект ТН) відводиться до акумулятора на

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зберігання. За потребою це тепло підводиться потоком робочого тіла у вигляді гарячої пари до турбіни циклу Ренкіна (ОЦР). Турбогенератор виробляє електричну енергію (корисний ефект ОЦР). Додатковим варіантом може бути використання відпрацьованого тепла і/або генерація відпрацьованого холоду, що описують потоками теплової ексергії ET_{ch} і ET_{dis} відповідно (рис.1).

База даних Scopus виявила близько 270 статей (опублікованих англійською) за тематикою батареї і системи зберігання теплової енергії. Лідерську роль у публікаціях відіграє Німеччина.

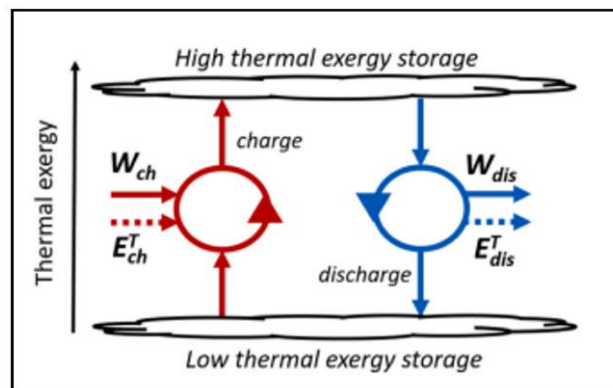


Рисунок 1. Принципова термодинамічна схема «батареї Карно» [3]

На рис.2 наведено принципову технологічну схему батареї Карно, що включає парокompресорний тепловий насос (ТН, контур 1-2-3-4) та органічний цикл Ренкіна (ОЦР, контур 9-10-11-12). ТН містить випарник, компресор, дросельний пристрій та конденсатор. ОЦР містить турбіну, конденсатор, насос та випарник. Підсистеми ТН та ОЦР з'єднані підсистемою акумулювання теплової енергії (АКЕ, контур 7-8-15-16), що включає високотемпературний та низькотемпературний резервуари. АКЕ зберігає високотемпературну теплову енергію. Лініями 5-6 та 13-14 підсистеми ТН та ОЦР підключено до зовнішніх джерел тепла.

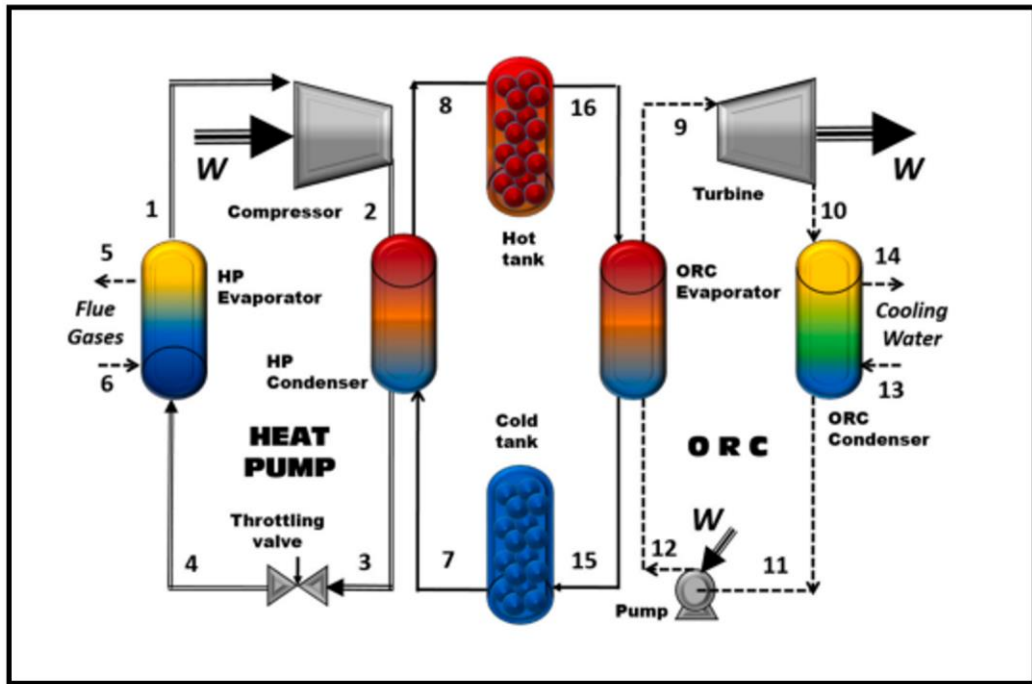


Рисунок 2. Принципова технологічна схема «батареї Карно» [3]

Термодинамічні цикли ТН та ОЦР надано на рис.3 у діаграмі стану $T=s$ робочої речовини у конкретному температурному режимі [3].

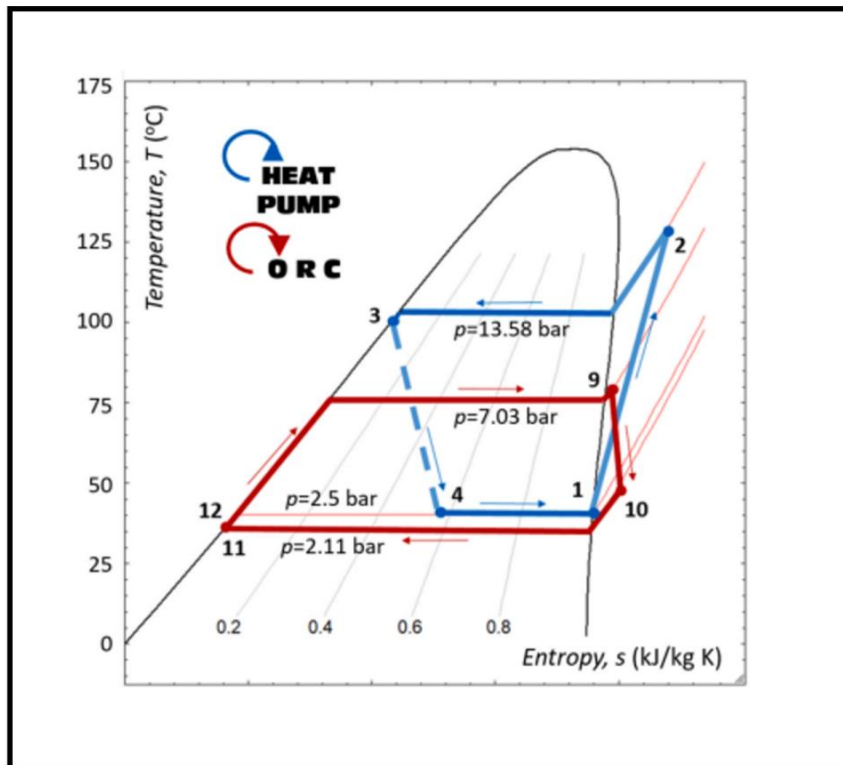


Рисунок 3. Цикли теплового насоса та органічного Ренкіна в діаграмі $T-s$ [3]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Цикл ТН зображено контуром (1-2-3-4) і працює під час зарядження акумулятора, цикл ОЦР зображено контуром (9-10-11-12) і працює під час розрядження. Під час зарядження електрична енергія перетворюється на теплову. Розрядження, у свою чергу, здійснюється ОЦР, використовуючи теплову енергію як вхідний параметр для зворотного перетворення на електрику.

Батареї Карно призначені для тривалого зберігання енергії. Час зарядження зазвичай становить від 6 до 12 годин, залежно від ємності системи акумулювання теплової енергії. Час розрядження становить від 6 до 12 години, потенційно до 24 годин.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.2. Робочі речовини для батареї Карно

Термодинамічні властивості робочого тіла суттєво впливають на ефективність циклу. Вибір робочого тіла повинен здійснюватися з урахуванням забезпечення ефективної роботи як прямого органічного циклу Ренкіна (ОЦР), так і зворотного циклу теплового насоса (ТН), насамперед з позиції термодинамічної доцільності та енергоефективності.

Батарея Карно повинна забезпечити стабільну роботу при використанні потоків відхідного тепла з температурою 65°C і вище [7,8], а також зберігати працездатність при температурі 32°C, хоча в такому випадку ефективність системи знижується.

