

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Підвищення ефективності акумуляторних
батарей електричних автомобілів**

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу групи ЕТс-22-2


Підпис

Бись Я.С.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата


д.т.н., проф. Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

к.т.н., доц. Тимощук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

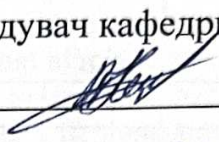
2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



2. 06. 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бись Ярослав Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи «Підвищення ефективності акумуляторних батарей електричних автомобілів»

Керівник роботи **Скиба М.Є., д.т.н, професор**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: підвищити ефективність акумуляторних батарей електричних автомобілів, ємність розрахункового акумулятора 5000 мА.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Аналіз та класифікація електричних автомобілів. Конструкції електрокарів.
Акумулятори для електричних авто. Розрахунок теплових процесів в акумуляторних батареях.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Будова силових батарей електричних автомобілів. Документ оглядовий (A1).
Аркуш 2. Система автоматичного контролю, діагностики і підтримки температури в силових батареях електромобілів. Схема структурна (A1).
Аркуш 3. Типовий акумуляторний блок і його вентиляція. Документ ілюстраційний (A1).
Аркуш 4. Модель базового проєкту батарей. Документ ілюстраційний (A1).
Аркуш 5. Результати моделювання. Документ ілюстраційний (A1).
Аркуш 6. Результати моделювання. Документ ілюстраційний (A1).
Аркуш 7. Результати моделювання. Документ ілюстраційний (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

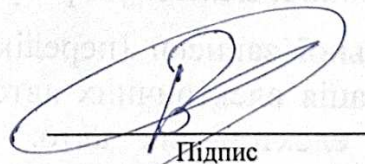
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих типів силових батарей електричних автомобілів	05.05.25 р.	
2. Розробка діагностики силових батарей електроавтомобілів	20.05.25 р.	
3. Розрахунки розсіювання тепла силової батареї електромобіля	5.06.25 р.	

Студент


Підпис

/Бись Я.С./
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

/Скиба М.Є./
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Бись Ярослав Сергійович**
2. Тема бакалаврської роботи **Підвищення ефективності акумуляторних батарей електричних автомобілів**

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 86

5. У роботі розглянуто і вирішено питання підвищення ефективності акумуляторних батарей електричних автомобілів шляхом використання нового типу системи вентиляції повітряно-охолодження для акумуляторного блоку електромобіля, що відрізняється від традиційної послідовної системи вентиляції, шляхом зміни розташування вхідних та вихідних отворів охолоджувального повітря, форми вихідних отворів та поєднання з нерівномірним розміром зазору між елементами.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі зроблено аналіз та класифікація існуючих електричних автомобілів. Проведено аналіз та характеристика акумуляторів, що використовуються у електричних автомобілях. Особливу увагу у розділі приділено будові та експлуатації літєвих батарей, основним варіантам їх технологій. Увагу приділено такому явищу як деградація АКБ електромобіля і шляхи її зменшення.

У другому розділі було розглянуто методи та підходи до моніторингу та управління технічним станом акумуляторів електромобілів. Особлива увага приділялася системам керування батареями, які відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності роботи акумуляторів. Загалом, у розділі підкреслено важливість комплексного підходу до моніторингу та управління акумуляторами електромобілів, що включає використання сучасних технологій та методів для забезпечення їхньої довговічності та ефективності.

Третій розділ присвячено основній меті роботи, а саме підвищенню ефективності використання акумуляторів електричних автомобілів. За допомогою сучасних методів було проведено моделювання температури, що виділяється при експлуатації батарей електроавтомобілів, теплових потоків та вентиляції батареї. Отримані результати дозволили запропонувати новий тип системи вентиляції повітряного охолодження для акумуляторного блоку електромобіля, що відрізняється від традиційної послідовної системи вентиляції, шляхом зміни розташування вхідних та вихідних отворів охолоджувального повітря, форми вихідних отворів та поєднання з нерівномірним розміром зазору між елементами. Це дозволило ефективно зменшити температуру в батареї, підвищити її ефективність та підвищити надійність акумуляторного блоку.

У висновках наведено рекомендації щодо підвищення ефективності використання акумуляторних батарей електричних автомобілів шляхом поліпшення системи вентиляції повітряного охолодження акумуляторного блоку.

Підпис студента _____

« 2 » 06 20 25 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К

Протокол 4 від « 28 » 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 5/А

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -

Технічний секретар _____

« 28 » 06 20 25 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих типів силових батарей електричних автомобілів	10
1.1 Типи існуючих електричних автомобілів	10
1.2 Основні вузли електричного автомобіля	15
1.3 Типи силових акумуляторних батарей електричних автомобілів	21
1.4 Висновки до першого розділу	32
2 Розробка діагностики силових батарей електроавтомобілів	33
2.1 Розробка системи контролю, діагностики і підтримання температури електроліту в акумуляторних батареях силової установки	33
2.2 Розробка системи автоматичного контролю і діагностики густини електроліту в акумуляторних батареях гібридної силової установки	37
2.3 Розробка пристрою для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінювання енергобалансу	40
2.4 Висновки до другого розділу	44
3 Розрахунки розсіювання тепла силової батареї електромобіля	46
3.1 Вибір методики для розрахунку утворення та розсіювання тепла силовою батареєю електромобіля	46
3.2 Розрахунок кількості теплоти що утворюється в батареї електроавтомобіля	50
3.3 Моделювання процесу теплопередачі в батареї	52
3.4 Моделювання базового проекту батареї	58

БРМА25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Підвищення ефективності акумуляторних батарей електричних автомобілів Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Бись	Скиба	<i>[Signature]</i>			б	4	82
Перевір.			<i>[Signature]</i>			ХНУ гр. ЕТм-22-2		
Н.контр.		<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>					
Затвер.		Неймак	<i>[Signature]</i>					

3.5	Оптимізація конструкції батареї	62
3.7	Висновки до третього розділу	84
	Висновки	86
	Перелік джерел посилання	87

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Електричні автомобілі не є чимось новим, вони існують майже 200 років, задовго до розробки двигуна внутрішнього згорання. Перший практичний електромобіль з'явився у 1830-х роках і був створений британським винахідником Робертом Андерсоном. Його автомобіль працював на не заряджених акумуляторах і мав багато недоліків, включаючи максимальну швидкість 3 км/год та запас ходу близько трьох кілометрів. Потім Голландія, Велика Британія та Сполучені Штати випустили одні з перших електромобілів, але лише у другій половині 19 сторіччя британські та французькі винахідники створили одні з перших практичних електромобілів із більшим запасом ходу та швидкістю.

На початку 20-го століття, коли промислова революція досягла свого апогею, а Захід став «процвітаючим», на новоствореному ринку автомобілів з'явився більший вибір транспортних альтернатив - тепер вони пропонувалися в електричному, паровому або бензиновому варіантах. Таким чином, почалася війна форматів, у якій двигун внутрішнього згорання вийшов переможцем завдяки простішим, легшим і дешевшим системам приводу, великій кількості дешевого палива (газу/бензину) та масовому виробництву автомобілів, піонером якого був Генрі Форд у США.

У той час популярність бензинових автомобілів зростала, важкі непрактичні парові транспортні засоби зникли, а електромобілі стали не дешевим сектором, що вмирає.

Електромобілі були практично безшумними, не мали передач, тому ними було легко керувати, і вони не викидали шкідливих забруднюючих речовин, як це робили на той час парові або бензинові транспортні засоби. Електромобілі швидко стали популярними серед міських жителів, особливо серед жінок. На той час акумулятори можна було перезаряджати, і оскільки

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

доступ до електроенергії в 1910-х роках став більш поширеним, зарядка електромобілів стала більш популярною.

Популярність електромобілів викликала величезний інтерес серед багатьох винахідників та новаторів. У США Томас Едісон палко вірив, що електромобілі є найкращими технології та працювали над створенням кращого акумулятора для електромобілів.

Протягом перших 20 років 20-го століття такі міста, як Амстердам і Нью-Йорк, могли похвалитися парком таксі на акумуляторних батареях. У США майже третина транспортних засобів становили електромобілі. Але дешевша енергія у вигляді бензину почала впливати на дорожчу та менш практичну індустрію електромобілів, що тільки зароджувалася. Однією з найбільших перешкод, яка започаткувала занепад електромобілів, було те, що електроенергія була доступна лише в містах, що робило подорожі на далекі відстані практично неможливими.

Ціни на нафту та дефіцит бензину досягли нового рівня в 1970-х роках, кульмінацією якого стало арабське нафтове ембарго в 1973 році, що призвело до зростання світової обізнаності про необхідність зниження залежності світу від нафти [3]. Деякі виробники автомобілів почали досліджувати можливості використання альтернативного палива для живлення автомобілів, включаючи відродження розробки електромобілів. Тим не менш, ці нещодавно розроблені автомобілі або транспортні засоби все ще страждали від слабких сторін електромобілів початку 1900-х років порівняно з автомобілями на бензині. Практичність запасу ходу та продуктивність все ще робили їх небажаними.

Відсутність суспільного інтересу не завадила новаторам, інженерам та вченим розвиватися в цьому відродженому новому секторі. Протягом наступних 20 років автомобільні компанії прагнули перетворити існуючі моделі на електричні версії, сподіваючись, що вони зможуть удосконалити

технологію акумуляторів, досягаючи швидкості, практичності та запасу ходу, ближчого до їхніх бензинових родичів.

У вісімдесятих роках спостерігачі уважно стежили за розвитком подій у Великій Британії, коли британський винахідник Джон Гуденаф та його команда в Оксфордському університеті розробили сучасний літій-іонний акумулятор. Він виявився легким та мав достатньо великий енергетичний запас. Саме те, чого чекали творці перших електромобілів, намагаючись конкурувати з традиційними забруднюючими навколишнього середовища та галасливими автомобілями з двигунами внутрішнього згоряння.

Одним із найважливіших поворотних моментів стала поява Nissan Leaf, випущеного в Японії та США у 2010 році [4]. Leaf став першим у світі повністю електричним автомобілем масового виробництва. Він поступово набирал популярності, стримувану лише відсутністю зарядних станцій. Відтоді зростання цін на бензин та зростаюча стурбованість щодо забруднення вуглецем призвели до того що Nissan Leaf став найпопулярнішим повністю електричним автомобілем у світі за останнє десятиліття.

Водночас розвивалися нові технології акумуляторів, що сприяло покращенню запасу ходу виключно електромобілів та зниженню вартості літій-іонних акумуляторів більш ніж на 50 відсотків протягом перших чотирьох років. Акумулятор раптом став товаром, а вдосконалені технології виробництва та нові хімічні розробки допомогли знизити загальну кінцеву вартість електромобілів, зробивши їх більш бажаними та доступними для покупців автомобілів.

Потім з'явилася Tesla. Компанія, заснована американцями Мартіном Еберхардом та Марком Тарпеннінгом [5]. Вони назвали компанію на честь сербського винахідника та розробника змінного струму Ніколи Тесли. Хоча їхній перший автомобіль, Tesla Roadster, був розроблений та побудований у Великій Британії на базі існуючого автомобіля, спроектованого та

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

побудованого Lotus, їх прорив відбувся у 2012 році, коли вони випустили свій перший власноруч зібраний розкішний седан Tesla S. Багато коментаторів вважають, що ключем до успіху Tesla з Model S була розробка та впровадження зарядних станцій Tesla, розташованих у стратегічних місцях по всій території США на більшості головних автомагістралей країни. Ця стратегія була відтворена на всіх нових ринках Tesla з великим успіхом. Зі зростанням кількості електромобілів на цьому новому ринку, інфраструктура зарядки стає важливим питанням. Без національної мережі швидких зарядних станцій для електромобілів попит на них залишатиметься низьким. Хоча на більшості розвинених ринків мережа розвивається і має підтримувати попит протягом багатьох років.

Хотілося би відмітити наступне у 2009 році Естонія стала першою країною у світі, яка створила загальнонаціональну мережу швидкісної зарядки електромобілів.

Поточний стан світової зарядної інфраструктури свідчить про те, що Західна Європа, США, Японія та Китай до 2014 року побудували понад 50 тисяч комунальних зарядних станцій. Крім того, ЄС закріпив законодавчо директиву щодо забезпечення мінімального покриття зарядною інфраструктурою по всій території країн ЄС [6].

До 2019 року більшість великих виробників автомобілів прийняли стратегію електрифікації. У США та Європі налічується від 40 до 50 різних моделей повністю електричних електромобілів із зарядними пристроями. Китай очолює світовий рейтинг найбільш вироблених електромобілів та найбільшої мережі зарядних станцій та найбільших у світі парків електричних таксі та автобусів [7]. Зараз вони є світовим лідером у впровадженні електромобілів та електрифікованих важких комерційних транспортних засобів, значно зменшуючи забруднення в країні, яка, зрештою, є найбільш забрудненою у світі.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТИПІВ СИЛОВИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Типи існуючих електричних автомобілів

Існує п'ять основних варіантів транспортних засобів, які умовно об'єднані під терміном EV або електромобіль. У найчистішому вигляді існує BEV або акумуляторний електромобіль, який працює виключно від заряджених акумуляторів. Ці транспортні засоби швидко стають першим і найекологічнішим вибором серед електромобілів. Нижче було наведено типи електромобілів які перелічені хронологічно в їхньому екологічному рейтингу, починаючи з найефективніших.

BEV - акумуляторний електромобіль.

Економний електромобіль живиться від 1...2 непрямих електродвигунів або від 4 інтегрованих ступінчастих двигунів, кожен з яких керується електронним контролером двигуна, він керує такими функціями, як диференціал підвищеного ковзання, крутний момент, рекуперативне гальмування та поступове перемикання швидкості.

Безпосередньо електромобіль отримує електроенергію, підключаючись до громадського або домашнього зарядного пристрою, який зазвичай підключається безпосередньо до електричної мережі або через BESS (систему накопичення енергії в акумуляторах), яка часто використовується для збору енергії від сонячної, вітрової або інших альтернативних джерел енергії. Цей варіант електромобіля не використовує традиційне паливо (газ, бензин, дизель тощо) для живлення, а також не має жодних викидів вихлопних газів. Типовими прикладами є найновіші моделі Nissan Leaf, BMW i3 BEV, Chevrolet Volt, Tesla S та Jaguar iPace.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

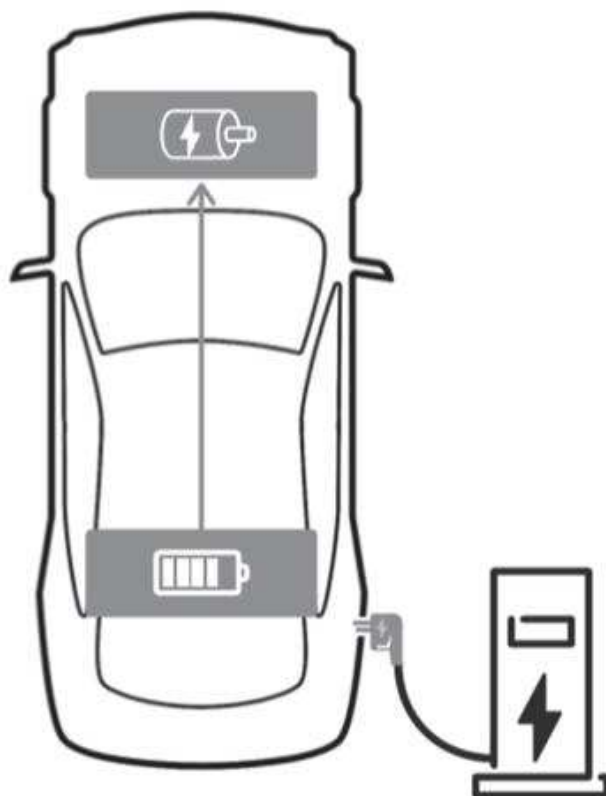


Рисунок 1.1 - Електричний транспортний засіб на акумуляторі (BEV)

Електромобіль на паливних елементах (водень) FCEV.

Електромобілі типу FCEV працюють на водневому паливному елементі. Зазвичай вони подають стабільний струм до вбудованого акумуляторного блоку автомобіля через систему керування акумулятором, і тоді автомобілем можна керувати так само, як і автомобілем, що працює виключно на акумуляторах. FCEV має схожі екологічні характеристики з BEV, оскільки він також не викидає забруднень вихлопними газами, а лише чисту воду, побічний продукт хімічної реакції, спричиненої паливним елементом, який перетворює водень і кисень з повітря на електрику. У деяких електромобілях на паливних (FCEV) електроенергія потім накопичується у бортових акумуляторах, подібно до BEV, і накопичена енергія використовується для регулювання потужності, що приводить у рух двигуни електромобіля.

Водень зберігається в безпечних резервуарах всередині автомобіля, і його потрібно заправляти на одній з небагатьох заправних станцій по всій країні. Принцип роботи електромобілів на паливних елементах схожий на автомобілі REHEV, оскільки паливний елемент часто виконує функцію генератора електроенергії для заряджання невеликого комплекту акумуляторів. В інших конструкціях FCEV паливний елемент керує двигунами безпосередньо через систему керування двигуном.

Тим не менше, деякі транспортні засоби на паливних елементах можуть мати незначне шумове забруднення через шум компресора, що використовується в конструкції, залежно від варіанта транспортного засобу. Як правило, електромобілі з паливними елементами (FCEV) є складнішими, ніж прості електромобілі (BEV), і потребують набагато більше обслуговування. Крім того, інфраструктура зарядних станцій воднем наразі обмежена. Але головною перевагою є відсутність забруднення вихлопними газами в жодному з варіантів FCEV. Типові приклади FCEV включає Hyundai NEXO, Toyota Mirai і Honda Clarity.

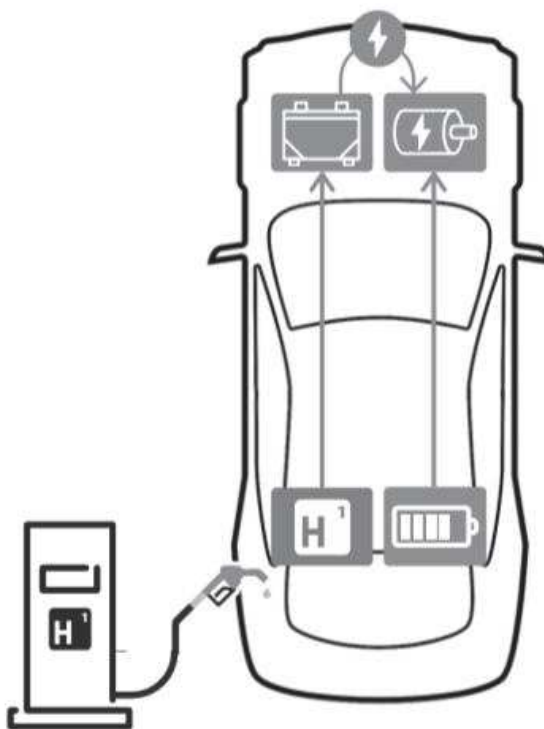


Рисунок 1.2 - Електромобіль на паливних елементах (FCEV)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
12

Гібридний електромобіль PHEV.

PHEV використовують невеликий акумуляторний блок з нижчою напругою порівняно з BEV та використовуються для живлення допоміжного електродвигуна, який підключений до звичайної системи трансмісії або, в деяких випадках, живить задні колеса, тоді як основний двигун внутрішнього згоряння (ICE) живить передні колеса. Вбудований акумуляторний блок набагато менший, ніж у BEV, і забезпечує значно менший запас ходу «повністю на електротязі» порівняно з BEV.

Гібридний автомобіль отримує електроенергію, підключаючись до громадського або домашнього зарядного пристрою, який зазвичай підключається безпосередньо до електричної мережі, або через BESS (систему накопичення енергії в акумуляторах), яка часто використовується для збору енергії від сонячної, вітрової або інших альтернативних джерел енергії.

Основним джерелом енергії для гібридних автомобілів з підзарядженим двигуном є бензин або дизельне паливо. Цей варіант електромобіля справді створює значні викиди вихлопних газів і зазвичай може працювати від акумулятора лише короткий час і на відстані від 10 до 50 кілометрів, залежно від моделі. Типовими прикладами є Mitsubishi PHEV, Range Rover Sport PHEV, Audi A3 PHEV та Cadillac CT6 PHEV.

Гібридний електромобіль HEV.

Варіанти HEV поєднують акумуляторну батарею з двигуном внутрішнього згоряння. Цей тип електромобіля має допоміжний електричний двигун, який зазвичай допомагає основному двигуну через зв'язок з його основною системою трансмісії. Він часто оснащений рекуперативним гальмуванням.

Гібридні електромобілі (HEV) використовують бензин або дизельне паливо як основний джерело живлення та не мають зовнішнього пристрою чи

функції для заряджання акумуляторної батареї за допомогою зовнішнього зарядного пристрою. Акумулятори найчастіше заряджаються двигуном, а також під час гальмування. Цей варіант електромобіля створює значні викиди вихлопних газів і зазвичай може їздити від акумулятора лише на короткі відстані від 9 до 35 кілометрів, залежно від моделі. Типовими прикладами цього типу автомобілів є всі гібриди Toyota, Lexus та Hyundai.

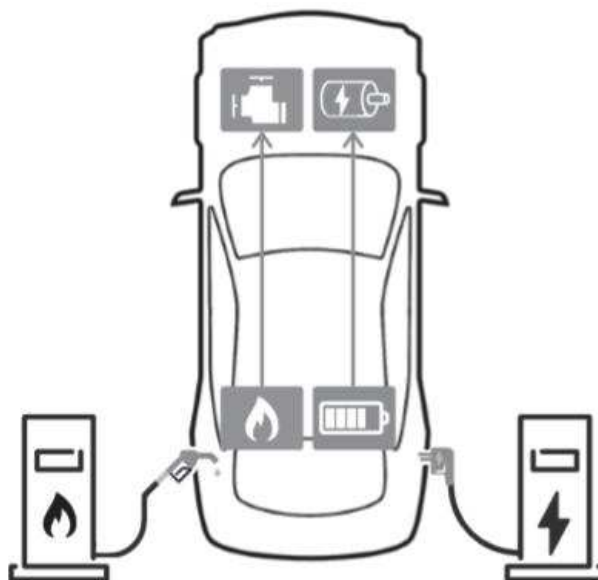


Рисунок 1.3 - PHEV - Гібридний електромобіль

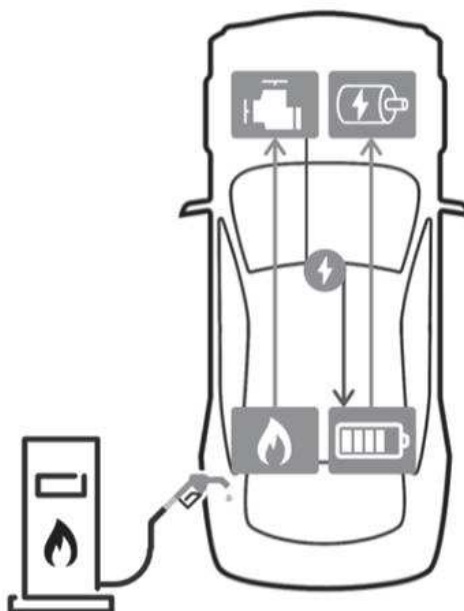


Рисунок 1.4 - Гібридний електромобіль (HEV)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
14

Гібридний електромобіль з подовжувачем запасу ходу REHEV.

Варіанти REHEV схожі на чисті електромобілі BEV, але з додатковою безпекою запасу ходу, як у бензинового генератора. Генератор не підключений безпосередньо до трансмісії, а натомість заряджає акумуляторну батарею безпосередньо.

Цей варіант електромобіля зараз втрачає популярність, а при використанні в режимі подовження запасу ходу створює вихлопні гази. Прикладами є BMW i3 REX, Vauxhall Ampera REX та Chevrolet Volt REX.

1.2 Основні вузли електричного автомобіля

Електричні транспортні засоби живляться виключно від інтегрованого акумуляторного блоку, який заряджається від побутової настінної зарядки з повільною зарядкою, швидкої вуличної зарядної станції або швидкої зарядки. З цієї причини повністю електричні електромобілі також називають під'єднуємими до мережі.

Зазвичай, усі електромобілі мають один або два електродвигуни, а не двигун внутрішнього згорання. Деякі електромобілі навіть мають комбіновані двигуни, вбудовані в маточини, на всіх 4 колесах. Усі електромобілі використовують великий тяговий акумуляторний блок для живлення електродвигуна, і для зарядки їх необхідно підключати до зарядної станції або розетки. Оскільки транспортний засіб працює на електриці, він не викидає вихлопних газів з вихлопної труби та не містить звичайних механізмів рідкого палива, таких як паливний трубопровід, паливний бак або паливний насос.

Складові вузли електричних автомобілів та їх призначення.

Допоміжний акумулятор.

У транспортному засобі з електроприводом допоміжний акумулятор забезпечує 12 В електроенергії для живлення аксесуарів автомобіля.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5- Електричний транспортний засіб на акумуляторі

Порт зарядки.

Дозволяє підключати транспортний засіб до зовнішнього джерела змінного або постійного струму джерела живлення для заряджання тягового акумуляторного блоку.



Рисунок 1.6 - Зарядний порт та бортовий зарядний пристрій (ЗП).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
16

Перетворювач постійного струму.

Цей пристрій перетворює постійний струм високої напруги з тягового акумуляторного блоку для зниження напруги постійного струму до 12 В, необхідної для живлення аксесуарів автомобіля та заряджання допоміжного акумулятора.



Рисунок 1.7 - Перетворювач постійного струму

Тяговий електричний двигун.

Живиться від системного акумуляторного блоку, цей двигун приводить у рух колеса транспортного засобу. Багато нових електромобілів оснащені двигунами-генераторами, які функціонують як для приведення в дію, так і для рекуперації/гальмування.



Рисунок 1.8 – Електричний двигун електроавтомобіля

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
17

Вбудований зарядний пристрій.

Живлячись від вхідного змінного струму, що постачається через блоки повільного та швидкого заряджання, вбудований зарядний пристрій перетворює змінний струм на постійний для заряджання основного акумулятора. Він керує такими функціями акумулятора, як струм, напруга, стан заряду та температура, під час заряджання основного акумуляторного блоку.

Контролер силової електроніки.

Цей пристрій контролює потік електричної енергії який постачається головною батареєю, контролюючи швидкість головного приводного двигуна та крутний момент або потужність, яку він виробляє.

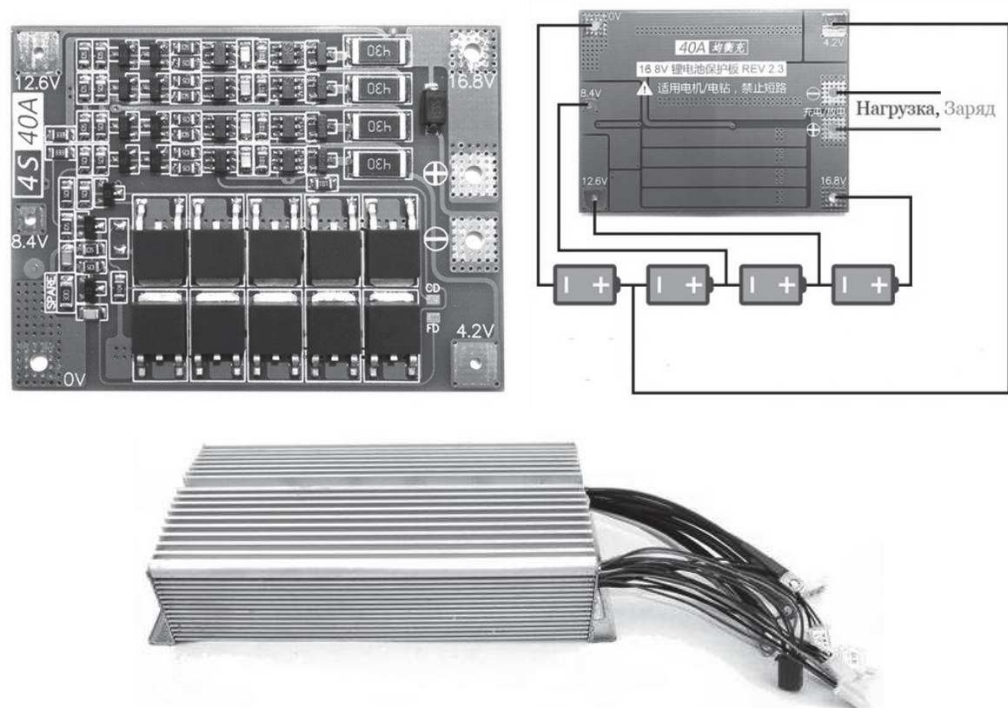


Рисунок 1.9 - Контролер BMS 4S 40A, схема підключення з балансуванням та загальний вигляд

Система термічного охолодження.

Ця система підтримує правильний робочий діапазон температур електродвигуна, силової електроніки та інших чутливих до температури компонентів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
18

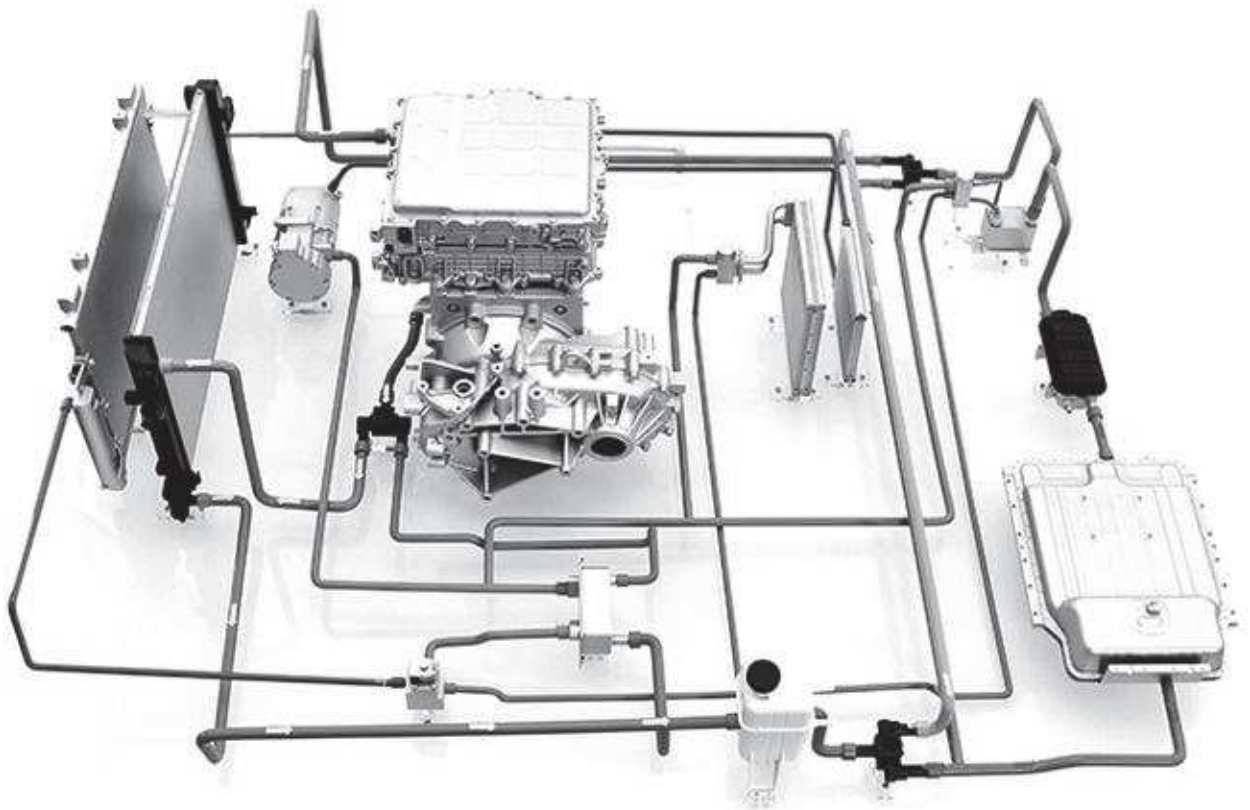
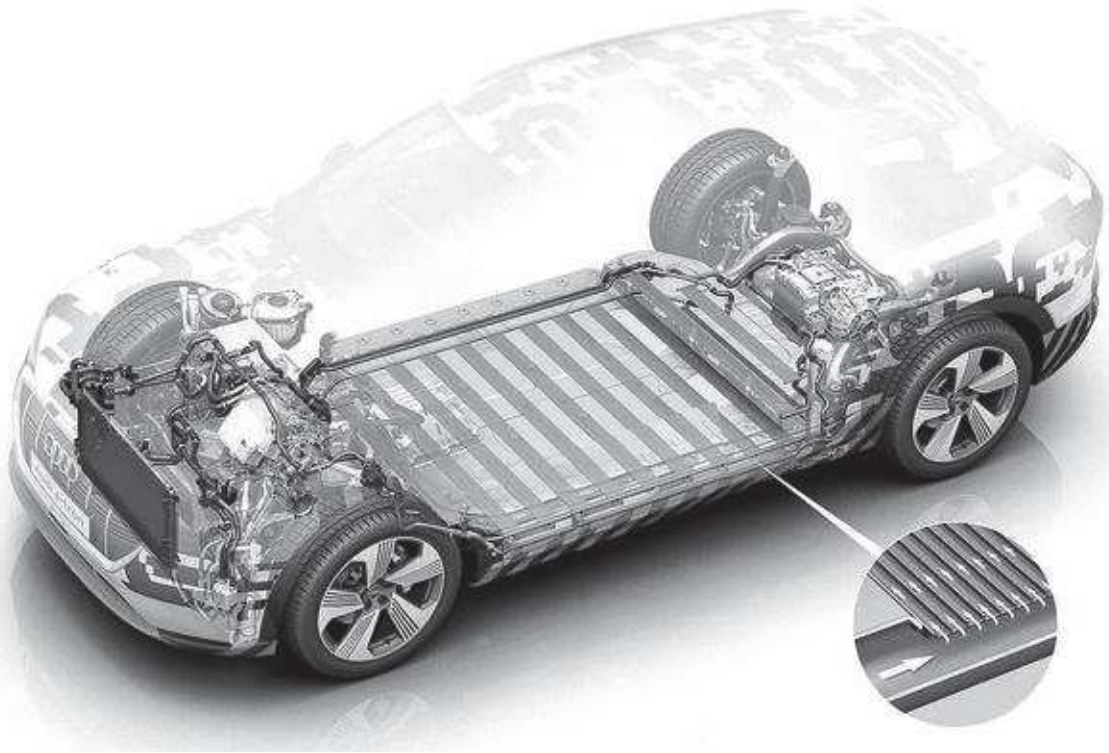


Рисунок 1.10 - Теплова система (система охолодження)

Тяговий акумуляторний блок.