Як робоче тіло фахівці пропонують R245fa, а як середовище зберігання – воду. Вибір R245fa засновано в системах кондиціонування повітря, теплових насосах та системах ОЦР. Він демонструє таку загальну продуктивність, що характеризується хорошим балансом термодинамічних властивостей та ефективності для систем ОЦР, незважаючи на постійні дослідження альтернатив з нижчим потенціалом глобального потепління (GWP), таких як R1233zd(E), R1234yd(Z) та R1336mzz(Z) [9]. Термодинамічно R245fa класифікують як «суха робоча рідина» ОЦР, що означає вихід з турбіни в перегрітому стані. R245fa використовують в батареях Карно, оскільки його термодинамічні властивості роблять його ефективною [10,11], а іноді й оптимальною [12] робочою рідиною для систем акумулювання теплової енергії від низьких до середніх температур. Властивості робочих рідин розраховуються за допомогою програмного забезпечення REFPROP.

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічні властивості робочого тіла:

При нормальному тиску R245fa – безбарвна, прозора і легка рідина в потоці при 15°C з волатильністю, безбарвний газ при 20°C. Нерозчинний у воді, у більшості органічних розчинників, таких як етанол, ефір, хлороформ, олії, вуглеводні тощо.

Фізичні властивості робочого тіла:

Молекулярна маса – 134

Точка кипіння (Кк, 101.3КПа) 58.8

Точка замерзання КК<>

Критична температура, КК 156.9

Критичний тиск, МПа 4,64

Густина насиченої рідини (30 °С, кг/м3) 82,7

Теплопровідність рідини (30 °С, КJ/kg.k) 0,33

Теплопровідність пари (30 °С 101,3КПа, КJ/kg.k) 0,22

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.3. Органічний цикл Ренкіна - низькотемпературна енергетична установка

Органічний цикл Ренкіна (ОЦР) аналогічний традиційній системі перетворення енергії на основі парового циклу, але використовує органічну рідину, таку як холодоагенти та вуглеводні замість води. В останні роки дослідження цього пристрою активізувалися, оскільки він все частіше використовується як провідна технологія для перетворення в електроенергію низькотемпературних теплових ресурсів. Доступні теплові ресурси включають: сонячну енергію, геотермальну енергію, продукти біомаси, поверхневу морську воду та відпрацьоване тепло від різних теплових процесів. Когенераційні геотермальні та біомасові ТЕЦ вже досягли зрілості. За умови подальшого зростання уваги до утилізації відпрацьованого тепла, що відводиться тепловими пристроями та промисловими процесами, та прийняття сприятливих законодавчих умов, системи органічного циклу Ренкіна в найближчому майбутньому швидко розвиватимуться.

На рис.4 зображено спрощену технологічну схему ОЦР, що складається з турбіни, конденсатора, насоса, випарника [7].

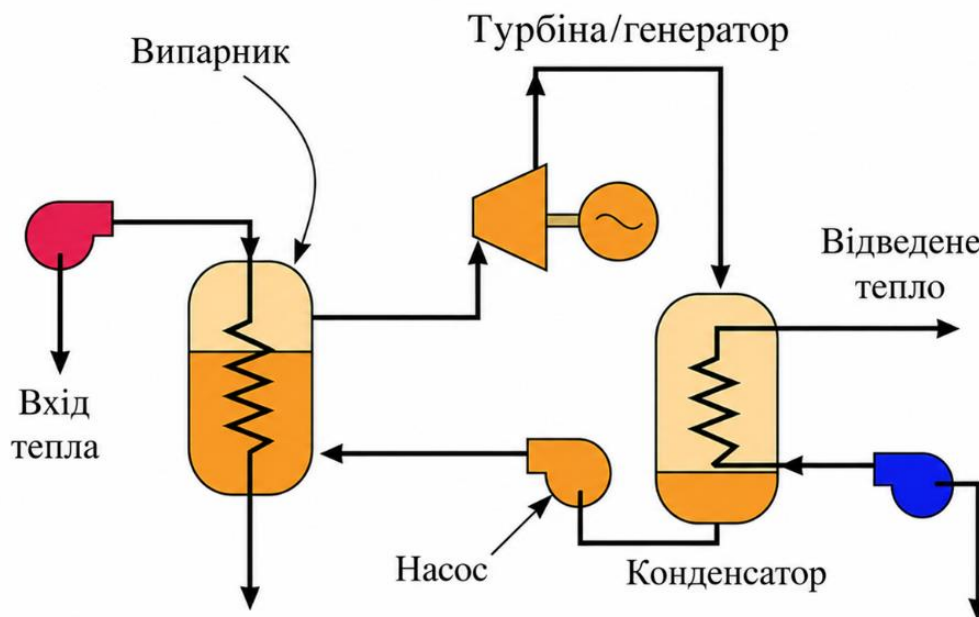


Рисунок 4. Принципова технологічна схема ОЦР [7].

									Арк.
									14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.КТ.613-03.1.9				

Для аналізу циклу звернемося до термодинамічних властивостей робочих речовин за допомогою діаграм стану $T-s$, наданих на рис.5.

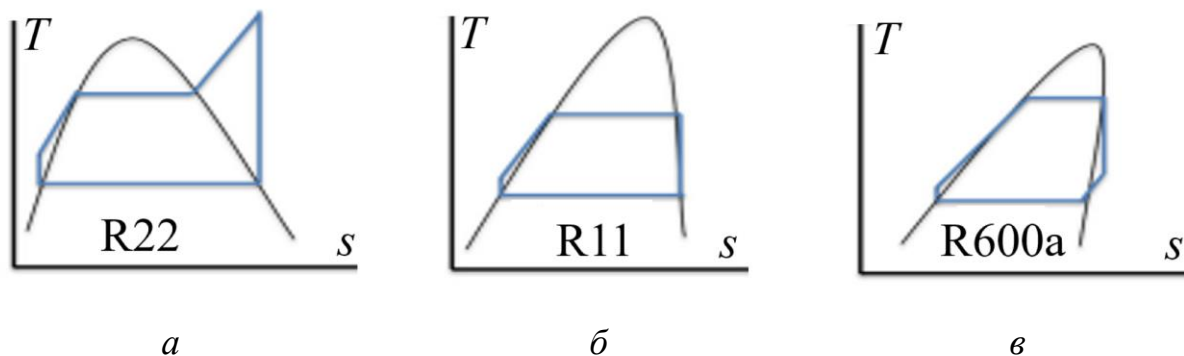


Рисунок 5. Діаграма $T-s$ сухого (а), ізоентропного (б), вологого(в) робочого тіла

Нахил кривої насичення пари для конкретної рідини є ключовою характеристикою, що впливає на ефективність циклу. Залежно від нахилу кривої насичення пари на діаграмі температура-ентропія ($T-s$), органічні рідини поділяються на три типи: сухі, ізоентропні, вологі. Як показано на рис.5, суха рідина має негативний нахил ($dT/ds < 0$, наприклад, R22), волога рідина має позитивний нахил ($dT/ds > 0$, наприклад, R600a), а ізоентропна рідина має майже нескінченно великий нахил ($ds/dT = 0$, наприклад, (R11) [7, 13, 14]. Вологі рідини зазвичай потребують перегріву, тоді як сухі та ізоентропні рідини – ні.

З рис.5 видно, що насичена парова фаза сухої рідини трохи перегрівається після ізоентропного розширення. Однак, для ізоентропної рідини з майже вертикальною кривою насичення пари, пара розширюється вздовж вертикальної лінії на $T-s$ діаграмі, так що насичена пара на вході турбіни залишатиметься насиченою протягом усього процесу у турбіні без конденсації [13]. Ця здатність залишатися насиченою протягом усього процесу розширення без потреби в регенераторі робить ізоентропні рідини особливо придатними для ОЦР [13]. Робочі рідини з високою густиною та високою прихованою теплотою забезпечують найвищу потужність турбіни, а для ОЦР

зазвичай рекомендуються ізоеетропні та сухі рідини [7]. Хоча термодинамічні та фізичні властивості робочої рідини мають найбільший вплив на ефективність системи, також необхідно враховувати стабільність робочої рідини, вплив на навколишнє середовище, безпеку, сумісність, доступність та вартість.