Зберігає електроенергію для використання рушійною системою.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
19

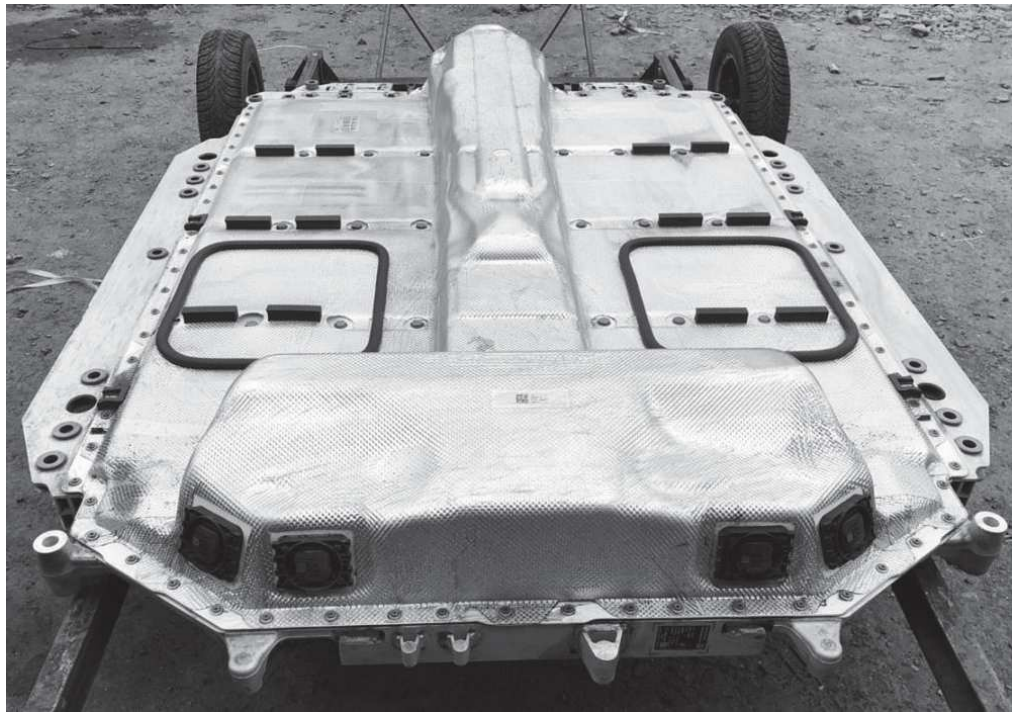


Рисунок 1.11 - Акумуляторна батарея Li-ion 398V 210Ан 84 kWh
BMW i4 G26

Трансмiсія.

Трансмiсія забезпечує передачу механiчної потужностi, отриману вiд тяговий електродвигун для приводу колiс.



Рисунок 1.12 – Редуктор електроавтомобiля

Зм.	Арк.	№докум.	Пiдпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
20

1.3 Типи силових акумуляторних батарей електричних автомобілів

Існує два типи акумуляторів: первинні та вторинні. Первинні акумулятори мають обмежений термін служби, виробляючи попередньо накопичену енергію, і зазвичай їх не можна перезаряджати. Вторинні акумулятори, встановлені в електромобілях, – це акумуляторні елементи, які накопичують електроенергію після перезаряджання. Акумулятори зазвичай розташовуються посередині шасі з більшою масою ззаду, щоб забезпечити кращу безпеку та розподіл ваги. Акумулятори для електромобілів спочатку були свинцево-кислотними (LA) понад століття, поки нікель-метал-гідридні акумулятори (NiMH) не здобули популярність завдяки своїй меншій вазі та високій щільності струму або заряду. Але зараз майже всі сучасні електромобілі використовують певний варіант літєвих акумуляторів (літій-іонних).

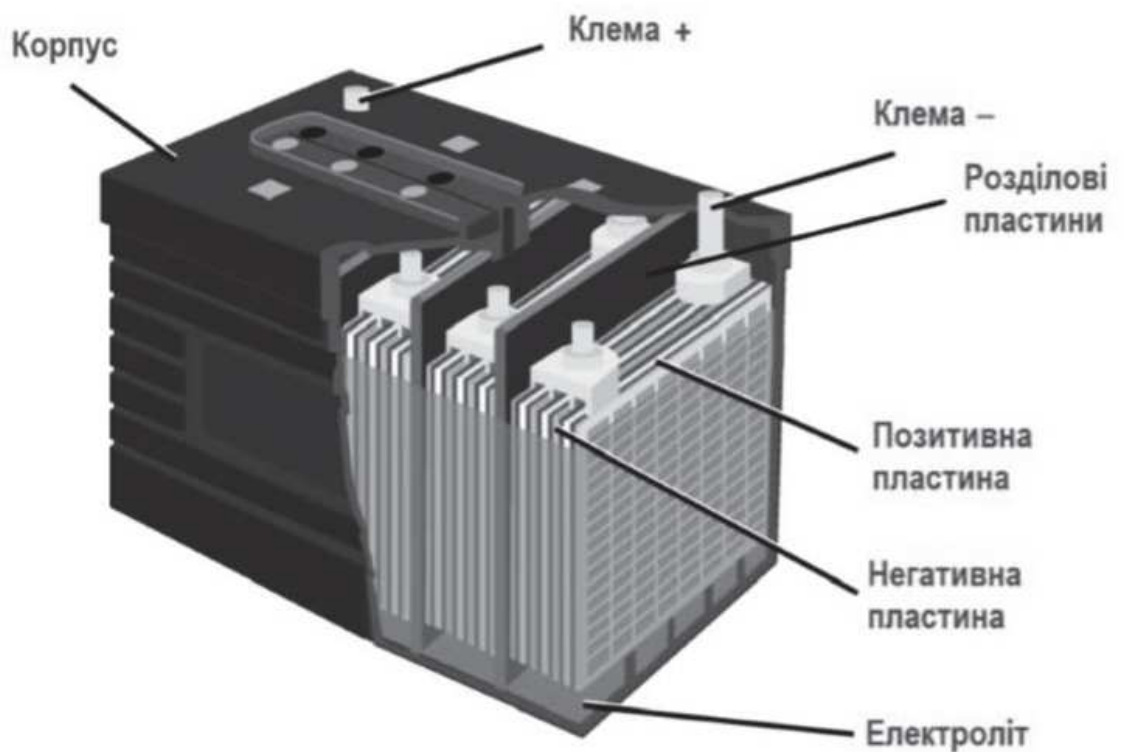


Рисунок 1.16 – Акумуляторна батарея автомобіля

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
21

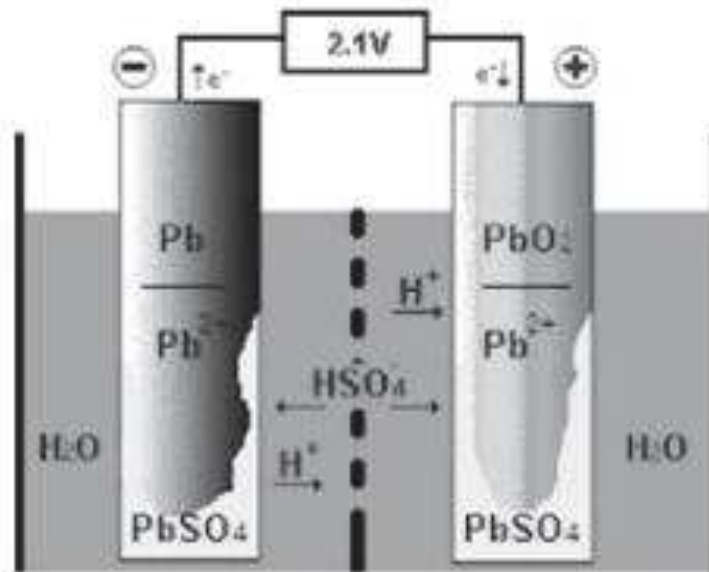


Рисунок 1.17 - Схема свинцево-кислотного акумулятора

Маса та вага електромобілів завжди були поширеною проблемою проектування. Акумулятор та електрична силова установка зазвичай становлять 40% ваги електромобіля, тоді як в автомобілі на видобувному паливі двигун, система охолодження та допоміжні пристрої становлять лише від 25% до 30% ваги автомобіля, залежно від розміру паливного бака.



Рисунок 1.18 - Нікель-метал-гідридний акумулятор (NiMH) у розрізі

Однак новіші технології, що розробляються, можуть запропонувати альтернативи, які будуть більш прийнятними для широкої громадськості та, як і електромобілі на паливних елементах (BEV), також можуть мати

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

нульовий рівень викидів під час використання. Наприклад, електромобілі на паливних елементах мають хімічне джерело – водень, етанол, метан або навіть нафтовий бензин, який виробляє електрони, що генерують електроенергію для приведення в рух силового агрегату. Недоліком FCEV є те, що в жодній країні поки що немає єдиної національної інфраструктури для заправки воднем, і, звичайно, є аспект безпеки. Але оскільки переважна більшість паливних елементів виробляють постійну напругу, їм потрібен комплект акумуляторів, щоб поглинати вихідну енергію паливних елементів та зберігати її для більш контрольованої вихідної потужності для живлення електромобіля. Літєві акумулятори зараз є фактичним вибором для електромобілів, але їхньому успіху все ще може перешкоджати обмежене постачання сировини, необхідної для задоволення величезного попиту на виробників акумуляторів, оскільки світ прямує до зеленого, без вуглецевого майбутнього.

1.3.1 Літєві батареї

Сьогодні в електромобілях широко використовується 5 основних літєвих технологій, дві з яких використовуються в більшості електромобілів: літій-нікель-марганцево-кобальтова (LNMC) та літій-залізо-фосфатна (LFP). У цьому розділі увагу зосереджено виключно на літєвій технології, що використовується в електромобілях, та показано, як заряджається та розряджається простий літєвий елемент, підсумовуючи основні хімічні властивості, сильні та слабкі сторони, а також характеристики літію.

Як працює літєва батарея

Наведена нижче діаграма (рис. 13) ілюструє основну функцію літєвої батареї в її найпростішому вигляді. Зображення розгорнуто, щоб чітко показати складові частини елемента. Хоча насправді цей елемент може мати дві основні форми:

Циліндричні: схожі за стилем та зовнішнім виглядом на звичайні батарейки типу АА для ліхтарика.

Призматичний: тут 5 різних шарів затиснуті та захищені у тонкій стрічці, зазвичай захищеній чохлаом зі сплаву.

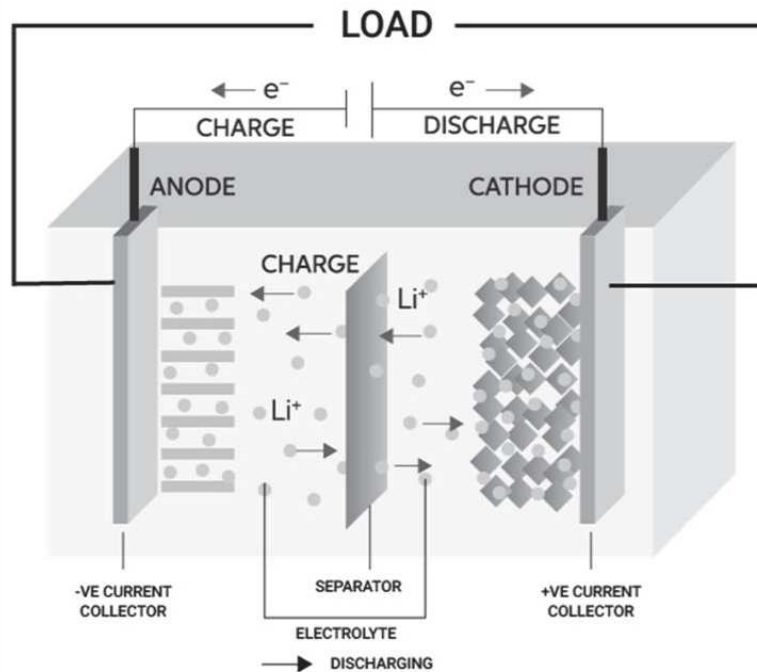


Рисунок 19 – Принцип роботи літієвої батареї [4]

Розряд. Коли літієва комірка розряджається, іони літію рухаються від негативного електрода (анода) через електроліт (в'язку хімічну суміш) до позитивного електрода (катода), виробляючи енергію, яка живить акумулятор.

Заряд. Під час заряджання акумулятора відбувається хімічна суміш оксидів металів, позитивний електрод передає частину своїх іонів літію, які протікають через електроліт до негативного електрода (анода) і залишаються там. Таким чином, під час процесу заряджання акумулятор споживає та накопичує енергію.

Вартість, безпека та щільність енергії.

З точки зору виробництва, існують чотири ключові області невизначеності. Усі вони безпосередньо впливають на ціну, безпеку та

вартість виробництва, а також на вартість виходу на ринок. Одне можна сказати абсолютно точно: вартість акумуляторів знизиться протягом наступних років завдяки технологічному прогресу, збільшенню виробництва, модульній стандартизації та стандартизації зарядних пристроїв.

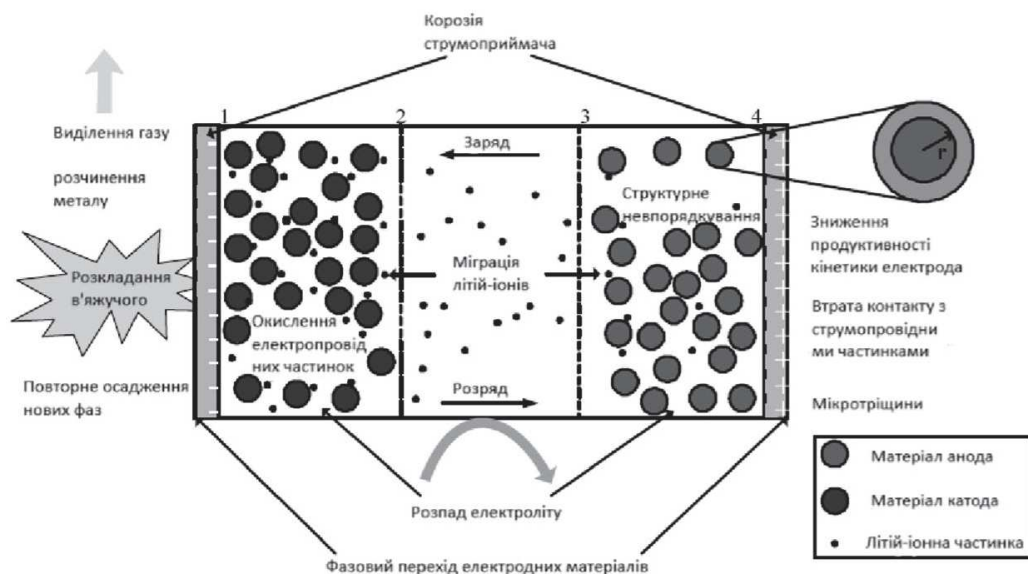


Рисунок 1.20 – Схема старіння літійової батареї [4]

При проектуванні та прогнозуванні ефективності електричних автомобілів потрібно аналізувати та вирішувати наступні питання, а саме:

який вплив матиме вартість розробки різних типів акумуляторів на розвиток ринку електромобілів?

якими будуть масштаби прогресу протягом наступного десятиліття та які ключові перешкоди необхідно буде подолати?