Протягом останніх трьох десятиліть ОЦР поступово впроваджується як провідна технологія для перетворення низькопотенційного відхідного тепла в енергію [8,9]. Ринок ОЦР демонструє експоненціальне зростання з 1980-х років, коли були встановлені перші комерційні установки ОЦР [14]. ОЦР використовувалися для перетворення відхідного тепла в енергію для багатьох різних застосувань [9]. Немає особливих потреб у розміщенні, тому ОЦР можна модернізувати існуючі установки, забезпечуючи виробництво електроенергії з відхідного тепла на місці.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.4. Теплові насоси промислового призначення

Теплові насоси є пристроями перетворення енергії для промисловості, оскільки вони пропонують ефективні способи зниження споживання первинної енергії шляхом рекуперації відпрацьованого, тепла [15]. Поширення вони набувають в промисловому секторі, особливо для підвищення теплопостачання, охолодження та заморожування у технологічних процесах або для опалення та охолодження промислових будівель [16].

Галузі застосування та перспективи промислових теплових насосів становлять:

- АЕС та ТЕС – теплом конденсації та турбіни підігрівається вода в контурі електростанції та системі теплопостачання;
- продовольчі магазини, м'ясокомбінати та молокопереробні підприємства, цехи з виробництва заморожених продуктів харчування, склади з холодильним обладнанням з утилізацією тепла на опалення або постачання гарячої води;
- підприємства нафтохімії, металургії та гірничорудної промисловості, фармацевтики, харчової та целюлозно-паперової галузі – відпрацьоване тепло подається на повторне споживання у технологічному процесі.

Теплові насоси малої потужності (до 100 кВт) набули поширення у високотехнологічних країнах світу. Вони компактні, надійні, екологічні, працюють за низьких температур зовнішнього повітря взимку, а також здатні здійснювати кондиціонування приміщень у теплий період року.

У той час як найпростіша схема теплового насосу складається з одноступеневого компресора, конденсатора, дросельного пристрою та випарника, були розроблені та досліджені складніші цикли для підвищення продуктивності в залежності від галузі застосування та умов експлуатації [16]. Певний тип схем використовує кілька джерел підведення та відведення тепла на різних температурних рівнях. У світі найбільші парокомпресорні теплові насоси мають теплову потужність до 30 МВт з двоступеневими

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

відцентровими компресорами [15, 16, 17, 18]. Для теплопостачання Стокгольма (Швеція) побудовано та працює станція теплових насосів з 6-ма агрегатами загальною потужністю 180 МВт. Експериментально в роботі [19] автори показали, що при використанні двоступеневого стиснення з двома випарниками можна досягти більш ніж на 30% більшого коефіцієнта перетворення (COP) порівняно з одноступеневими циклами. Прикладом служить промисловий тепловий насос Mammoth, що випускається виробником з США на виробничому майданчику в окрузі Анжі (КНР) з моноблоком у конфігурації «вода-вода» з потужністю на нагрівання до 2,632 МВт.



Рисунок 6. Загальний вигляд теплового насосу Mammoth [20]

Насос характеризується високою продуктивністю, надійністю та енергоефективністю.

Аналіз літератури доводить, що дослідження в основному зосереджені лише на одноступеневій конкретній системі теплового насосу. Очевидно, що широкого споживчого попиту на складні схеми немає.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Акумулятори тепла

Все більшої гостроти набуває питання акумулювання енергії для електроенергетики, завдання якої полягає у виробництві електроенергії та повному забезпеченні нею споживачів. Споживання електричної енергії дуже змінюється протягом доби, і це ставить перед електроенергетикою непрості завдання.

Існують акумулятори, що накопичують механічну енергію – механічні акумулятори. Один з представників – гідроакумулюючі електростанції-ГАЕС. Коли знижується потреба в електроенергії, її надлишок використовується на ГАЕС для перекачування води з нижнього резервуару до верхнього. Так «зайва» електрична енергія перетворюється на механічну (потенційну) енергію. Під час підвищеного попиту на електроенергію проводиться перепуск води з верхнього резервуару в нижній. При цьому вода рухається через гідротурбогенератор, у якому її потенційна енергія перетворюється на електричну.

З кожним роком зростає потреба в акумуляторах тепла. Акумулятори тепла поділяються на дві основні групи: по-перше, що запасують тепло шляхом нагрівання робочого тіла акумулятора, температура якого при цьому підвищується, і, по-друге, що накопичують тепло в результаті переходу робочого тіла з одного агрегатного стану в інший, найчастіше твердого в рідке; у цьому випадку температура робочого тіла не змінюється чи змінюється мало.

Електрична енергія, що підлягає накопиченню, в парокompресорному тепловому насосі перетворюється в теплову енергію і акумулюється з використанням твердих або рідких акумулюючих матеріалів. Накопичена теплова енергія згодом перетворюється на електрику за допомогою органічного циклу Ренкіна або газових турбін замкнутого циклу.

Передавання тепла споживачеві від акумуляторів першої групи відбувається шляхом охолодження робочого тіла та зниження його

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

4. З зовнішньої сторони ємність герметично закрита теплоізолюючим матеріалом шаром не менше 10 см. Як утеплювач застосовується повторно спінений пінополіуретан з внутрішнім покриттям ПВХ.

5. Далі теплоізоляційний шар покривається чохлом з міцного шкірозамінника та захисною оболонкою.

Важливо відзначити, що у будь-якому пристрої акумулятора тепла необхідно дотримуватися одного, головного принципу: температура робочого тіла повинна підтримуватися якомога вищою, по можливості близькою до температури джерела тепла, від якого заряджається акумулятор. Цей принцип зрозумілий: чим вище температура джерела тепла, то цінніше запасене ним тепло. З сказаного потрібно підкреслити, що робоче тіло акумулятора повинно мати хорошу теплову ізоляцію від навколишнього середовища,.

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА
АНАЛІЗ СХЕМНО-ЦИКЛОВОГО РІШЕННЯ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ
РЕНКІНА

Процес проектування органічного циклу Ренкіна містить такі основні етапи:

- вибір з схемно-циклового рішення для дослідження;
- вибір температурного режиму роботи;
- визначення питомих характеристик циклу;
- проведення енергетичного аналізу;
- вибір устаткування для формування енергогенеруючої системи.

2.1. Синтез схемно-циклового рішення ОЦР

Принципову технологічну схему надано на рис.8.

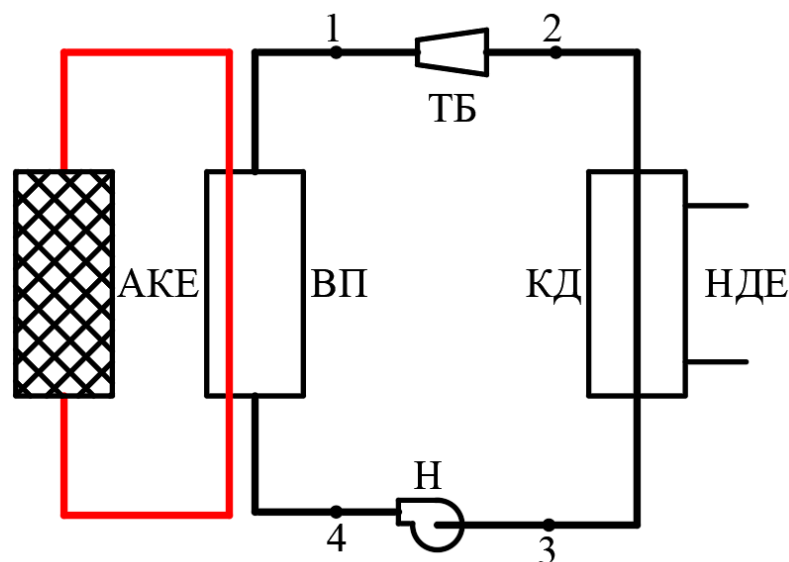


Рисунок 8. Принципова технологічна схема ОЦР

Схема містить основні елементи: турбіну ТБ, конденсатор КД, випарник ВП, насос Н. Для спрощення аналізу додаткові та допоміжні елементи не враховані. Випарник підключено до циркуляційного контуру

акумулятора АКЕ, конденсатор – до низькопотенційного джерела енергії НДЕ. Робота ОЦР здійснюється під час розрядження акумулятора.

Температурний режим обирається на підставі узгодження всієї енергетичної системи. Для прикладу обрано режим, аналізований у роботі [11].

Вихідні параметри, що використано у розрахунках, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Вихідні параметри циклу ОЦР.

Параметри	Значення
Температура навколишнього середовища, Т°С	20
Тиск навколишнього середовища, бар	1,01
Температура низькотемпературного джерела, Т°С	30
Температура високотемпературного джерела, Т°С	80-100
Теплова потужність акумулятора. кВт	2000
Ізоентропний КПД турбіни,%	80
Ізоентропний КПД насосу,%	80
Термін розрядження акумулятора, година	6

Цикл ОЦР надано на рис.9.