Враховувати:

розвиток клітинної хімії – технологія, що розвивається.

доступність рідкоземельних матеріалів – ключові компоненти літійових батарей технологія.

невизначений масштаб споживчого та комерційного попиту.

політичні вказівки від національних та місцевих органів влади.

без державної допомоги обсяг досліджень та потенціал розвитку.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Все це може вплинути на довгострокове зниження вартості, підвищення щільності забудови та загальну вартість електромобілів загалом.

1.3.2 Основні варіанти технології літєвих акумуляторів

Нещодавній бум інновацій у сфері літій-іонних акумуляторів зумовлений прагненням галузі подолати основні компроміси в технології акумуляторів. Існує шість аспектів у технічних областях проектування акумуляторів, які впливають один на одного. В ідеалі всі 6 аспектів кожного хімічного складу акумулятора повинні мати високі бали у всіх шести областях. Які ж ці аспекти:

Продуктивність: Пікова потужність за високих і низьких температур, теплове управління та аналіз стану заряду.

Термін служби: вимірюється кількістю років, протягом яких батарея пропрацює, конструктивні параметри та кількість циклів заряджання.

Питома потужність: кількість енергії, яку акумулятор може зберігати на кілограм ваги. Чим вища безпечна швидкість розряду енергії, тим вища номінальна потужність.

Питома енергія: кількість енергії, яку акумулятор може зберігати на кг вага.

Вартість: Завданням на найближчі роки є зниження витрат на виробництво акумуляторів шляхом прогресу в дослідженнях і розробках, та масштабування виробництва для збільшення обсягів виробництва. Ефект масштабу є ключовим у цій галузі, оскільки ринок зростає.

Безпека: характеристики безпеки, вбудовані в конструкцію використовуваної хімії у кожній технології. Наразі LFP та NCA пропонують найвищий ступінь безпеки, хоча твердо тільні акумулятори обіцяють ще вищий рівень безпеки в найближчому майбутньому. Існують вбудовані конструктивні контрзаходи, такі як спеціальні коробки або покриття акумуляторних батарей, щоб запобігти поширенню тепла або полум'я.

Наразі не існує окремої технології, яка б досягала найвищих оцінок за всіма шістьма ключовими факторами акумуляторів. Тому вибір хімічного складу та технології акумуляторів кожним виробником електромобілів є компромісом щодо одного або двох аспектів, спрямованим на оптимізацію експлуатаційних функцій електромобіля порівняно із загальною вартістю та продуктивністю електромобіля. Це питання нічим не відрізняється від звичайного двигуна внутрішнього згоряння, де, хоча принцип двигуна однаковий, усі двигуни внутрішнього згоряння працюють по-різному, виглядають по-різному та мають схожі загальні переваги та недоліки продуктивності, як і електромобілі.

1.3.4 Термін експлуатації

Усі літій-іонні акумулятори, що використовуються в електромобілях, з часом поступово деградують, особливо якщо їх часто перезаряджати, хоча це може стати помітним лише через кілька років.

У 2015 році, після 10 років збору даних та відгуків від дилерів і водіїв, Nissan зазначив, що лише 0,01 відсотка акумуляторів потребують заміни через несправності або проблеми, і в усіх випадках лише через зовнішні пошкодження [17]. Як Tesla, так і Nissan мають автомобілі, які вже проїхали понад 200 000 км без суттєвих проблем з акумуляторами. Фактично, переважна більшість виробників зараз гарантують свої акумуляторні блоки щонайменше на 80 000-100 000 миль (130 000 - 160 000 км) або від 8 до 10 років, така впевненість у терміні служби їхніх акумуляторів.

1.3.5 Вплив різних факторів на величину заряду батареї електроавтомобіля

Насправді, лише автомобілі, розроблені переважно для дорожнього використання, дійсно потребують зменшення опору, особливо в цю епоху низького викиду вуглецю та загальної паливної ефективності. Основним

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

фактором, який визначає, чи є автомобіль аеродинамічно ефективним, є коефіцієнт опору, або CD. Це розраховане число просто дає значення того, наскільки ефективно транспортний засіб може проштовхуватися крізь повітря. Наразі найкращі автомобілі мають в середньому CD 0,26, тоді як більшість зазвичай коливається між 0,30 та 0,35.

Аеродинамічний опір збільшується зі швидкістю будь-якого об'єкта, тому він стає ключовим на вищих швидкостях. Чим вища швидкість, тим більший аеродинамічний опір. Зменшуючи коефіцієнт опору в автомобілі, конструктор покращує характеристики транспортного засобу, оскільки це безпосередньо пов'язано зі швидкістю та паливною економічністю. Існує безліч методів зменшення опору транспортного засобу на етапі проектування та розробки.

Певний ступінь сили опору дуже необхідний для підтримки зчеплення всіх чотирьох коліс контрольованим чином. Крім того, нам потрібно забезпечити, щоб певний потік повітря подавався до теплообмінників, які може мати ваш автомобіль, щоб максимізувати охолодження акумуляторних блоків, наприклад. Схоже, що промисловість традиційних двигунів внутрішнього згоряння зайняла прагматичну позицію, виробляючи автомобілі з коефіцієнтом ходу від 0,30 до 0,35, з точки зору дизайну та практичної точки зору. Але електромобілі повинні витягувати кожен останній вольт електроенергії, щоб збільшити запас ходу. Таким чином, будь-який коефіцієнт CD нижче 0,30 винагородить власника, значно зменшивши щомісячні витрати на зарядку, і, як побічний продукт кращої конструкції CD, дозволить збільшити потенційну максимальну швидкість.

Дизайн та конструкція кузова.

Виробники автомобілів – майстри фрази «якщо не зламане, то не лагодь». Більшість просто вдосконалюють конструкції рам своїх автомобілів протягом років досліджень і розробок, щоб запобігти повному перепроектуванню для нового електромобіля, і це призводить до всіляких

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

компромів. Традиційна конструкція була оптимізована для двигунів внутрішнього згоряння, вихлопних систем і систем передач з зубчастими передачами.

Однак електромобілі вимагають абсолютно нового підходу до проектування на користь кінцевих користувачів. Побічним продуктом індивідуального проектування електромобілів є те, що ви отримаєте більше місця в салоні, і очікується, що витрати на електромобілі продовжуватимуть падати протягом наступних років, оскільки виробники оригінального обладнання розроблятимуть кращі та ефективніші способи їх виробництва, а нижчі ціни на акумулятори почнуть впливати на зовнішню частину ринку.

1.3.6 Деградація силових батарей електромобіля

При плануванні купівлі електромобіля так чи інакше розглядають три ключові критерії майбутньої покупки: ціну, запас ходу та термін служби акумуляторної батареї.

Якщо судити з впливу на експлуатаційні характеристики електрокара, найголовнішим критерієм цієї трійки, є термін служби АКБ, який визначається: життєвим циклом, продуктивністю та станом акумулятора.

Виробники зазвичай вказують стандартні для всіх АКБ гарантійні зобов'язання, визначаючи їх в середньому в 8 років або 160 000 км пробігу. Ці цифри можуть відрізнятися залежно від виробника та країни реалізації, але в будь-якому випадку дуже значний термін заявлений виробниками вселяє певний оптимізм.

Щоб забезпечити позитивний досвід використання і 8 років надійної роботи, в електромобілях є поняття розміру батареї брутто і нетто. Власнику електрокара заявляється ємність батареї нетто, а з часом буферні комірки розблоковуються, тим самим забезпечується ідентичний запас ходу навіть після 6 років активних поїздок. Майже всі виробники обмежують верхній

поріг заряджання, тобто на дисплеї ви бачите заряд 100%, але фактично батарея заряджена до 95%, це додаткова міра захисту від проявів деградації.

Наприклад:

В Audi e-tron 55 розмір буферу складає 9 kWh: повна батарея - 95kWh, а доступна до використання - 86kWh.

У спортивного седана Audi e-tron GT загальна ємність батареї 93.4 кВт-год, а доступна частина (Net battery capacity) - 83.7 кВт-год.

У європейського електромобіля VW ID4 батарея "брутто" - 83 кВт-год, а доступно протягом всього часу експлуатації - 77 кВт-год.

Деградація АКБ - це процес, який нам відомий щодо використання смартфонів, ноутбуків та інших гаджетів з літій-іонними батареями. Всі ми помічаємо, що з роками наші гаджети підтримують заряд дедалі менше і час їхньої автономної роботи неухильно скорочується. У цьому плані електромобілі нічим не відрізняються від смартфонів і ноутбуків, тому що їх АКБ також схильна до деградації.

Але, якщо смартфон ми заряджаємо до фізичних 100% (через малий розмір батареї і її низьку ціну), то електромобіль ми можемо зарядити тільки фізично до 90-95% (саме ту частину netto яка доступна водію) і на дисплеї вже буде позначка 100 відсотків. Деградація відбувається на верхніх рівнях заряду і розряду, що унеможлиблюється через політику автовиробника.

Деградація АКБ - процес зменшення кількості енергії, на зберігання та видачу якої здатна батарея.

Для визначення стану батареї (ступеня деградації) є спеціальний параметр під назвою «State Of Health» (SOH). У новій батареї на початку експлуатації SOH становить 100% і поступово знижується в міру активності використання АКБ.

Тут слід зробити застереження і сказати, що SOH це не те ж саме, що запас ходу електрокара, який залежить від ряду факторів не обов'язково пов'язаних із станом "АКБ".

Згідно з безліччю практичних досліджень, а також користувальницьким досвідом величезної кількості власників електромобілів, визначено наступні фактори, що впливають на SOH АКБ:

- термін експлуатації;
- експлуатація при високих температурах;
- часта експлуатація електрокара на мінімумі зарядки;
- тривале зберігання електромобіля з 100% зарядом;
- часте використання потужних станцій постійного струму.

Кожна батарея електромобіля оснащена контролером BMS (Battery Management System), який регулює швидкість заряджання на всьому діапазоні. Інженери автовиробників тестують батарею і закладають параметри, за яких акумулятор прослужить максимальний термін. Тут враховуються фактори розміру батареї, запасу "буфера", типу хімії, нагрів кожної комірки, температура за бортом, історія поїздки, та багато інших параметрів, щоб забезпечити 8 років гарантії.

Тепловий насос - ефективний термоменеджмент для захисту від деградації

Визначальний вплив на темпи деградації має хімія батареї та наявність/відсутність систем температурного контролю, які можуть бути повітряними та рідинними. На прикладах це виглядає наступним чином, АКБ Tesla Model S 2015 з рідинним охолодженням деградує з середньорічними показниками в 2,3%, а ось батарея Nissan Leaf 2015, але вже з повітряним охолодженням, деградує з швидкістю 4,2%. Висновок напрашується сам собою, ВВБ з тепловим насосом краще охолоджуються і довше прослужать у плані збереження ємності.

Розряджати батарею в нуль не найкращий варіант для міського авто з невеликою батареєю. Тому всі виробники електрокарів страхують від цього водіїв, пропонуючи "користувацький SOC", який ще називають

буферним. Як говорили раніше, виробники надають меншу робочу ємність АКБ, уповільнюючи цим темпи деградації.

Інтенсивне керування не посилює темпи деградації на електромобілях з ємністю 60кВт*г і вище, тому власники сучасних електрокарів іноді можуть дозволити собі “педаль у підлогу”.

Критично важливим для деградації АКБ є температурний режим використання. Достеменно відомо, що електромобілі, які експлуатуються при високих температурах, відчувають швидшу деградацію АКБ, ніж ті, які використовуються в помірному кліматі.

В якості висновку можна сказати, якщо враховувати всі описані аспекти швидкого заряджання, то зможете максимально довго зберегти найкращий стан батареї з мінімальною деградацією.

1.4 Висновки до першого розділу

Інновації в технології літій-іонних акумуляторів продовжують розвиватися швидкими темпами. Інновації включають розробку матеріалів для катодів та анодів, нові покриття та захист елементів, розробку електролітів, обробку електродів, а також нові конструкції та інновації у складанні акумуляторів. Інші розробки включають інноваційні рідкі та тверді електроліти, що призводять до появи нових твердотільних акумуляторів, та графенову технологію, включаючи майбутні суперконденсатори, які, за прогнозами, замінять акумулятори в майбутньому.

2 РОЗРОБКА ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛІВ

2.1 Розробка системи контролю, діагностики і підтримання температури електроліту в акумуляторних батареях силової установки

Багато патентів на тему діагностики акумуляторної системи електромобіля спрямовані на розробку інноваційних методів. Один з них - система автоматичного контролю, діагностики та підтримання температури електроліту в акумуляторних батареях гібридної силової установки [8]. Робота запропонованої системи сфокусована на покращенні підтримки автомобілів з гібридною силовою установкою шляхом автоматизованого моніторингу та регулювання температури робочого розчину в батареях. Заміна традиційних двигунів новітніми технологіями, налаштування потребує ретельної уваги до їхньої ефективної роботи. Одна з проблем, що виникає, полягає в скороченні терміну служби акумуляторів через швидку корозію пластинок умовами, що змінюються температури робочого розчину, що регулюються зовнішніми коливаннями температури. Також, температура робочого розчину має вагомий вплив на продуктивність самого акумулятора [9, 10]. Для стабілізації функціонування акумулятора та збільшення терміну його служби, важливо підтримувати оптимальну температуру робочого розчину в межах, визначених параметрами. У вже відомій системі діагностики свинцевих акумуляторів відбувається контроль основних параметрів акумулятора через відповідні датчики та мікроконтролер. Проте ця система не враховує оптимізацію параметрів акумулятора. Запропонована система автоматичного контролю та підтримання температури робочого розчину у гібридних акумуляторних батареях включає в себе датчики для моніторингу температури, які зв'язані з контролером, забірник повітря з датчиком температури повітря та колектор, який поєднаний

повітропроводами з керованими заслінками, змішувачем та теплообмінником. Система шляхом регулювання потоків холодного та гарячого повітря підтримує встановлену температуру в відсіку з акумуляторними батареями та оптимальну температуру робочого розчину у батареї. У випадку, коли транспортний засіб зупиняється або рухається повільно, потік повітря, що надходить може бути недостатнім. Оскільки у кожній акумуляторній батареї формується власне температурне середовище та хімічні процеси протікають з різною інтенсивністю, характеристики кожної батареї можуть істотно відрізнятись. Тому важливо забезпечити контроль та оптимізацію температурних параметрів у кожній окремій акумуляторній батареї. У цій корисній моделі ключовою задачею є забезпечення оптимізації температурних параметрів та автоматичного контролю шляхом включення елементів, які реагують на відхилення температурних показників від оптимальних значень. Ця задача вирішується шляхом використання системи автоматичного контролю та підтримки температури робочого розчину в акумуляторних батареях гібридної силової установки, яка в рамках цієї корисної моделі включає в себе забірник повітря, що оснащений датчиками температури повітря, руху повітря та вентилятором. Забірник, що поєднаний повітряним каналом з колектором, у свою чергу, з'єднаний з теплообмінником та змішувачами через повітропроводи, оснащені керованими заслінками для холодного повітря. Відсік з акумуляторними батареями розділений на різні секції, де в кожній знаходиться батарея, обладнана датчиком температури робочого розчину та має вентиляційні отвори для відводу використаного повітря. Кожна секція з'єднана з відповідними повітропроводами, оснащеними датчиками температури повітря, з власним змішувачем, які приводяться в рух через повітропроводи з керованими заслінками з колектора та теплообмінника. Керовані заслінки, датчики руху і температури повітря, температури електроліту, а також вентилятор зв'язані з контролером, що має інформаційне

табло. Параметри ємності та заряду свинцево-кислотних акумуляторів значно падають при зниженні температури навколишнього середовища, що впливає на температуру робочого розчину в батареї. Підвищення температури розчину понад нормальні значення викликає випаровування води та збільшення концентрації електроліту. Це може призвести до збільшення ємності позитивних електродів та зменшення ємності негативних, в цілому погіршуючи ємнісні характеристики акумуляторної батареї. Підвищена концентрація електроліту призводить до швидшої корозії електродів, що скорочує термін служби акумулятора. Тому важливо тримати температуру електроліту на оптимальному рівні. Шляхом контролю та регулювання потоків холодного та нагрітого повітря забезпечується підтримка заданих температур в окремих секціях відсіку з акумуляторами, що забезпечує оптимальну температуру електроліту у кожній батареї. У разі зупинки або повільного руху транспортного засобу контролер активує вентилятор, щоб компенсувати недостатній потік холодного повітря, контрольований датчиком руху повітря. Цей підхід дозволяє підтримувати температурні параметри кожної акумуляторної батареї на індивідуально заданих рівнях. Інформацію про параметри роботи системи виводять на табло, яким обладнано контролер. В цій системі (рис. 2.1) протягом руху автомобіля потік холодного повітря потрапляє до забірника повітря 1, що має в собі датчик руху повітря 2. Інформація про рух повітря передається датчиком 2 до контролера 3. Також у забірнику розташований датчик температури повітря 4, який передає дані про температуру надходить потоку до контролера 3. Контролер аналізує цю інформацію та, за необхідності, активує вентилятор 5. Далі повітря направляється до колектора 6, де воно поділяється на окремі потоки: один рухається по повітропроводах 7 до змішувачів 8, а інший через повітропровід 9 до теплообмінника 10, де його нагрівають, пройшовши відхідну трубу 11, перш ніж він через повітропроводи 12 повертається до змішувачів 8. З повітропроводів 13, обладнаних датчиками температури

повітря 14, повітря потрапляє до кожної із секцій у відсіку з акумуляторними батареями 15 і, пройшовши через секцію, виходить за межі через отвори 16. Повітропроводи 7 мають керовані заслінки 17, тоді як повітропроводи 12 оснащені керованими заслінками 18. Кожна з акумуляторних батарей 19 у різних секціях відсіку акумуляторних батарей обладнана датчиком температури робочого розчину 20.