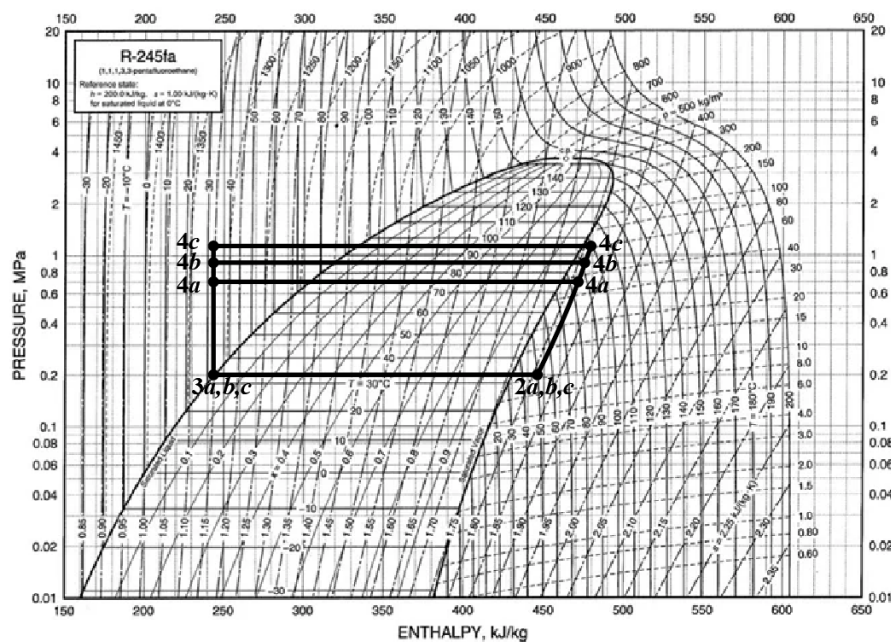


Рисунок 9. Органічний цикл Ренкіна у діаграмі $p-h$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБ.КТ.613-03.1.9

Арк.

23

Робочою речовиною обрано R245fa. Особливості температурного режиму для аналізу. Температура кипіння у випарнику $T_0=75...95^{\circ}\text{C}$ Температуру на виході з турбіни прийнято постійною $T_1=35^{\circ}\text{C}$. Перегрівання пари здійснюється у випарнику в секції перегрівання і відноситься до теплового навантаження апарату. Вибір постійної температури на виході з турбіни забезпечує стабільну роботу генеруючого пристрою. Температура конденсації є вихідним параметром циклу (табл.2). Переохолодження рідини у конденсаторі відсутнє.

Параметри в вузлових точках циклу надано у таблиці 2

Таблиця 2. Параметри у вузлових точках циклу

State	P , bar	T , $^{\circ}\text{C}$	h , $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s , $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	v ; $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	x kg / kg
$T_0=75,730^{\circ}\text{C}$ R245fa						
1	7,08	85,768	471	1,8112	0,026986	
1 ⁰	7,08	75,730	460,01	1,7801	0,025615	
2 ⁰	2,11	34,867	430,81	1,7579	0,084186	
2s	2,11	52,768	447,71	1,8112	0,090484	
3	2,11	34,867	245,49	1,1562	0,0008192	0,00067
4	7,08	34,867	245,49	1,1550	0,0007616	
4 ⁰	7,08	75,730	302,67	1,3291	0,000843	
$T_0=85^{\circ}\text{C}$ R245 fa						
1	8,925	93,09	475,40	1,8112	0,021107	
1 ⁰	8,925	85	466,11	1,7855	0,020146	
2 ⁰	2,11	34,867	430,81	1,7579	0,084186	
2s	2,11	2,11	52,768	447,71	1,8112	
3	2,11	34,867	245,54	1,1564	0,00084178	0,00094
4	8,925	34,867	245,54	1,1547	0,00076122	
4 ⁰	8,925	85	316,46	1,3677	0,000867	
$T_k=95^{\circ}\text{C}$ R245 fa						
1	11,298	101,16	479,80	1,8112	0,016302	
1 ⁰	11,298	95	472,29	1,7910	0,015650	
2 ⁰	2,11	34,867	430,81	1,7579	0,084186	
2s	2,11	2,11	52,768	447,71	1,8112	
3	2,11	34,867	245,60	1,1566	0,0008687	0,00127
4	11,298	34,867	245,60	1,1543	0,0007607	
4 ⁰	11,298	95	331,76	1,4093	0,0008975	

2.2. Моделювання енергетичного аналізу циклу ОЦР [3, 22]

2.2.1. Питомі характеристики

питоме теплове навантаження на випарник

$$q_{oPC} = h_1 - h_4, \text{ кДж/кг} \quad (1)$$

питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_{кPC} = h_2 - h_3 \text{ кДж/кг} \quad (2)$$

питома ізоентропна робота розширення

$$w_{sT} = h_{2s} - h_1, \text{ кДж/к} \quad (3)$$

питома дійсна робота розширення

$$w_T = (h_{2s} - h_1)\eta_T, \text{ кДж/кг} \quad (4)$$

питома ізоентропна робота насосу

$$w_{sH} = v(p_o - p_k), \text{ кДж/к} \quad (5)$$

питома дійсна робота насосу

$$w_H = v(p_o - p_k) / \eta_H \text{ кДж/кг} \quad (6)$$

питома дійсна робота циклу

$$w_{PC} = w_T - w_H, \text{ кДж/кг} \quad (7)$$

2.2.2. Загальні характеристики теплового насосу

масова витрата робочої речовини

$$M_{TH} = Q_{кTH} / q_{кTH} \quad (8)$$

потужність турбіни

$$N_{PC} = M_{PC} w_{PC} \quad (9)$$

повне теплове навантаження на-конденсатор

$$M_{PC} = Q_{oPC} / q_{oPC} \quad (10)$$

коефіцієнт перетворення циклу COP

$$COP_{PC} = N_{PC} / Q_{oPC} \quad (11)$$

коефіцієнт перетворення циклу Карно

$$COP_{Карно} = (T_{AK} - T_{сер}) / T_{AK} \quad (12)$$

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

термодинамічна ефективності циклу

$$\eta_{ТФ} = COP_{РЦ} / COP_{Карно} \quad (13)$$

Результати розрахунків надано у таблиці 3.

Таблиця 3. Результати енергетичного аналізу циклу

Характеристика	75	85	95	рівняння
$q_{oPC} = h_1 - h_4$	225	230	234	1
$q_{кPC} = h_2 - h_3$	246	252	260	2
$w_{sT} = h_{2s} - h_1$,	25	28	32	3
$w_T = (h_{2s} - h_1)\eta_T$,	19.7	22.4	25,6	4
$w_{sH} = v(p_o - p_k)$,	0.398	0.55	0.74	5
$w_H = v(p_o - p_k) / \eta_H$	0.497	0.68	0.92	6
$w_{PC} = w_T - w_H$,	19.2	21.7	24.7	7
$M_{PC} = Q_{oPC} / q_{oPC}$	8.89	8.7	8.54	8
$N_{PC} = M_{PC} w_{PC}$,	170	187	211	9
$Q_{кPC} = M_{PC} q_{кPC}$	2184	2196	2217	10
$COP_{PC} = N_{PC} / Q_{oPC}$	0.08	0.094	0.11	11
$COP_{Карно} = (T_{AK} - T_{сер}) / T_{AK}$	0.169	0.193	0.22	12
$\eta_{ТФ} = COP_{PC} / COP_{Карно}$	0.47	0.49	0,5	13

Властивості робочого тіла розраховані за допомогою програмного забезпечення REFPROP. Числову модель батареї Карно було розроблено за допомогою програмного забезпечення MatLab. Для спрощення розрахунків було прийнято:

- усі компоненти працюють у стаціонарних умовах;
- теплообмін між кожним компонентом і навколишнім середовищем відсутній;
- падіння тиску у трубах відсутнє (труби в парокompресорних теплових насосах та ОЦР зазвичай дуже короткі);
- ізоентропічні коефіцієнти корисної дії турбіни і насосу вважаються постійним.

Математична модель, розроблена в цьому дослідженні, була перевірена шляхом порівняння її з даними, наведеними в [3]. Результати аналізу наведено у графічній формі на рис.10-12.