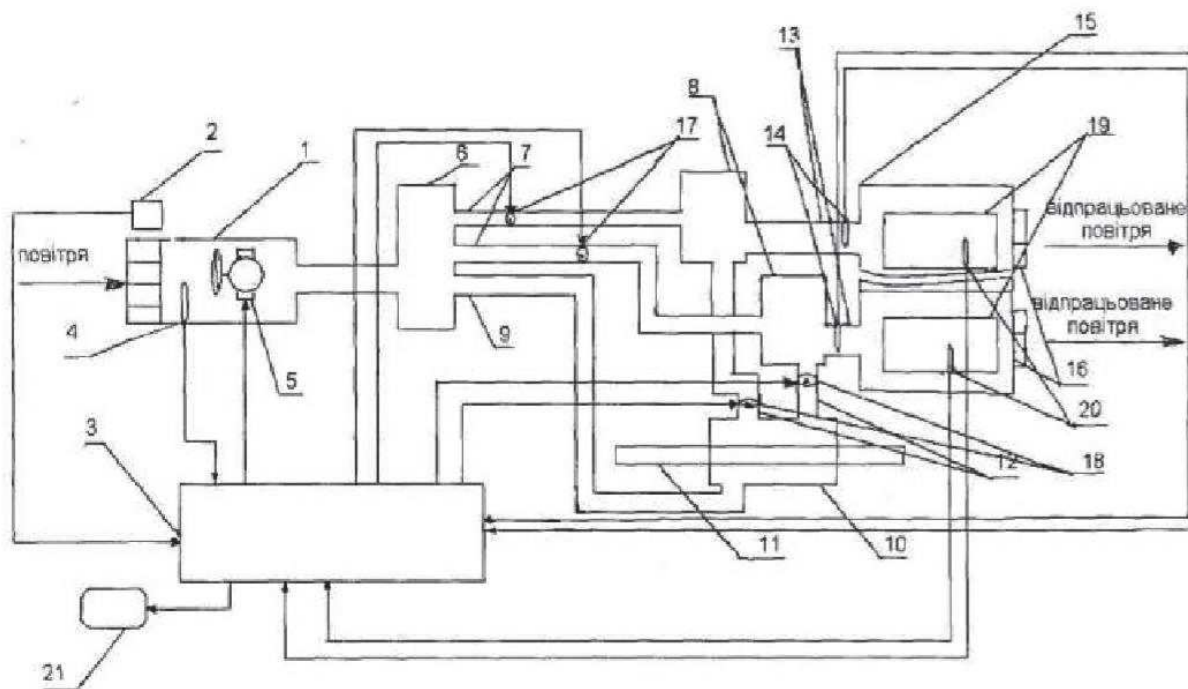


Рисунок 2.1 - Система автоматичного контролю, діагностики і підтримання температури електроліту в акумуляторних батареях гібридної силової установки

Датчики 20 передають інформацію про температуру робочого розчину в кожній батареї 19 до контролера 3, а датчики 14 - про температуру повітря, що входить до кожної із секцій. Після аналізу температури повітря, що надходить від датчика 4, температури повітря, яке входить до кожної секції відсіку з акумуляторними батареями від датчиків 14 та температури робочого розчину від датчиків 20, контролер 3 створює сигнали для заслінок 17 та 18, які регулюють доступ повітря до змішувачів, таким чином підтримуючи температуру повітря у кожній секції в заданих межах. Це допомагає зберігати

оптимальну температуру робочої рідини в кожній акумуляторній батареї. Застосування цієї системи автоматичного контролю та підтримання оптимальної температури робочого розчину у акумуляторних батареях гібридної силової установки дозволить досягти найвищих можливих характеристик ємності акумуляторної батареї та збільшити строк її служби.

2.2 Розробка системи автоматичного контролю і діагностики густини електроліту в акумуляторних батареях гібридної силової установки

Система автоматичного контролю і діагностики густини робочого розчину в акумуляторних батареях гібридної силової установки (рис. 2.2) включає датчики контролю густини робочого розчину, які пов'язані з мікроконтролером [11]. У кожен секцію батареї вбудований вертикальний скляний балон з поплавком всередині. Нижню частину балона відкрито і занурено в робочий розчин, а верхню частину розташовано між світловим джерелом та світлоприймачем, що з'єднані через контролер інформаційного табло. Поплавок є не прозорим і може переміщуватися вздовж осі балона. Опис значень цифр на малюнку: 1 - датчики рівня рідини, 2 - резервуари для рідини, 3 - подаючі трубки, 4 - клапани, 5 - контрольні клапани, 6 - подача до системи керування трансмісією, 7 - гідравлічний резервуар.

Ця корисна модель призначена для технічної експлуатації та обслуговування акумуляторних батарей у сферах транспорту та інших галузях і може бути використана для автоматичного контролю й діагностики густини робочого розчину в акумуляторних батареях гібридних автомобілів. Виникає проблема скорочення терміну служби акумуляторних батарей при зміні густини робочого розчину, що залежить від рівня заряду акумуляторної батареї. Оскільки розрядження батареї нижче встановленого мінімуму або її перезарядка вище встановленого максимуму не рекомендується, необхідно не лише контролювати густину робочого розчину, а й підтримувати її на

певному заданому рівні в процесі експлуатації батареї. Система, що відома своїми можливостями у діагностиці свинцевих акумуляторних батарей, використовує різноманітні датчики для контролю різних параметрів, таких як напруга, температура, густина і рівень електроліту.

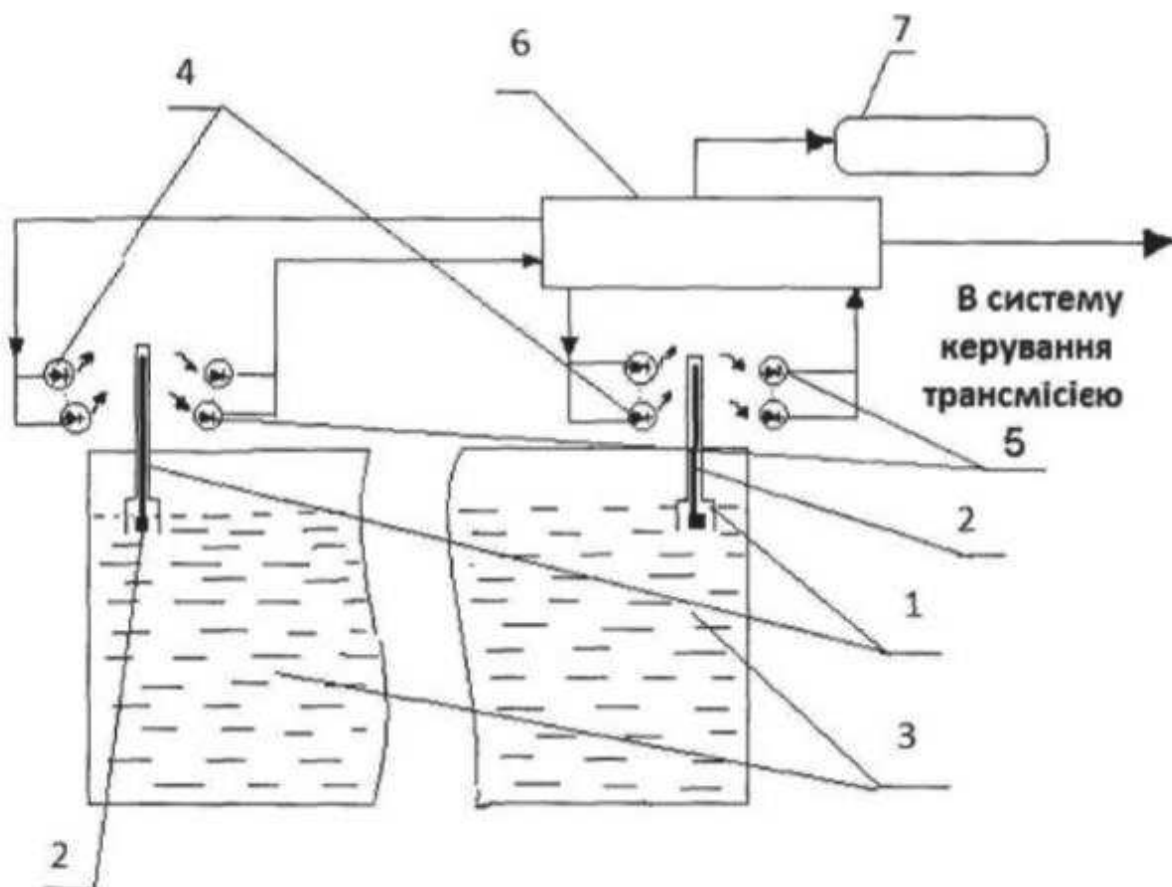


Рисунок 2.2 - Система автоматичного контролю і діагностики густини електроліту в акумуляторних батареях гібридної силової установки

Ці дані під'єднанні до мікроконтролера, що дозволяє автоматично контролювати стан акумулятора. Проте, недоліком цієї системи є відсутність можливості оптимізації параметрів акумулятора. Нова корисна модель, заснована на цій проблемі, пропонує рішення, яке полягає в ефективній діагностиці, оптимізації та автоматичному контролі густини електроліту у батареях гібридних транспортних засобів, включаючи можливість

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

відключення від трансмісії до повної зарядки акумуляторів від генератора двигуна внутрішнього згоряння. При розв'язанні поставленої задачі у системі автоматичного контролю та діагностики густини робочого розчину у батареях гібридного приводу використовується принцип, який передбачає обладнання кожної секції акумуляторної батареї спеціальним вертикальним скляним контейнером, що містить плаваючий об'єкт всередині. Нижня частина контейнера знаходиться під електролітом, тоді як верхня знаходиться між джерелом світла та датчиком, що через контролер пов'язаний з інформаційним дисплеєм. Плаваючий об'єкт є не прозорим та може рухатися вздовж осі контейнера. Механізм функціонування системи полягає в наступному способі дії. У скляному контейнері з плаваючим об'єктом, який занурений в електроліт, рівень рідини відштовхує плаваючий об'єкт на певну висоту залежно від густини електроліту. Верхня частина об'єкта знаходиться між джерелами світла та сенсорами. Коли акумулятор повністю заряджений, верхня частина об'єкта блокує світло, що висвічують джерела світла, і сенсори не активують контролер. Під час спадання заряду акумуляторної батареї, густина електроліту поступово падає, що спричиняє спуск поплавка до нижньої точки і розкриття верхньої частини для пропускання світла від джерел світла до сенсорів. Чим нижче заряд акумулятора, тим більше світла доходить до сенсорів. Рівень заряду відображається на екрані інформаційної панелі. Якщо густина електроліту відрізняється між акумуляторами, це може свідчити про проблему у батареї. Використання цієї системи контролю та діагностики густини електроліту у гібридних акумуляторах дозволить підвищити тривалість їх служби та спростить виявлення неполадок. Вона включає датчики контролю густини електроліту, які з'єднані з мікроконтролером, та різницю полягає у тому, що в кожному відділенні батареї знаходиться вертикальний скляний контейнер з плаваючим об'єктом всередині.

2.3 Розробка пристрою для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінювання енергобалансу

Корисна модель, що входить до складу систем автомобільного електрообладнання, спеціалізується у сфері систем контролю живлення, які надають інформацію щодо технічного стану акумуляторних батарей (АКБ) та їх поточної ємності [12]. Надовго зберегти функціональність АКБ неможливо без регулярної діагностики стану та оцінки збереження позитивного балансу енергії в системі електроживлення автомобіля. Згідно зі стандартами, основні показники технічного стану АКБ включають фактичну ємність та спад напруги під час розряду. Проблема полягає в тому, що вимірювання ємності вимагає значних витрат часу, які не виправдані в умовах експлуатації. Вимірювання величини падіння напруги на акумуляторі, що визначається його внутрішнім опором, вимагає менше часу, але не має необхідного вимірювального обладнання масового виробництва. Відомий пристрій для реєстрації накопиченого заряду використовує прості технічні рішення і дозволяє досить точно оцінити ефективність зарядки акумулятора. Однак до недоліків цього пристрою можна віднести відсутність візуального зображення процесу зарядки та потребу в стабілізованому зарядному струмі, що не відповідає способу зарядки акумулятора, який використовується в автомобілях. Інший відомий прилад вимірює внутрішній опір, за яким відбувається оцінка рівня сульфатації акумуляторної батареї і визначається можливість подальшого користування нею. Цей прилад має недолік у складності використання у транспортному засобі, оскільки він є спеціалізованим, при його використанні необхідно виймати батарею з експлуатації. Також є відомий прилад реєстрації заряду, який обраний як прототип. Цей прилад вимірює заряд в умовах змінюваного потік заряду, що відповідає способу зарядки акумуляторів, які використовуються у транспорті. Крім цього, пристрій дозволяє точно визначити момент завершення зарядки

батареї. Однак він не може одночасно контролювати режими заряду і розряду, які відбуваються в електричній системі автомобіля. Основна мета корисної моделі полягає в створенні пристрою для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінки енергетичного балансу, який дозволить проводити діагностику без відключення акумулятора та праці системи управління авто, забезпечуючи контроль відповідно до встановлених нормативних вимог і підвищувати термін служби акумулятора. Також врахована можливість одночасного використання отриманої інформації для інших електронних систем, наприклад, перспективної системи контролю теплового режиму акумуляторної батареї, чия робота також позитивно впливає на продовження терміну служби батареї. Для вирішення цієї постановки завдання введено наступні інновації: у пристрої для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінювання енергетичного балансу, як це передбачено в корисній моделі, включено цифровий дисплей, блок сигналізації про завершення зарядки, послідовно з'єднані датчик заряду, напруги на частоту конвертора "заряду", частотний дільник, і програмний блок, побудований на основі мікроконтролеру, який через порт введення-виведення зв'язаний з цифровим дисплеєм та блоком сигналізації про завершення зарядки, комутатор сигналів, де перший вхід з'єднаний з вихідною точкою частотного дільника, та керуючий вхід і вихід підключені до входів порту введення-виведення мікроконтролеру. Досягнення цілей також забезпечується за допомогою програмного блоку, який виводить проміжну інформацію про поточну ємність та внутрішній опір акумуляторної батареї, а також включає діагностичний модуль, що пов'язаний з портом введення-виведення мікроконтролера. Суть пристрою для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінювання енергетичного балансу відображена на (рис. 2.3). Опис значень цифр на малюнку: 1 - датчик струму, 2 - датчик напруги, 3 - аналогово-цифровий перетворювач, 4 - процесор або мікроконтролер для обробки сигналів, 5 - датчик температури, 6

- датчик рівня заряду акумулятора, 7 - центральний блок керування, 8 - інтерфейс для відображення результатів, 9 - модуль передачі даних, 10 - вхід для вимірювання напруги акумулятора, 11 - вхід для вимірювання фазової напруги генератора, 12 - вхід для підключення до вимикача стартера, 13 - порт для діагностичного обладнання або зовнішнього підключення.

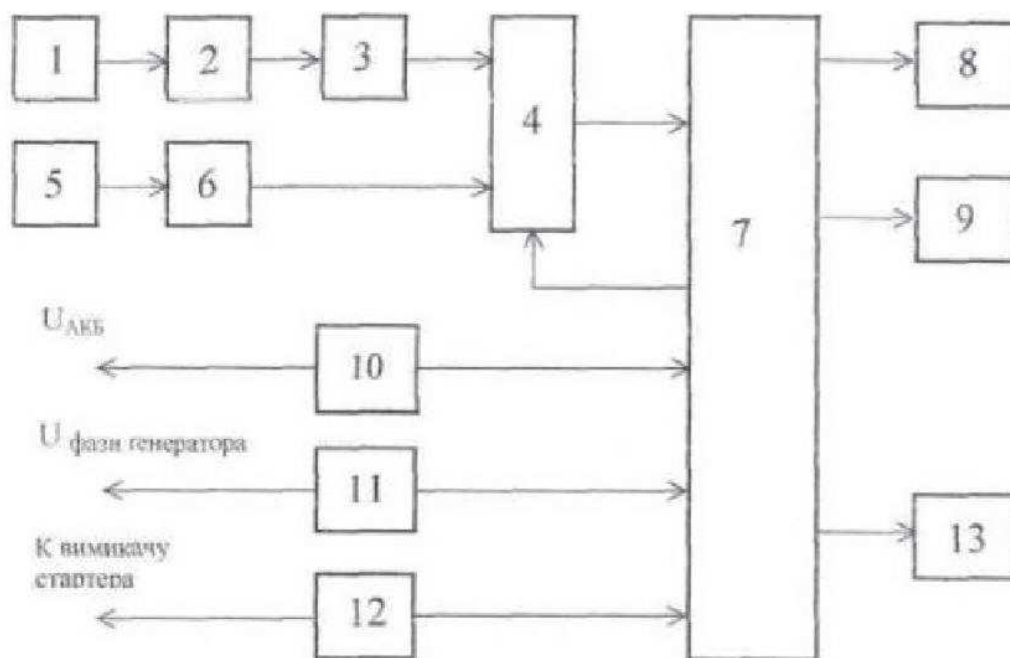


Рисунок 2.3 – Схема пристрою для діагностики технічного стану акумуляторної батареї та оцінювання енергобалансу

Прилад для перевірки стану акумуляторної батареї та оцінки енергетичного балансу об'єднує кілька ключових компонентів послідовно: датчик струму зарядки та перетворювач напруги на частоту для визначення "струму зарядки", частотний дільник, що контролює спрямованість сигналу до комутатора, датчик струму стартера та відповідний перетворювач напруги для "струму стартера", які підключені до комутатора сигналів. Мікроконтролер, який керує пристроєм, зв'язаний з датчиками та індикатором напруги та сигналізації. Додатково передбачено діагностичний модуль для оцінки технічного стану батареї та системи стартера, який також взаємодіє з мікроконтролером. Під час запуску двигуна автомобіля стартер

здійснює попереднє оцінювання технічного стану акумуляторної батареї [13-14]. При активації стартера вузол сполучення вимикача переводить мікроконтролер у режим вимірювання падіння напруги на батареї при використанні стартерного струму, який конвертується у сигнал з перетворювача напруги на частоту для визначення "падіння напруги АКБ". Зниження напруги на датчику струму, сполученим кабелем "батарея-стартер", перетворюється в сигнал, що пропорційний до струму стартера. Отримані дані автоматично обробляються мікроконтролером та проходять програмну обробку для розрахунку внутрішнього опору батареї згідно з електротехнічними величинами. Після цього значення внутрішнього опору, приведене до 25°C, перетворюється у залишкову ємність згідно з математичною моделлю свинцево-кислотної акумуляторної батареї, яка пов'язує ємність та внутрішній опір батареї з використанням точної формули для практичних потреб: $C = \text{гуд.кат} / R_{\text{вн}}$, де гуд.кат - специфічний внутрішній опір зарядженої батареї (Ом*А*год); $R_{\text{вн}}$ - внутрішній опір батареї. Отримані результати зберігаються в пам'яті і відображаються на індикаторі після завершення перехідних процесів. Процес контролю заряду-розряду батареї при русі автомобіля здійснюється через блок сполучення, який міняє своє становище, і комутатор сигналів, що переводить мікроконтролер у відповідний режим під час контролю зарядування батареї при русі. Напруга, виміряна датчиком струму зарядки, що може включати шунт амперметра, подається на вхід перетворювача напруги на частоту для струму зарядки. Оскільки функція перетворення лінійна, частота на виході прямо пропорційна до струму зарядки-розрядки. Вихідна імпульсна напруга перетворювача для струму зарядки надходить на подільник частоти, де коефіцієнти перетворення і розподілу налаштовані так, що кожен імпульс відповідає заряду 1А*ч, що пройшов через шунт. Після обробки даних у мікроконтролері, з врахуванням розрахунку залишкової ємності, на індикатор виводиться поточне значення ємності батареї. Для врахування розряду

батареї, що відбувається під час стоянки автомобіля, формується логічний сигнал на основі сигналу з фази генератора, який визначає необхідні дії для подальшої обробки даних. При наступному запуску стартера ці процедури повторюються. Високопродуктивна модель дозволяє проводити оцінку стану батареї та енергетичного балансу автомобіля без додаткових витрат та вимірювань електроліту, забезпечуючи оперативну оцінку стану батареї та підвищуючи її термін служби за рахунок вчасного виявлення процесів сульфатації.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було розглянуто методи та підходи до моніторингу та управління технічним станом акумуляторів електромобілів. Особлива увага приділялася системам керування батареями, які відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності роботи акумуляторів. СКБ контролює такі параметри, як напруга, струм, температура, стан заряду і технічний стан, що дозволяє запобігати критичним ситуаціям, таким як перезаряд або надмірний розряд акумуляторів. Було описано різні методи оцінки, включаючи методи на основі напруги, підрахунку Кулона, фільтри Калмана, нейронні мережі та електрохімічну імпедансну спектроскопію. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, що впливає на точність оцінки. Також було розглянуто методи оцінки, які допомагають визначити залишковий термін служби батареї та планувати її обслуговування. Було зазначено, що важливим аспектом є забезпечення стабільної роботи акумуляторів у різних умовах експлуатації та підтримка оптимального стану заряду. Загалом, у розділі підкреслено важливість комплексного підходу до моніторингу та управління акумуляторами електромобілів, що включає використання сучасних технологій та методів для забезпечення їхньої довговічності та ефективності.

3 РОЗРАХУНКИ РОЗСІЮВАННЯ ТЕПЛА СИЛОВОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Акумуляторні блоки є критично важливими компонентами для електромобілів. Вони розроблені для використання протягом запроєктованого терміну служби. Температура впливає на продуктивність та термін служби акумуляторів. Підтримка стабільних та рівномірно розподілених температур у робочому діапазоні температур між усіма модулями та акумуляторними елементами є одним з ключових факторів для продовження терміну служби акумуляторних блоків. Дослідимо вплив розташування вентиляційних вхідних та вихідних отворів, а також зазорів між акумуляторними елементами на швидкість розсіювання тепла та розподіл температури в блоці. Існуючий акумуляторний блок було використано як базовий проект. Для аналізу розподілу температури та умов потоку повітря було створено обчислювальну модель гідродинаміки. Метою проекту є мінімізація змін у корпусі, але з кращою ефективністю охолодження. Результати показують, що розташування та форма вхідних та вихідних отворів мають значний вплив на розсіювання тепла акумулятором. Запропоновано проект для мінімізації коливань температури між усіма акумуляторними елементами. Різниця температур між найвищою та найнижчою для оцінюваної події зменшується з $6,04^{\circ}\text{C}$ до $3,67^{\circ}\text{C}$ з покращенням на 39%, а коефіцієнт розсіювання тепла покращився на 3,8%.

3.1 Вибір методики для розрахунку утворення та розсіювання тепла силовою батареєю електромобіля

Люди приділяють велику увагу глобальному потеплінню, яке визнано результатом, головним чином, викидів парникових газів від спалювання викопного палива. Щоб допомогти пом'якшити глобальне потепління та

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

виснаження запасів сирової нафти, електромобілі (EV) вважаються основним видом транспортних засобів майбутнього. Акумулятор/акумуляторний блок є одним з основних джерел живлення для електромобілів. Акумуляторний блок як основне джерело живлення для електромобілів повинен відповідати високій щільності енергії та потужності, тривалому терміну служби, тривалому часу роботи тощо. Літій-іонні акумулятори є однією з ідеальних систем накопичення енергії для електромобілів. Як правило, акумуляторний блок має кілька акумуляторних модулів або елементів, з'єднаних послідовно та/або паралельно, для досягнення бажаної напруги та ємності. Для подорожей на далекі відстані транспортний засіб буде оснащений більшим акумуляторним блоком, і таким чином генерується велика кількість тепла. Один елемент може перегрітися та вийти з ладу, що погіршить продуктивність усього блоку; тому сприятлива конструкція системи вентиляції може швидко відвести величезне тепло, що генерується високою потужністю навантаження (різке прискорення, підйом тощо) та може підтримувати продуктивність і надійність акумуляторної батареї. Поширеними типами теплопередачі для вентиляційних систем є повітряне охолодження, рідинне охолодження, охолодження з фазовим переходом або будь-яка їх комбінація. Система повітряного охолодження має такі переваги, як проста конструкція, мала вага, низька вартість, легкість в обслуговуванні та ремонті, а також відсутність проблем з витоком рідини. Вона підходить для електромобілів із збільшенням кількості людей похилого віку на Тайвані, дизайн транспортних засобів, що відповідає потребам людей похилого віку, поступово покращується. Кілька вчених розробили вентиляційні системи для акумуляторних батарей. Песаран співпрацював з іншими вченими [2–6] дослідити сильні та слабкі сторони систем охолодження акумуляторного блоку. Вони також використовували принципи теплопередачі та метод скінченних елементів (FEA) для прогнозування розподілу температури елементів у блоку. На основі результатів моделювання температура

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

збільшується в 1,2 раз. °C у серії система вентиляції з кожною додатковою лінією елементів. Нарешті, вони зосередилися на проблемі інтеграції акумуляторів і вказали, що акумуляторний блок повинен не лише підтримувати максимальну температуру блоку нижче допустимої робочої температури, але й підтримувати рівномірність температури між елементами в блоку. Максимальна різниця температур між модулями для малого та великого блоків була запропонована нижче 2°C ~3°C та 7°C ~8°C, відповідно. Золот та ін. [7] досліджували конструкції акумуляторних блоків для гібридного електромобіля (HEV), включаючи розташування модуля та аналіз теплового шляху акумуляторних блоків, за трьох різних температур (0 °C, 25°C та 40°C) та три різні цикли керування (HWFET, FTP та US06). Експериментальні результати показують, що випадок підтримки температури акумуляторного блоку на рівні 25°C має найкращі теплові характеристики акумуляторної батареї для всіх трьох циклів руху. Пейн та ін. [8] досліджували систему теплового управління для акумуляторного блоку підключається до мережі гібридного електромобіля (PHEV). Вони досліджували різні конструкції ребер для елементів та модулів, а також вивчали вплив серпантинного колектора на перепади тиску та характеристики поля потоку в акумуляторному блоку. Гхош та ін. [9, 10] проаналізували характеристики теплопередачі вентиляційної системи для HEV за допомогою програмного забезпечення для обчислювальної гідродинаміки (CFD) ANSYS-FLUENT. Метою досліджень було підтримувати елементи в робочому діапазоні температур та підтримувати рівномірно розподілену температуру в акумуляторному блоку. Вони також оптимізували шлях охолодження всієї вентиляційної системи, щоб забезпечити максимально рівномірний розподіл температури в акумуляторному блоку за всіх робочих умов. Ма та ін. [11] провели серію досліджень комерційно доступних літій-іонних акумуляторних пакетів PHEV. Вони використовували програмне забезпечення FEA, ABAQUS, для

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

оцінки теплових характеристик літій-іонних акумуляторних елементів 26650 та використовували програмне забезпечення CFD для аналізу поля потоку, щоб отримати температуру повітря навколо елементів у пакеті, а потім зіставили температуру повітря з моделлю скінченних елементів для аналізу теплових характеристик пакета акумуляторів. Результати аналізів порівнювали з результатами експериментів, і вони показали хорошу кореляцію. Sun та ін. [12] використано метод комплексного аналізу, який поєднується з моделлю 3DCFD, еквівалентна схема, коди FORTRAN та інші інструменти для оцінки теплових характеристик акумуляторної батареї HEV. Для досягнення мінімальної різниці температур між елементами було використано набір методів планування експериментів (DOE) для отримання оптимального проекту. Лін [13] використовували програмне забезпечення CFD ANSYSICEPACK для аналізу ефектів охолодження двох різних зазорів між елементами літій-іонних акумуляторів. Результати моделювання показують, що чим більший зазор між елементами, тим краще розсіюється тепло. Суї та ін. [14] використали програмне забезпечення CFD ANSYS-CFX для моделювання вентиляційної структури нікельметалгідридного (Ni-MH) акумуляторного блоку HEV. Згідно з результатами моделювання, розподіл температурного поля акумуляторного блоку було покращено за допомогою схової схеми. Лін та ін. [15] використали програмне забезпечення CFD ANSYS-ICEPAK для аналізу теплопередачі акумуляторного модуля електромобіля та дослідження впливу зазору між елементами на охолодження акумулятора. Фан та ін. [16] використовували високу швидкість потоку повітря для покращення однорідності температури для існуючого літій-іонного акумуляторного модуля PHEV. Для своїх аналізів вони використовували комерційний код CFD, ANSYSFLUENT 12.0. У більшості літературних джерел вивчався або вплив зазорів між елементами на теплові характеристики акумуляторного блоку, або вплив конфігурації вхідних/вихідних отворів для охолоджувального повітря вентиляційних

систем на тепловіддачу акумуляторного блоку. Дослідження з урахуванням обох аспектів майже не зустрічається. Ми розглядаємо типову та поширену конструкція акумуляторного блоку (подібна до тієї, що описана в літературі [13] її було використано як базову конструкцію. Ми використовували систему примусового повітряного охолодження та оптимізували теплові характеристики акумуляторного блоку, враховуючи розташування вхідних отворів та форму вихідних отворів. Ця робота спрямована на те, щоб утримувати максимальну температуру акумуляторного блоку нижче цільового значення та підтримувати рівномірність розподілу температури. У дослідженні також враховувалися нерівномірні проміжки між елементами акумулятора.

3.2 Розрахунок кількості теплоти що утворюється в батареї електроавтомобіля

Акумуляторний блок є одним з основних джерел тепла електромобіля. Спочатку необхідно зрозуміти теплову поведінку елемента або модуля в блоці. У цьому дослідженні тепло, що виробляється. Вплив хімічної реакції або змішування ігнорувалася. Швидкість тепловиділення однієї елементарної комірки [17 років] показано в:

$$q = I(E - U) - \left(T \frac{dE}{dT} \right), \quad (1)$$

де q – швидкість теплоутворення однієї комірки в одиницях W, I - сила струму в одиницях Ампер, $I > 0$ для розряду та $I < 0$ при зарядці, E — рівноважна напруга або потенціал розімкнутого кола комірки, U - це напруга або потенціал елемента в одиницях V, T – температура в одиницях K, а dE/dT – температурний коефіцієнт в одиницях V/K. Перший член у правій частині $I(E - U)$, це джоулеві нагрівання, спричинене внутрішнім опором

батареї, яке можна переписати з точки зору внутрішнього опору. Другий член у правій частині – оборотна ентропійна теплота, що позначається як ентропія, що зумовлено змінами ентропії внаслідок електрохімічних реакцій і може бути позитивним або негативним.