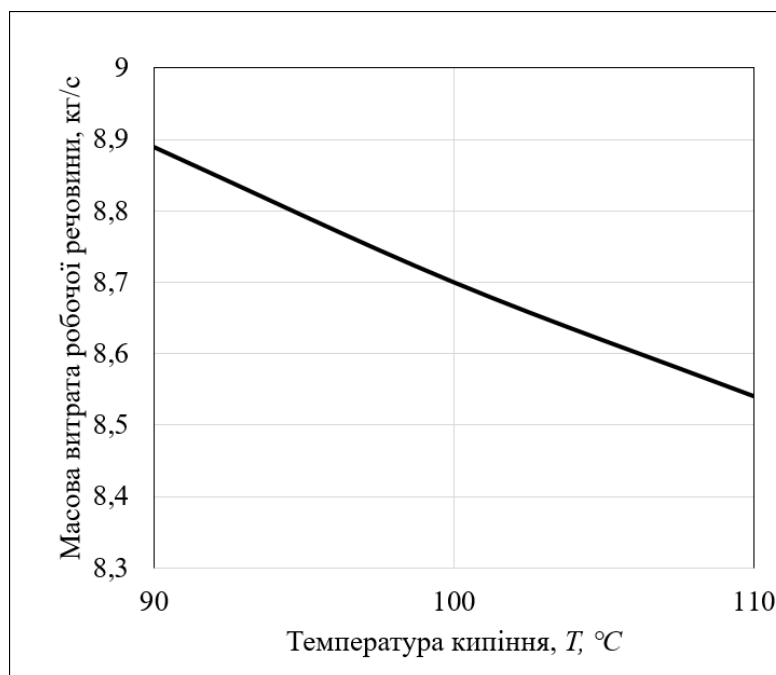


Рисунок 10. Залежність масової витрати робочої речовини $M_{ЦР}$ від температури кипіння.

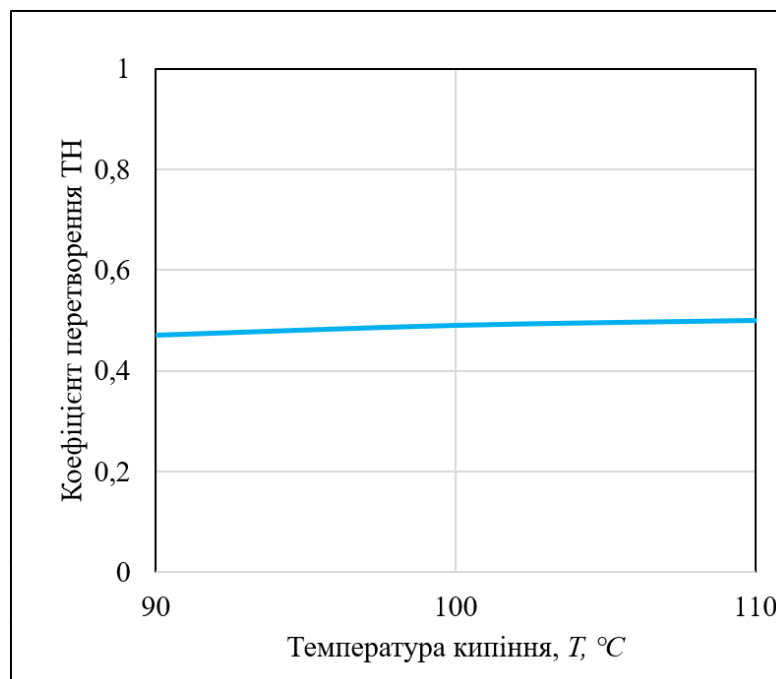


Рисунок 11. Залежність коефіцієнта перетворення ОЦР $COP_{ОЦ}$ від температури кипіння.

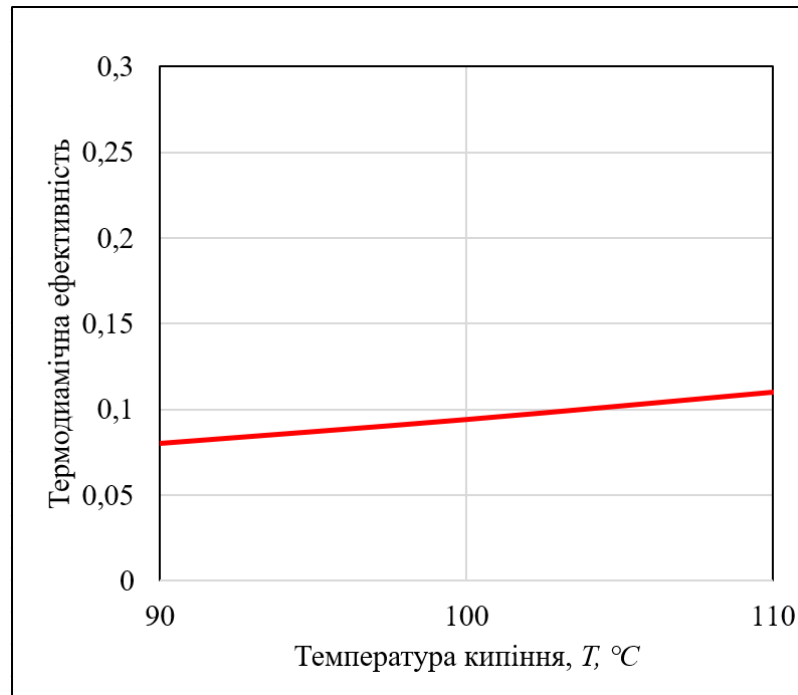


Рисунок 12. Залежність термодинамічної ефективності $\eta_{ТЕЦ}$ циклу ОЦР від температури кипіння.

Аналіз порівняння характеристик циклів показав, що при зростанні температури кипіння у випарнику при постійній тепловій потужності виявив: зменшення масової витрати робочої речовини на 4%, підвищення енергетичної ефективності циклу на 37,5% і підвищення термодинамічної ефективності машини на 6%.

2.3. Підходи до вибору ОЦР-турбін

ОЦР-турбогенератори надають можливість утилізації тепла та його перетворення в електроенергію в турбінному циклі. Замовники, що утилізують при стандартному підході надлишкове тепло в градирнях або на теплообмінному устаткуванні для потреб ГВП, мають можливість отримати затребуваний продукт – електроенергію, а також тепло для ГВП за рахунок охолодження конденсатора. Зразок турбогенератора ОЦР надано на рис.13.



Рисунок 13. Зразок турбіни ОЦР малої потужності

Основні переваги обладнання з ОЦР-циклом у порівнянні з паровим:

- високий електричний ККД, у тому числі на змінних режимах роботи;
- простота пуску та зупинки;
- можливість регулювання від 10 до 100%;
- відсутність ерозії на лопатках турбіни внаслідок використання у замкнутому циклі органічної рідини;
- відсутність спеціальних вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу та операторів;
- відсутність необхідності встановлення водо підготовчого обладнання;
- технічне обслуговування до 3 днів на рік;
- сервісне обслуговування компанією-резидентом РБ.

ОЦР модулі випускають у двох конфігураціях (рис.14, 15) [23]

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Низькотемпературні ОЦР-модулі: для утилізації теплоносіїв з температурними параметрами від 85°C до 240°C. Електрична потужність, що видається від 50 до 500 кВт, тепловий графік – 40/50°C. Зразок модуля ілюструє рис.14.



Рисунок 14. Низькотемпературний ОЦР модуль [23]

Високотемпературні ОЦР-турбіни – для роботи з теплоносіями від 250°C до 350°C. Електрична потужність, що видається – від 3 до 10 МВт, тепловий графік — 60/80°C (може бути змінений з урахуванням проєктних умов).

Зразок турбіни наведено на рис.15.



Рисунок 15. Зразок турбіни ОЦР високої ефективності [23]

Вибір конкретного типу обладнання залежить від масової витрати та річного теплового балансу теплоносія.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.4. Тепловий та конструктивний розрахунок кожухотрубного випарника

Кожухотрубні випарники використовують для охолодження рідинних холодоносіїв або технологічних продуктів. Серед них за конструктивною конфігурацією виділяють ті, в яких кипіння холодоагенту здійснюється у трубах. Кожухотрубний випарник має циліндричну форму кожуха з плоскими днищами у яких закріплено труби. Конструкцію надано на рис.16.



Рисунок 16. Кожухотрубний випарник для органічного циклу Ренкіна [24]

Робоче тіло подається у випарник через торцеві патрубки у кришці. Рух води в апараті має складний характер (рис.16). На одній частині поверхні рідина рухається поперек труб, на іншій – вздовж. Однак перша поверхня переважає, тому тепловіддавання розраховується через рух поперек труб.