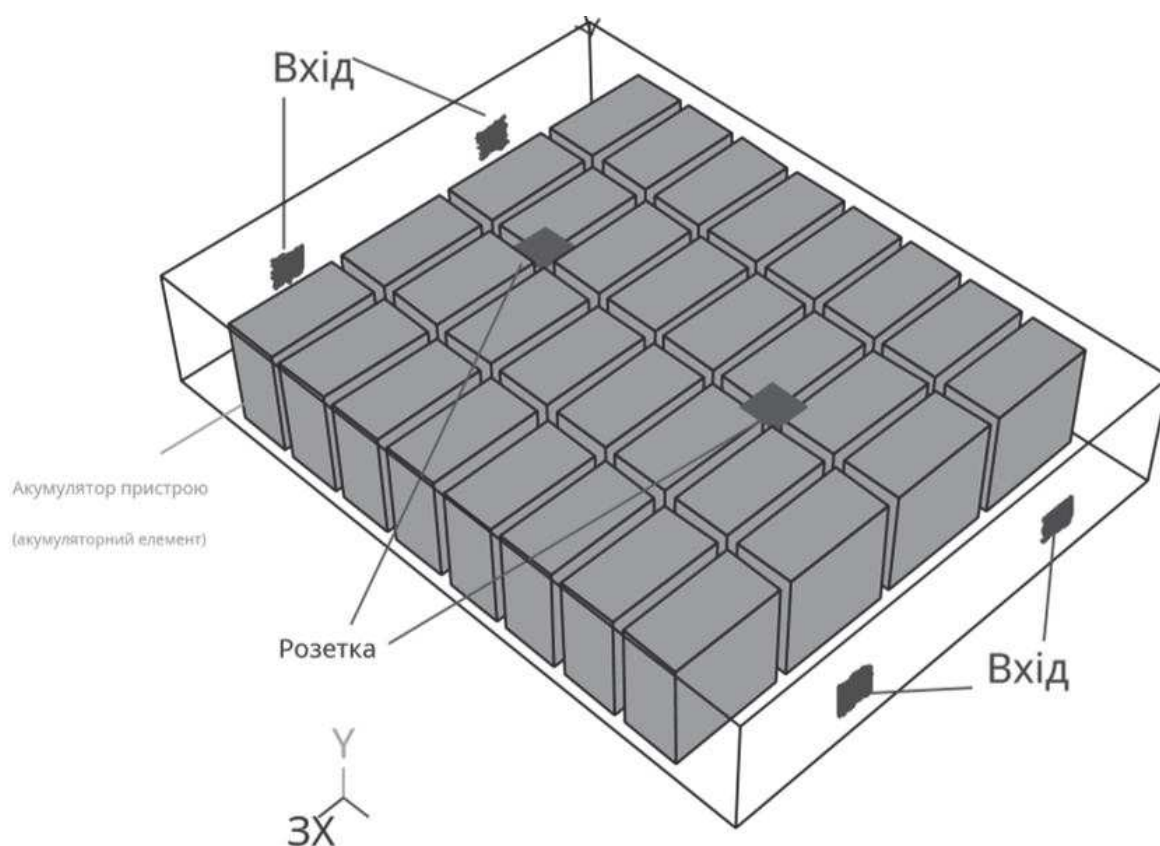


Рисунок 3.1 - Базовий акумуляторний блок

Через дуже низьку активність електроліту та невеликий зазор всередині акумулятора, ефектом внутрішньої конвекції акумулятора можна знехтувати. Елемент батареї складається переважно з непрозорих речовин з дуже малим випромінюванням; тому ефект випромінювання не враховується. Внутрішня теплопередача батареї здійснюється головним чином за рахунок теплопровідності. Енергетичний баланс в елементарному елементі можна записати як:

$$\rho C \frac{dT}{dt} = k_x \frac{d^2T}{dx^2} + k_y \frac{d^2T}{dy^2} + k_z \frac{d^2T}{dz^2} + Q \quad (2)$$

де ρ — локальна густина в одиницях кг/м³, C — місцева питома теплоємність в одиницях Дж/(кг К), k — це локальні коефіцієнти теплопровідності і координати відповідно в одиницях Вт/(м К), Q - швидкість тепловиділення клітини на об'єм в одиницях Вт/м³, T — локальна температура комірки в одиницях. Розподіл температури в акумуляторі можна розрахувати за допомогою (2).

3.3 Моделювання процесу теплопередачі в батареї

Процес теплопередачі в акумуляторному блоці є типовим явищем теплового зв'язку в польових умовах. Тепло генерується від ядра, передаючи його корпусу, тоді як охолоджувальне повітря проходить повз корпус елемента, забираючи тепло. У блоку тридцять два акумуляторні елементи, розташовані у вісім рядів і чотири колони. Відстань між елементами становить 15 мм. Два вхідні отвори розташовані спереду та ззаду блоку, а два вихідні отвори - у верхній частині блоку. Кожен має розмір 50×50 мм. Вхідні отвори вирівняні з центром зазору 2 та зазору 4, як показано на рис. 2. Для корпусу блоку товщиною 3 мм використовується алюмінієвий сплав. Модель аналізу включає елементарний елемент, акумуляторний блок та систему вентиляції. Кожна частина описана в наступних розділах.

3.3.1 Опис елементарної комірки

Тут ми зосереджуємося на дослідженні розподілу температури по всій упаковці. Одноразова батарея використовується система. Акумуляторний елемент з модельовано з одним ядром та термостійким пластиковим корпусом [18]. Комірка має форму прямокутного паралелепіпеда з розмірами 75 мм (довжина)× 150 мм (ширина)×150 мм (висота). Матеріал корпусу

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

елемента - термостійкий пластик товщиною 3 мм. Вважається, що потужність тепловиділення елементарного елемента становить 12,8 Вт. Розмір сітки для комірок становить $5 \times 5 \times 5$ мм. Усі комірки використовують структурні сітки, гексаедричні елементи, як показано на рисунку, загалом для тридцяти двох комірок створено 432 000 сіток.

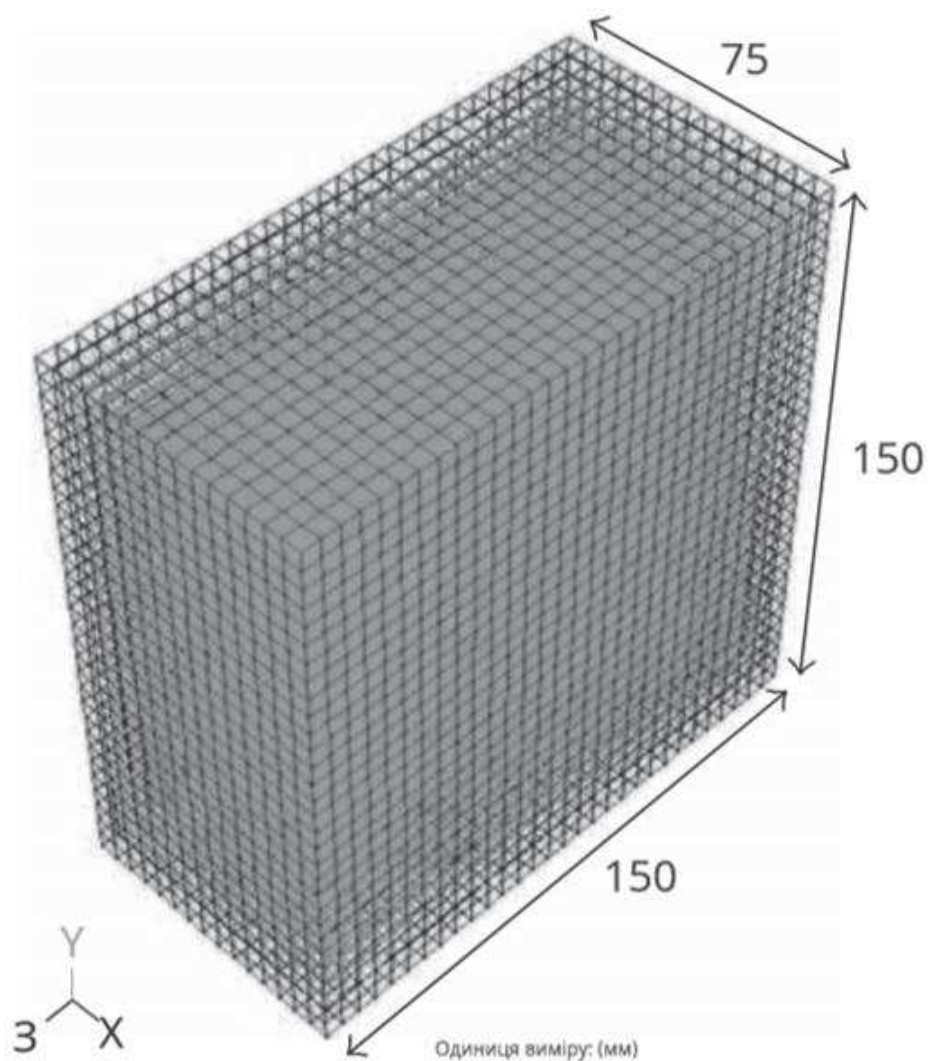


Рисунок 3.2 - Сітки для комірки

3.3.2. Опис типу акумуляторного блоку та системи вентиляції

Весь акумуляторний блок із тридцяти двох елементів розташовано у вигляді восьми рядів та чотирьох стовпців. Проміжок між елементами може впливати на тепловіддачу акумуляторного блоку. У цьому дослідженні в

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
52

базовій конструкції було використано проміжок 15 мм. Корпус акумуляторного блоку виготовлений з алюмінієвого сплаву товщиною 3 мм. Для встановлення чотирьох вентиляторів на обох кінцях корпусу було зроблено чотири отвори діаметром 50×50 мм підключено безпосередньо до зазору 2 та зазору 4, а два виходи розташовані на верхній частині акумуляторного блоку. Формула теплопровідності вентиляційної системи акумуляторного блоку [3] можна описати наступним чином:

$$N \left[q - M_b C_b \left(\frac{dT_{ba}}{dt} \right) \right] = \left[m_f C_f (T_{out} - T_{in}) - M_f C_f \left(\frac{dT_f}{dt} \right) \right] \quad (3)$$

де N – кількість рядів у вентиляційному тракті, q – швидкість тепловиділення елемента в одиницях Вт, M_b – маса клітини в одиницях кг, C_b – середньозважена теплоємність комірки в одиницях Дж/(кг·К), T_{ba} – середня температура комірки в одиницях К, T_{in} – температура рідини, що надходить до комірки, в одиницях К, T_{out} – температура рідини, що виходить з комірки, в одиницях К.

Вхідні та вихідні отвори системи охолодження в традиційній послідовній системі вентиляції розташовані в одному напрямку, як показано на рисунку 4. Охолоджувальне повітря проходить перший ряд комірок, а потім другий ряд і послідовно протікає через решту до останнього ряду та виходить. Охолоджувальне повітря надходить через вхідні отвори, зустрічається з комірок у першому ряду, поглинає тепло, що генерується з комірок, і безперервно протікає через проміжки між комірок до останнього ряду. Оскільки повітря протікає через усю упаковку послідовно, температура повітря підвищується, а здатність переносити тепло знижується. Температура комірок у другому ряду вища, ніж у першому ряду, і так далі. Однак, кінцевий ряд комірок розташований ближче до вихідних отворів і його легше охолодити; натомість він має нижчу температуру, ніж ряд перед ним. Традиційні послідовні вентиляційні системи зазвичай мають великі перепади

GAMBIT. Розмір сітки 5 мм для всієї упаковки. Усі комірки використовували структурну сітку, гексаедричні елементи, із загальною кількістю 432 000 сіток з тридцяти двох комірок. Внутрішнє поле потоку упаковки використовувало не структурну сітку, тетраедричні елементи, з номерами сітки близько двох мільйонів. Між комірам використовувалося щонайменше три або більше шарів, як показано на рисунку 6. Для спрощення моделі та економії часу обчислень у цьому дослідженні були зроблені наступні припущення:

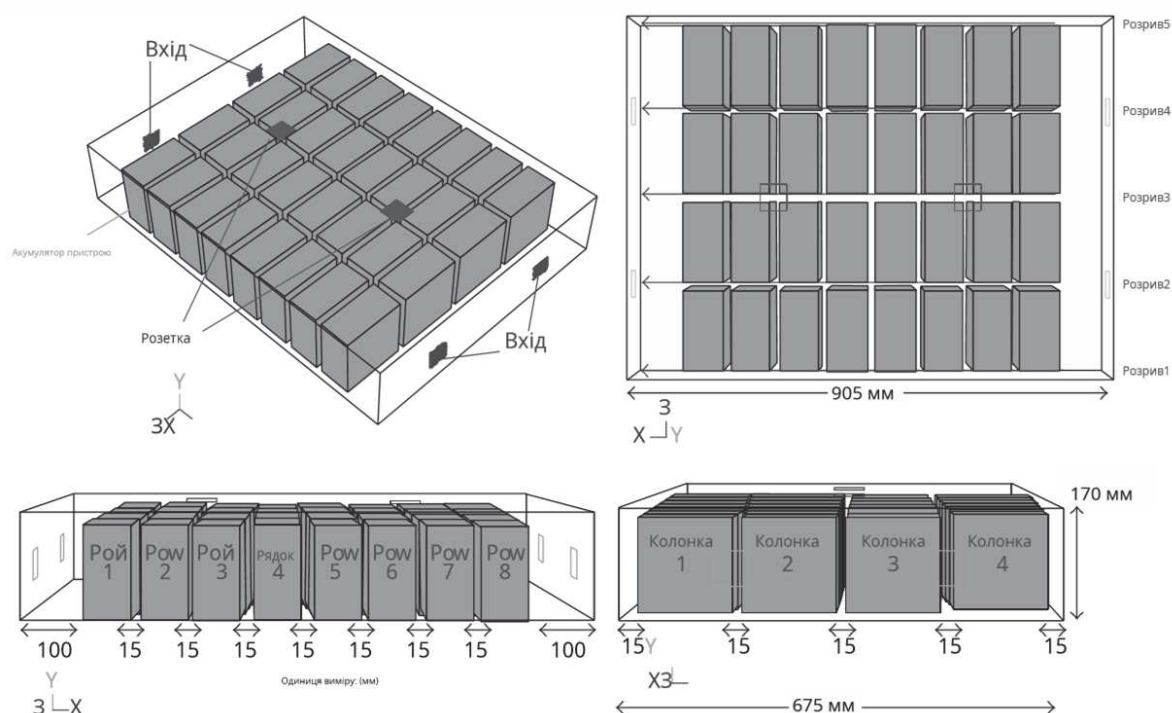


Рисунок 3.4 - Конфігурація та розміри напівсерійної вентиляційної системи, базовий проект

Рідиною в упаковці є повітря з числом Рейнольдса (Re) 23058, а поле потоку, пов'язане з ним, є турбулентним.

Граничною умовою для входних отворів є заданий впускний вентилятор, а для вихідних отворів – вибраний тиск на виході. Крива продуктивності впускного вентилятора показана на рисунку 6.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Виконується гранична умова без ковзання між рідиною та поверхнею комірки.

Кімнатна температура застосовується до вхідних отворів як 300К (приблизно 27С) та тиском одна атмосфера.

Для розуміння характеристик теплопередачі запропонованого тепловідведення в крейсерському режимі було обрано аналіз поля стаціонарного потоку.

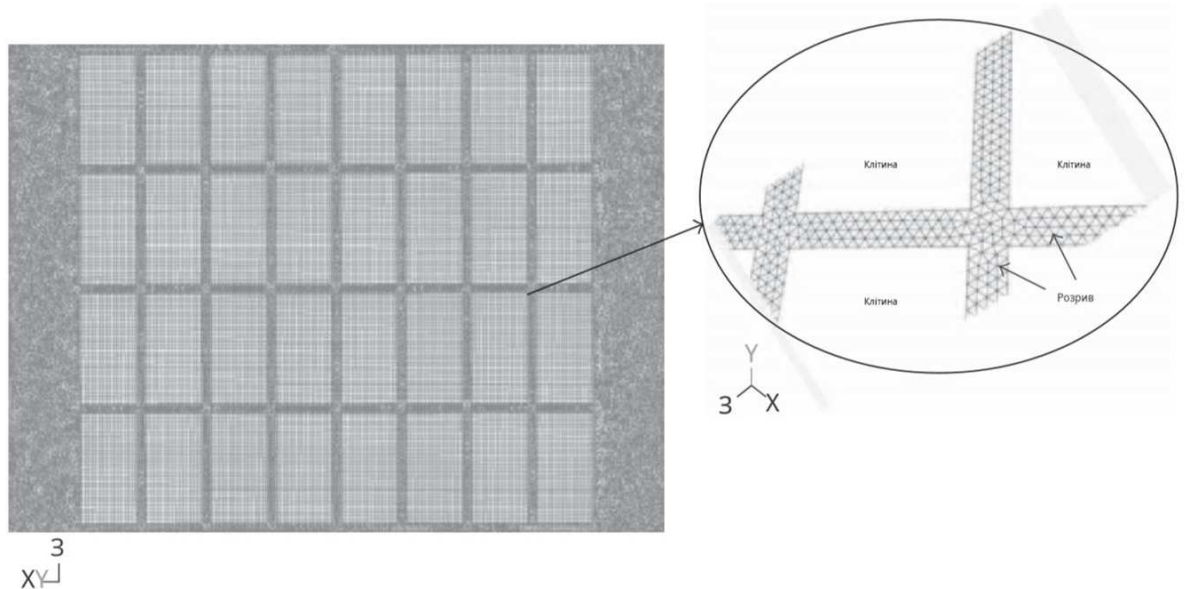


Рисунок 3.5 - Неструктурована сітка для внутрішнього потоку та повітряного зазору акумуляторного блоку

Для числового моделювання було використано комерційний пакет програмного забезпечення CFD ANSYS-FLUENT 12.0. Критерій збіжності було встановлено таким чином, щоб залишкове значення керівних рівнянь для рівняння імпульсу було менше 1×10^{-5} , для рівняння нерозривності менше 1×10^{-5} , а для рівняння енергії нижче 1×10^{-7} . Для задачі поля турбулентного потоку стандарт була використана модель турбулентності. Залишкове значення кінетичної енергії турбулентності і швидкість розсіювання встановлені 1×10^{-5} у симуляції. Якщо вищезазначені умови не можуть бути досягнуті, для завершення роботи встановлюється максимальна кількість ітерацій 2000 раз.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3.4 Моделювання базового проекту батареї

На рисунку 8 показано розподіл температури в акумуляторному блоці напів серійної вентиляційної системи. Рисунок 3.7 (а) показує, що максимальна температура становить $43,96^{\circ}\text{C}$ на поверхні елемента, тоді як максимальна температура всієї упаковки становить $46,98^{\circ}\text{C}$, що відбувається в ядрі клітини, як показано на рисунку 3.7 (б). Максимальна різниця температур Δ макс. відстань між поверхнею та ядром клітини становить $3,02^{\circ}\text{C}$. Рисунок 3.8 показує, що температура комірок на обох кінцях (ряд 1 та ряд 8) пакета нижча, що пов'язано з тим, що ці комірки розташовані близько до входу охолоджувального повітря. Однак комірки в колоні 1 та колоні 4 всередині пакета мають вищі середні температури. Швидкість охолоджувального повітря всередині упаковки показана на рисунку 10. Більша швидкість становить близько $6,32$ м/с, що спостерігається в проміжку 2 та проміжку 4, а швидкість охолоджувального повітря в проміжку 1 та проміжку 5 здебільшого нижче 1 м/с (порожня частина упаковки рисунок 10) відповідно. Максимальна температура кожної комірки в упаковці зображена на стовпчастій діаграмі, як показано на рисунку 11. Температура елементів усередині упаковки розподілена симетрично. Елементи акумулятора в ряду 1 та ряду 8 мають низьку температуру через розташування поблизу впускного вентилятора, а температура елементів між двома середніми колонами (колонка 2 та колонка 3) нижча, ніж у бічних елементів, оскільки вхідні отвори для охолоджувального повітря спрямовані до зазору 2 та зазору 4. Вихідні отвори для повітря розташовані в зазорі 3, який знаходиться над елементом акумулятора, і його опір відносно невеликий; більша частина охолоджувального повітря проходить через цей шлях і забирає тепло, що генерується елементами. Лише невелика кількість охолоджувального повітря проходить через найзовнішні зазори, зазори 1 та 5, зі швидкістю нижче 1 м/с. Ефект охолодження обмежений, тому зовнішні елементи акумулятора в

колоні 1 та колоні 4 мають вищі температури, як показано на рисунку 9(вид збоку).