Вихідні дані для розрахунку

Теплове навантаження – $Q_{орЦ} = 1000$ кВт;

Температура кипіння R245 $T_{орЦ} = 75^{\circ}\text{C}$;

Температура води на вході у випарник $T_{вх} = 80^{\circ}\text{C}$;

Температура води на виході з випарника $T_{вх} = 78^{\circ}\text{C}$;

Робочий тиск на стороні робочого тіла $p_k = 7.08$ бар.

Геометрія труби з внутрішнім ребренням:

Зовнішній діаметр труби $d_{зв} = 0.02$ м

Внутрішній діаметр труби $d_{вн} = 0.017$ м

Зовнішня поверхня $F_{зв} = 0.0628$ м²

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішня поверхня $F_{вн}=0.15838 \text{ м}^2$

Еквівалентний діаметр каналу $d_{екв}=0.003 \text{ м}$

Коефіцієнт оребрення 2.52

Живий переріз однієї труби з внутрішнім оребренням $f_{lm}=1.1724*10^{-4}$

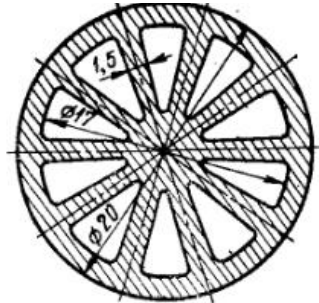


Рисунок 17. Геометрія труби з внутрішнім оребренням

Температурний напір в апараті

$$\theta_m = (\theta_1 - \theta_2) / \ln(\theta_1 / \theta_2) = (5 - 3) / \ln(5 / 3) = 3,91 \quad (14)$$

Тепловіддавання з боку робочої речовини в апараті

Масова витрата робочої речовини у випарнику

$$M_{рц} = Q_{орц} / q_o = 1000 / 225 = 4.44 \text{ кг/с} \quad (15)$$

Прийнята швидкість робочої речовини на вході у трубу $w=0.2 \text{ м/с}$

Кількість труб в одному ході апарату

$$n = M / f \rho w = 4.44 / 1111 * 0.2 * 1.1724 * 10^{-4} = 170 \quad (16)$$

Таблиця 4. Теплофізичні властивості R245 на лінії насичення при $T=75^\circ\text{C}$

Параметри	Ознака	Одиниці виміру	Значення	
			Рідина	Пара
Кінематична в'язкість		$\text{М}^2/\text{с}$	$1,418*10^{-6}$	$1,843*10^{-6}$
Теплопровідність	λ	$\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$	0,064	0.0208^{-6}
Густина	ρ	$\text{кг}/\text{М}^3$	1098	72,38
Теплоємність	c	$\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$	1,595	1,275
Питома теплота пароутворення	r	$\text{кДж}/\text{кг};$	136	136
Тиск	p	бар	12,64	
Критерій Прандтля			3,83	0,85

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.КТ.613-03.1.9

Арк.

32

Густина теплового потоку з боку робочої речовини [25].

$$q_{F_{BH}} = 0,88(w A^{2/5} (T - T_o) = 0,88 * (0,2 * 1111 / 0,003)^{0,5} * 1,15^{2,5} = 339,7 \quad (17)$$

Густина теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні

$$q_{F_{ЗОВ}} = q_{F_{BH}} \beta = 339 * 2,52 = 996 \quad (18)$$

Залежність густини теплового потоку від температурного напору між стінкою та робочою речовиною наведено у таблиці 5.

Таблиця 5. Тепловіддавання робочої речовини

$T_{ст}-T_o$	1	2	3	4
$q_{F_{ЗОВ}}$	996	5634	15526	31872

Тепловіддавання з боку води в апараті

Таблиця 6. Теплофізичні властивості води при $T=80^{\circ}C$

Параметр	Ознака	Одиниці виміру	Значення
Кінематична в'язкість		M^2/c	$0,732 \cdot 10^{-6}$
Теплопровідність	λ	Вт/(м·К);	$62,65 \cdot 10^{-2}$
Густина	ρ	кг/м ³	993,95
Теплоємність	c	кДж/(кг·К);	4,174
Критерій Прандтля			4,865

Критерій Нусельта

$$Nu_p = c Re_p^m Pr_p^{0,36} \quad (19)$$

Критерій Рейнольдса при швидкості води 0,5 м/с становить

$$Re_p = wd_{екв} / \nu \quad (20)$$

Згідно до значення Рейнольдса коефіцієнти мають значення

$$m=0/6, c=0/37 \quad (21)$$

Коефіцієнт тепловіддавання

$$\alpha_{36} = Nu_p \lambda / d_{36} \quad (22)$$

Залежність густини теплового потоку від температурного напору між стінкою та водою наведено у таблиці 7.

Таблиця 7. Тепловіддавання в боку води

$T_{вод}-T_{ст}$	1	2	3	4
q_{F306}	6202	12404	18600	24800

Густина теплового потоку в апараті розрахована графоаналітичним методом, що надано на рис.18

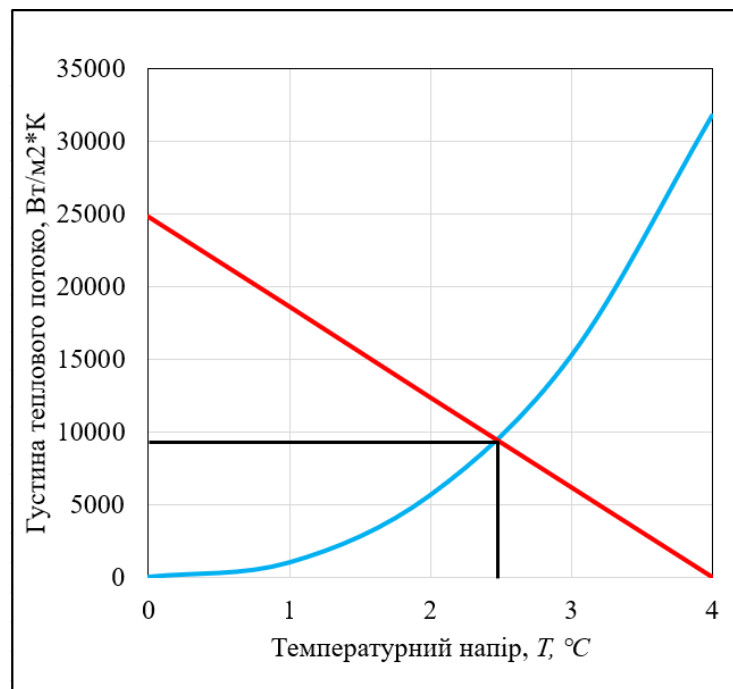


Рисунок 18. Графоаналітичний метод розрахунку густини теплового потоку

Густина теплового потоку установки становить $q_{F_{36}} = 10000$, Вт/м²

Конструктивний розрахунок апарату

Теплообмінна поверхня апарату

$$F_{36} = Q_0 / q_{F_{36}} = 1000 / 10 = 100, \text{ м}^2 \quad (23)$$

Загальна довжина труб в апараті

$$L = F_{36} / \pi d_{36} = 100 / \pi * 0,02 = 1592, \text{ м} \quad (24)$$

Довжина апарата при одному ході робочої речовини

$$l_1 = L / n = 1592 / 170 = 9,36, \text{ м} \quad (25)$$

Приймаємо два ходи робочої речовини

$$L_{an} = L / 2 = 9,36 / 2 = 4,68 \text{ м} \quad (26)$$

Приймаємо довжину апарату 5м

Загальна кількість труб в апараті

$$n_{\text{заг}} = n * 2 = 170 * 2 = 340 \quad (27)$$

Кількість труб в апараті при розміщенні шестигранником

$$n^* = 361$$

Внутрішній діаметр кожуху

$$D_g = 1,3d_{\text{зг}} m = 1,3 * 0,02 * 21 = 0,546, \text{ м} \quad (28)$$

де, m=21 – кількість труб за головною діагоналлю

Загальний вигляд апаратів для ОЦР надано на рис.19.



Рисунок 19. Зразки апаратів для ОЦР [24]

РОЗДІЛ 3
ПРАВИЛА БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК
СПОЖИВАЧІВ (ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ) [26]

3.1. Галузь застосування

1. Вимоги цих правил поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220кВ включно і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії, незалежно від їх відомчої належності і форм власності на засоби виробництва.
2. Вимоги цих правил повинні виконуватись під час експлуатації діючих електроустановок, електричних станцій, електричної частини ТАВ, ЗДТУ, районних котелень, що обслуговуються споживачами, під час виконання в них монтажних, налагоджувальних, випробувальних, ремонтних і будівельних робіт.
3. В цих Правилах викладені основні вимоги, щодо забезпечення працівників під час експлуатації електроустановок. Заходи додаткового підвищення безпеки, які передбачаються безпосередньо на місці проведення робіт, не повинні суперечити цим Правилам або послаблювати їхню дію.
4. Засоби захисту, що застосовуються відповідно до цих правил, повинні бути справні, випробувані і задовольняти вимоги Міненерго України“
5. Первинні засоби пожежогасіння, які застосовуються в електроустановках, мають відповідати правилам пожежної безпеки в Україні, затвердженим Управлінням Державної пожежної охорони МВС України 14.06.95 та зареєстрованим в Мінюсті України 14.07.95 за № 219/755.
6. Машини, механізми, пристосування і інструмент, що застосовуються в електроустановках, повинні бути справні і випробувані відповідно до чинних нормативних документів і строків.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Електрообладнання, конструкції, комплектувальні деталі, вузли вітчизняного та іноземного виробництва повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів в Україні. Електрообладнання, яке підлягає в Україні обов'язковій сертифікації, повинно супроводжуватись сертифікатом відповідності або свідоцтвом про визнання іноземного сертифіката згідно з Державною системою сертифікації УкрСЕПРО. У разі постачання електрообладнання з-за кордону організація – замовник повинна отримати сертифікат відповідності до укладення контракту на його поставку. Паспорт, інструкція та інша експлуатаційна документація, що поставляється з обладнанням чи виробами, повинна мати переклад українською (або також і російською) мовою. Можливі відхилення від нормативної документації повинні бути узгоджені з Держнаглядом, Держстандартом та організацією-замовником до укладання контракту на їх постачання. Копії погоджень і сертифікати долучаються до паспорта обладнання або виробу.

8. Під час виконання будівельно-монтажних робіт в електроустановках обов'язкове дотримання також вимог СНиП-III-4-80* “Техніка безпеки в будівництві”.

9. Під час експлуатації електроустановок необхідно дотримуватись вимог пожежної безпеки, встановлених Правилами пожежної безпеки в Україні.

10. Вимоги чинних норм галузевих правил безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів міністерств і відомств не повинні суперечити цим правилам та послаблювати їхню дію.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Організація безпечної експлуатації електроустановок

Керівник підприємства зобов'язаний забезпечити утримання, експлуатацію і обслуговування електроустановок відповідно до вимог чинних нормативних документів. Для цього він повинен:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електрогосподарства з числа інженерно-технічних працівників, які мають електротехнічну підготовку і пройшли перевірку знань у встановленому порядку (далі – особа, відповідальна за електрогосподарство);
- забезпечити достатню кількість електротехнічних працівників;
- затвердити положення про енергетичну службу підприємства, а також посадові інструкції і інструкції з охорони праці;
- встановити такий порядок, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, вели ретельні спостереження за дорученим їм обладнанням і мережами – оглядом, перевіркою дії, випробуванням і вимірюванням;
- забезпечити перевірку знань працівників у встановлені строки згідно з вимогами “\
- забезпечити проведення протиаварійних, приймально-здавальних і профілактичних випробувань та вимірювань електроустановок згідно з правилами і нормами (ПТЕ);
- забезпечити проведення технічного огляду електроустановок.

2. Фахівці служб охорони праці зобов'язані контролювати безпечну експлуатацію електроустановок і повинні мати групу IV з електробезпеки.

3. Забороняється покладати на енергослужбу обов'язки, що не входять до її професійної компетенції.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА НАУКОВОЇ РОБОТИ

4.1. Формування стрічкового графіку виконання роботи [27]

Плани виконання наукової роботи формують з використанням різних моделей, один з яких стрічковий графік.

Стрічковий графік – графічна модель з переліком робіт, що виконуються, з зазначенням часу початку робіт, часу завершення робіт і тривалості всієї роботи. Формування стрічкових графіків вимагає розрахунків трудомісткості і тривалості кожної роботи і кількості виконавців. Для цих розрахунків потрібні нормативи трудомісткості виконання робіт, диференційованих за такими ознаками, як ступінь новизни, складності, формат креслень.

Перевагами стрічкового графіка є простота, наочність, можливість відображення змісту і багатьох організаційно-економічних характеристик робіт. Створення графіку показано на конкретному прикладі.

Загальний термін роботи 3 місяці, з 11 вересня до 10 грудня 2023 року з урахуванням вихідних і святкових днів. Кількість робочих календарних днів за цей період склало 65 (5-ти денний робочий тиждень і свята).

На підставі даних таблиці 8 складаємо календарний графік виконання робіт, що відображає тривалість кожного виду робіт у вигляді відрізків часу, які розташовуються відповідно до послідовності виконання робіт.

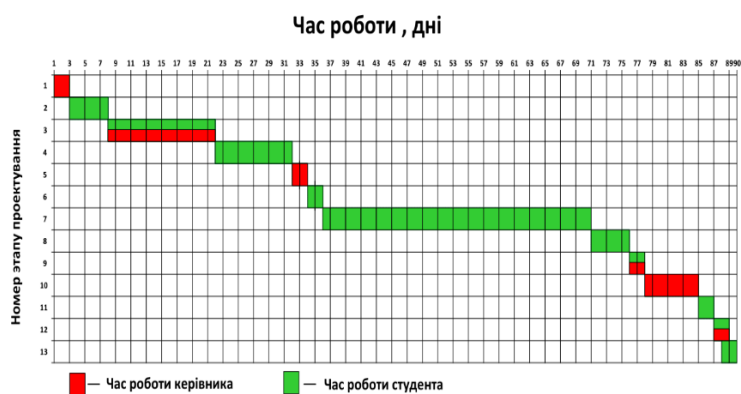


Рисунок 20. Стрічковий графік виконання роботи

Таблиця 8. Дані для створення стрічкового графіка

Етап	Назва розділу роботи	Посада виконавців	Тривалість, доба
1	Розробка та затвердження технічного завдання	Інженер / керівник	0/2
2	Вивчення технічного завдання	Інженер / керівник	5/0
3	Огляд і вивчення літератури	Інженер / керівник	14/14
4	Розробка структури об'єкта	Інженер / керівник	10/0
5	Вибір методу дослідження	Інженер / керівник	0/2
6	Огляд технічно\ літератури з теми дослідження	Інженер / керівник	2/0
7	Моделювання об'єкту	Інженер / керівник	35/0
8	Числове моделювання об'єкту	Інженер / керівник	5/0
9	Аналіз результатів досліджень	Інженер / керівник	2/2
10	Корекція моделей, що використовуються	Інженер / керівник	0/7
11	Оформлення пояснювальної записки	Інженер / керівник	2/0
12	Обговорення та затвердження результатів роботи	Інженер / керівник	2/2
13	Підготовка матеріалів роботи до захисту	Інженер / керівник	2/0
Разом:			77/29

4.2. Розрахунок вартості досліджень і розробок

Кошторис витрат на НДР являє собою вартісну оцінку використуваних у процесі виконання роботи матеріалів, енергії, основних фондів, трудових ресурсів, а також інших витрат на її створення та захист.

Витрати, що утворюють кошторис, групують відповідно до їх економічного змісту за такими елементами:

- матеріальні витрати;
- вартість робочої сили;
- амортизація основних засобів;
- інші витрати.

Матеріальні витрати надано в таблиці 9.

Таблиця 9. Список матеріальних витрат

Назва	Одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, гривень.	Сума, гривень.
Канцелярські товари	шт.	8	70	560
USB флеш-пам'ять	шт.	1	350	350
Чорнило для лазерного принтера	шт.	1	250	250
Разом				1160

Витрати на електроенергію включають до статті матеріальних

$$B_{el} = N \cdot c_{el} \cdot \tau_g \quad (29)$$

де, N – енергоспоживання обладнання кВт/год; c_{el} – вартість 1 кВт.год, гривень; τ_g – час використання обладнання під час робіт, год.

Для роботи використовували персональний комп'ютер потужністю 350Вт і принтер потужністю 10Вт. У ПІВМ є час: 50 днів, 8 годин на добу, принтера – 6 хвилин.

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Вартість 1кВт електроенергії становить – 4,30 грн/кВт.год.

Вартість електроенергії становить:

$$B_{ел} = 0,35 \cdot 4,3 \cdot 50 \cdot 8 + 0,01 \cdot 4,3 \cdot 0,1 = 602 \text{ грн.} \quad (30)$$

Загалом матеріальні витрати дорівнюють:

$$\sum B = B_m + B_{ел} = 1160 + 602 = 1762 \text{ грн.} \quad (31)$$

Витрати на заробітну плату включають заробітну плату керівника (к.т.н. і інж).

Заробітна плата нараховується, виходячи із ставки розробника і часу, що витрачається на виконання роботи.

Керівник – к.т.н. має ставку 12000 гривень, інженер має 5800 гривень.

Виходячи з витрат часу на розроблення (керівник – 29 днів, виконавець – 77 днів), зарплата дорівнює:

$$Z_{кер} = \frac{12000}{22} \cdot 29 = 15818 \text{ грн} - \text{зарплата керівника;} \quad (32)$$

грн – зарплата виконавця.

Витрати на заробітну плату:

$$Z_{ст} = \frac{5800}{22} \cdot 77 = 20300 \quad (33)$$

$$\sum Z = Z_{кер} + Z_{ст} = 15818 + 20300 = 36118 \text{ грн.} \quad (34)$$

Додаткова зарплата становить 15% від основної суми:

$$Z_{дод} = \sum Z \cdot 0,15 = 36118 \cdot 0,15 = 5418 \text{ грн.} \quad (35)$$

Фонд оплати праці:

$$\Phi_{зн} = Z_{дод} + \sum Z = 5418 + 36118 = 41536 \text{ грн.} \quad (36)$$

Загальні прямі витрати

$$\sum B_{пр} = \Phi_{зн} + \sum B = 41536 + 1762 = 43298 \text{ грн.} \quad (37)$$

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 10. Необхідні витрати

Назва витратних позицій	Сума, гривень.	Відсоток
Матеріальні витрати, $\sum B$	1762	4
Витрати на заробітну плату, Φ_{zn}	41536	96
Загальна вартість, $\sum B_{np}$	43290	

Орієнтовно вартість виконання конкретної роботи становить 43290 гривень.

ВИСНОВКИ

1. Органічний цикл Ренкіна (ОЦР) аналогічний традиційній системі перетворення енергії на основі парового циклу, але використовує органічну рідину, таку як холодоагенти та вуглеводні замість води
2. Цикл Ренкіна являє собою енергоефективне рішення для отримання електроенергії за низьких температур гріючого джерела, в діапазоні від 80°C до 100°C. Така конфігурація дозволяє використовувати теплову енергію для акумуляції, знижуючи неузгодженість виробництва та споживання електроенергії.
3. Аналіз порівняння характеристик циклів показав, що при зростанні температури кипіння у випарнику при постійній тепловій потужності виявив: зменшення масової витрати робочої речовини на 4%, підвищення енергетичної ефективності циклу на 37,5% і підвищення термодинамічної ефективності машини на 6%.
4. Отримані дані характеризують лише енергетичну частину, і повинні враховуватися при подальшому дослідженні установки батареї Карно у цілому.

					КРБ.КТ.613-03.1.9	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Dumont O, Frate GF, Pillai A, Lecompte S, Lemort V. Carnot battery technology: a state-of-the-art review. *J Energy Storage* 2022;32:101756.
2. Benato A, Stoppato A. Pumped thermal electricity storage: a technology overview. *Therm Sci Eng Prog* 2018;6:301–15.
3. Ineb Fergani, Tatiana Morosuk, Multi-objective exergy-based optimization of a Carnot battery under different charging/discharging durations, *Energy*, Volume 338, 2025, paper 138964, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138964>.
4. Atakan B, Thermodynamic analysis of carnot batteries: storage temperatures, sensitivities, and optimal parameters. Available at: SSRN <https://ssrn.com/abstract=4775278>. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4775278>
5. Vecchi A, Knobloch K, Liang T, Kildahl H, Sciacovelli A, Engelbrecht K, Li Y, Ding Y. Carnot battery development: a review on system performance, applications and commercial state-of-the-art. *J Energy Storage* 2022;55(Part):105782. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105782>. D.
6. Zhao Y, Song J, Zhu P, Wang W, Song Z, Ding Y. Carnot battery for energy storage: advancements and challenges. *Green Energy and Resources* 2023;1(4):100048. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2024.100048>
7. Chen H, Goswami DY, Stefanakos EK. A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low-grade heat. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:3059–67.
8. Vélez F, Segovia JJ, Martín MC, Antolín G, Chejne F, Quijano A. A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16 (6):4175–89.
9. Tchanche BF, Gr Lambrinos, Frangoudakis A, Papadakis G. Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – a review of various applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:3963–79.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

10. Frate GF, Ferrari L, Desideri U. Multi-criteria investigation of a pumped thermal electricity storage (PTES) system with thermal integration and sensible heat storage. *Energy Convers Manag* 2020;208:112530. Electricity Storage (HT-PTES) integrated with a parallel organic rankine cycle (ORC). Ene for different working fluids. *Energies* 2024;17:437. <https://doi.org/10.3390/en17020437>
11. Fan R, Xi H. Energy, exergy, economic (3E) analysis, optimization and comparison of different Carnot battery systems for energy storage. *Energy Convers Manag* 2022;252:115037. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115037>
12. Jiang Y, Su W, Wu C, Wang S. Enhanced thermally integrated Carnot battery using low-GWP working fluid pair: multi-aspect analysis and multi-scale optimization. *Appl Energy* 2024;376(part A):124226. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124226>
13. Vecchi A, Knobloch K, Liang T, Kildahl H, Sciacovelli A, Engelbrecht K, Li Y, Ding Y. Carnot battery development: a review on system performance, applications and commercial state-of-the-art. *J Energy Storage* 2022;55(Part):105782. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105782>. D.
14. Uhlmann, M., Heldstab, A., Bertsch, S., 2014. OptiRef: heat pump with two heat sources at different temperature levels, paper 2142. International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, Paper 1372. pp. 1–10. <<http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1372>>.
15. Jung, D., Lee, Y., Park, B., Byoung-ha, K., 2000. A study on the performance of multi-stage condensation heat pumps. *Int. J. Refrigeration* 23, 528–539. doi:10.1016/S0140-7007(99)00083-3.
16. Industrial heat pumps, IEA Heat Pump Centre Newsletter Volume 30, No. 1/2012, p. 15. <<http://www.heatpumpcentre.org>>.
17. Peterson RB. A concept for storing utility-scale electrical energy in the form of latent heat. *energy* 2011;36(10):6098–109.

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

18. Atakan B, Thermodynamic analysis of carnot batteries: storage temperatures, nsitivities, and optimal parameters. Available at: SSRN <https://ssrn.com/abstract=4775278>. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4775278>.
19. International Refrigeration and Air ConditioningConference, Purdue, Paper 1372. pp. 1–10. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1372>
20. Uhlmann, M., Heldstab, A., Bertsch, S., 2014. OptiRef: heat pumpwith two heat sources at different temperature levels, paper2142. International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue, Paper 1372. pp. 1–10. <<http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1372>>.
21. <https://mammoth-russia.ru/catalog/teplovye-nasosy/promyshlennye/?ysclid=mok4tcwmee61952145022>. аккумулятор
22. Морозюк Т.В. Теорія холодильних машин и теплових насосів. – Одеса: Студия «Негоциант», 2006. -712с.
-compressor-unit/xjf_unit_ir/xjf-compressor-unit
23. Турбіни оцр <https://aquaecology.group/katalog/turbiny-organicheskogo-tsikla-renkina-orc-turbines/?ysclid=mpw7gynb2z488007478>
24. Теплообмінні апарати SABROE <https://www.johnsoncontrols.sg/industrial-refrigeration/sabroe-compressors/smc-100-single-stage>
25. Вассерман, О. А. Технічна термодинаміка і теплообмін : підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинько. - Одеса : Фенікс, 2019. - 496 с.<https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONAHNT.1596075>
26. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів <https://leg.co.ua/knigi/pravila/pravila-bezpechnoyi-ekspluataciyi-elektroustanovok-spozhivachiv.html>
27. Розрахунок вартості на науково-дослідну розробку (НДР). <https://lektsii.org/8-24777.html>

					<i>КРБ.КТ.613-03.1.9</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		