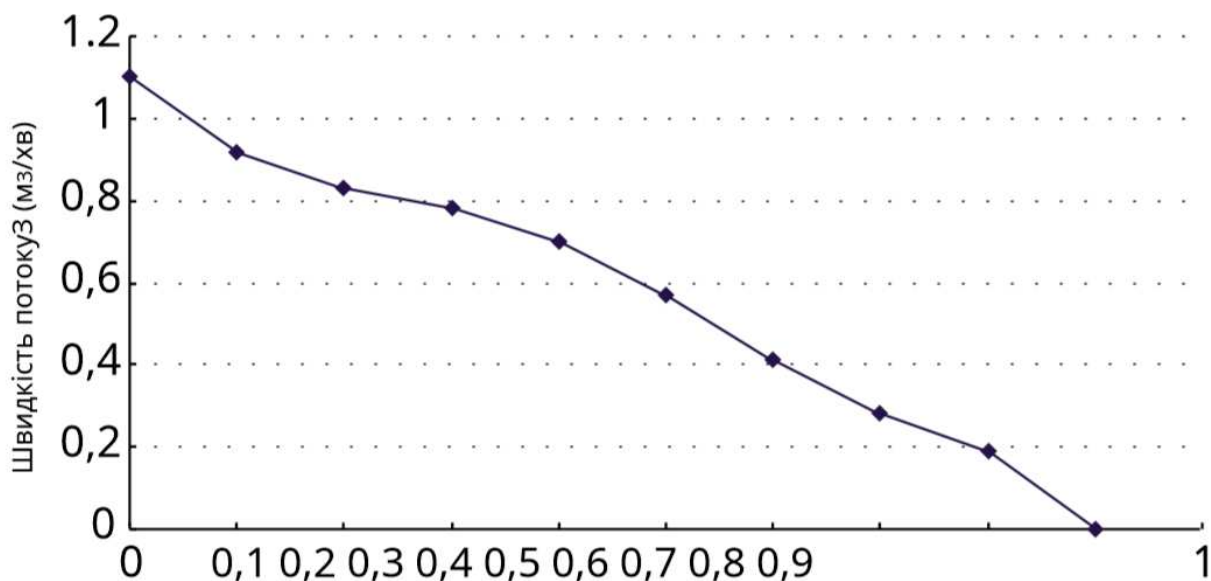


Рисунок 3.6 - Крива продуктивності впускного вентилятора

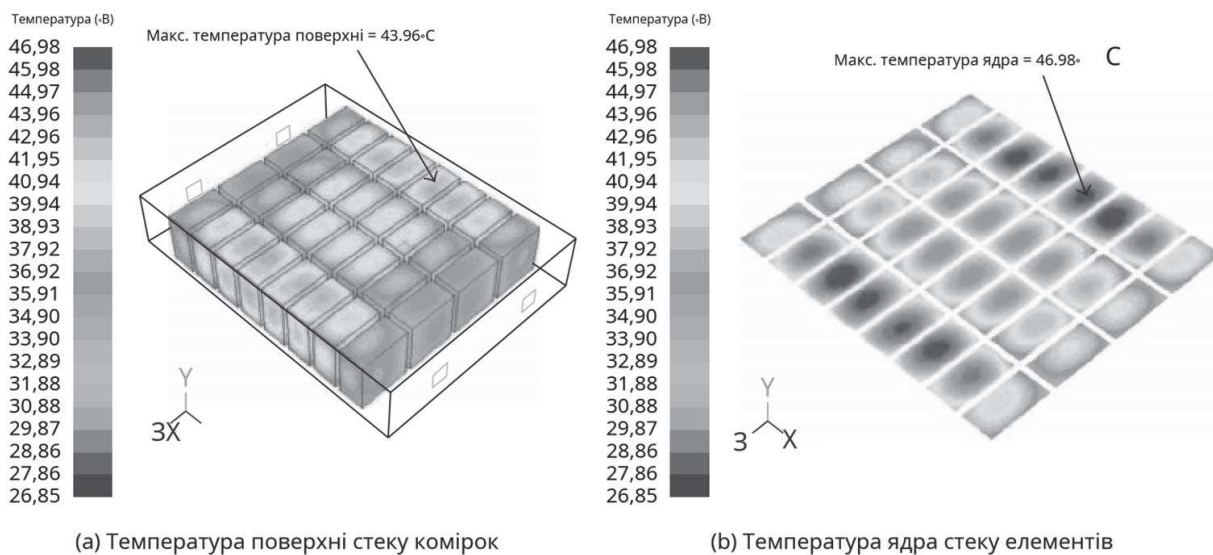


Рисунок 3.7 - Результати моделювання базового проекту

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
58

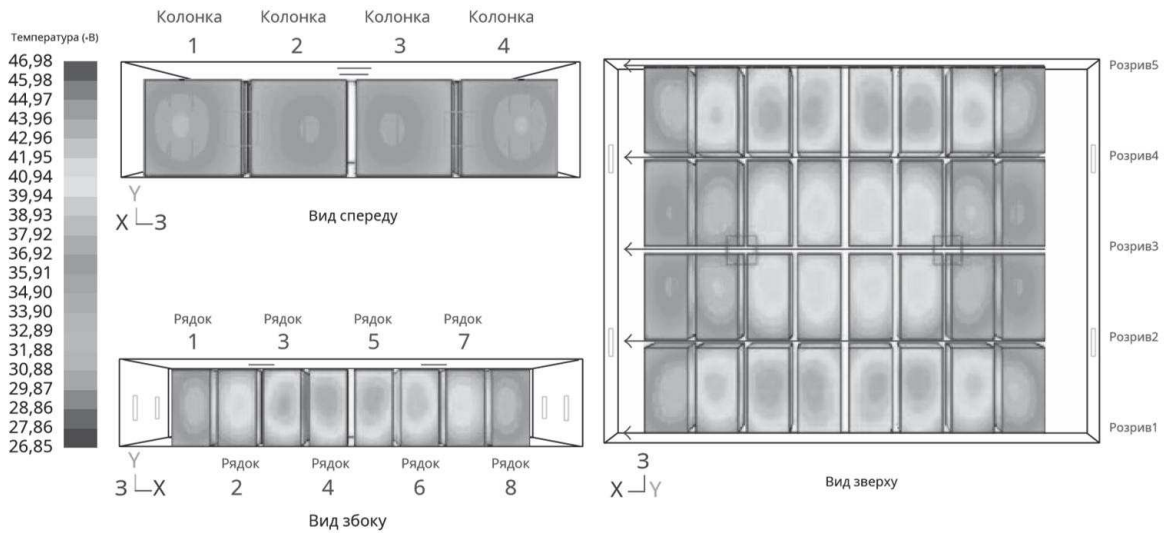


Рисунок 3.8 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці

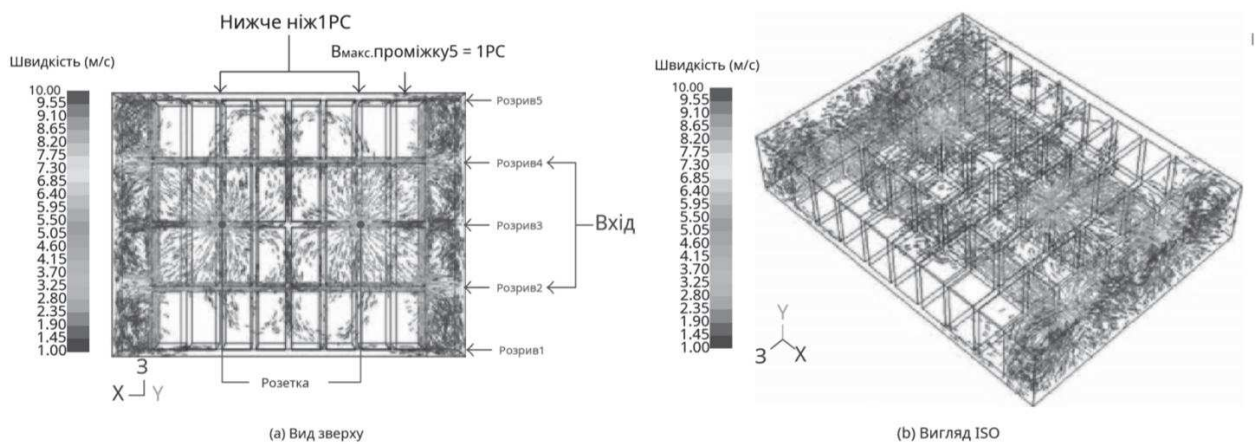


Рисунок 3.9 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (базова конструкція)

Рівномірність розподілу температури є одним із важливих факторів, що впливають на продуктивність та надійність акумуляторного блоку. У цьому дослідженні найвища температура елементів у блоку мінус температура кожного елемента (макс.- клітина) було використано для представлення рівномірності розподілу температури. Максимальна різниця температур у базовому проекті становить $-6,04^{\circ}\text{C}$ (від'ємний знак вказує на те, що температура нижча за максимальну); Б₂₁, Б₂₈, Б₃₁, та Б₃₈ перевищувати рекомендоване значення 5°C у літературі (Б Стовець № Рядок №— це ідентифікатор елемента акумулятора, який використовується в рядку стовпця

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
59

упаковки; тобто B_{21} — це елемент акумулятора у другому стовпці та першому рядку).

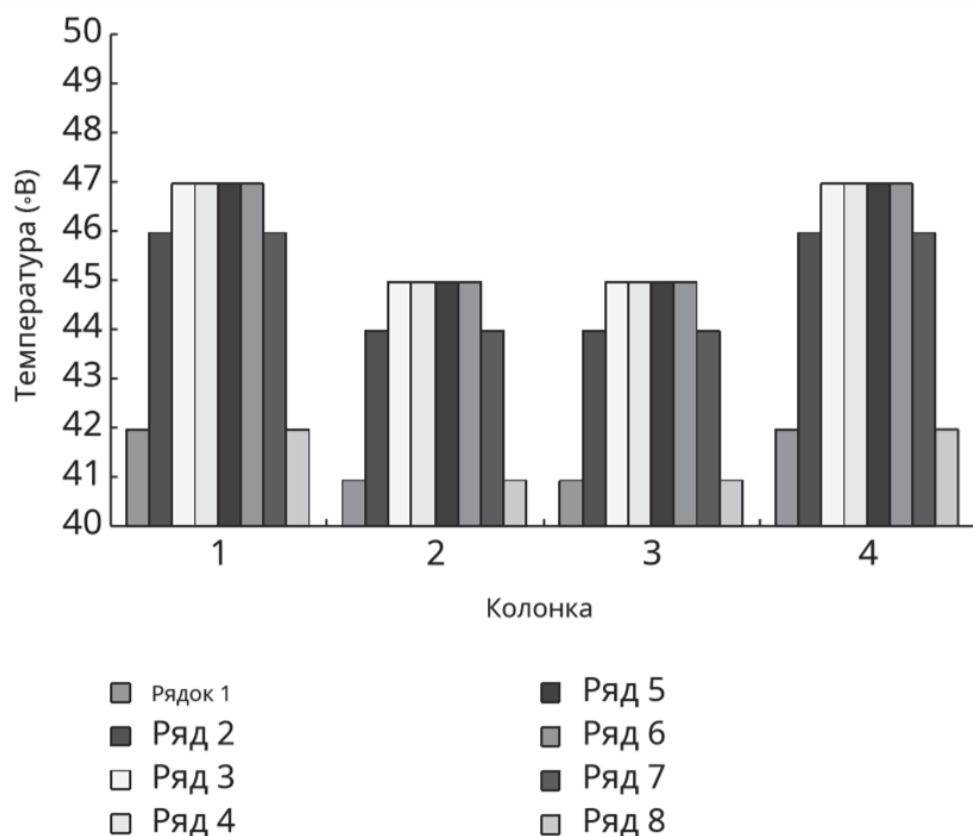


Рисунок 3.10 - Максимальний розподіл температури в упаковці (базовий варіант)

Вища температура елементів акумулятора зрештою призведе до зниження продуктивності всієї батареї. Тому у наступній частині наведемо серію оптимізованих конструкцій для пошуку ідеального розташування та форми входу та виходу охолоджувального повітря, а також відповідного розміру охолоджувального каналу.

3.5 Оптимізація конструкції батареї

Оптимальний дизайн цього дослідження був визначений як загальний розмір усієї структури упаковки та загальна швидкість потоку повітря.

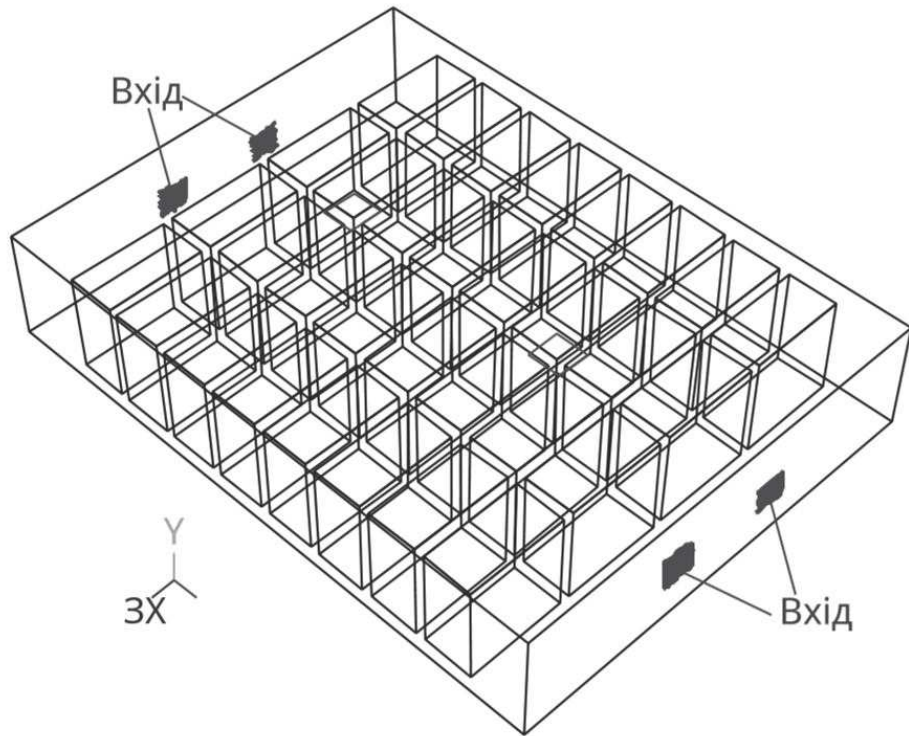


Рисунок 3.11 - Схема впускного отвору охолоджувального повітря для типу 2

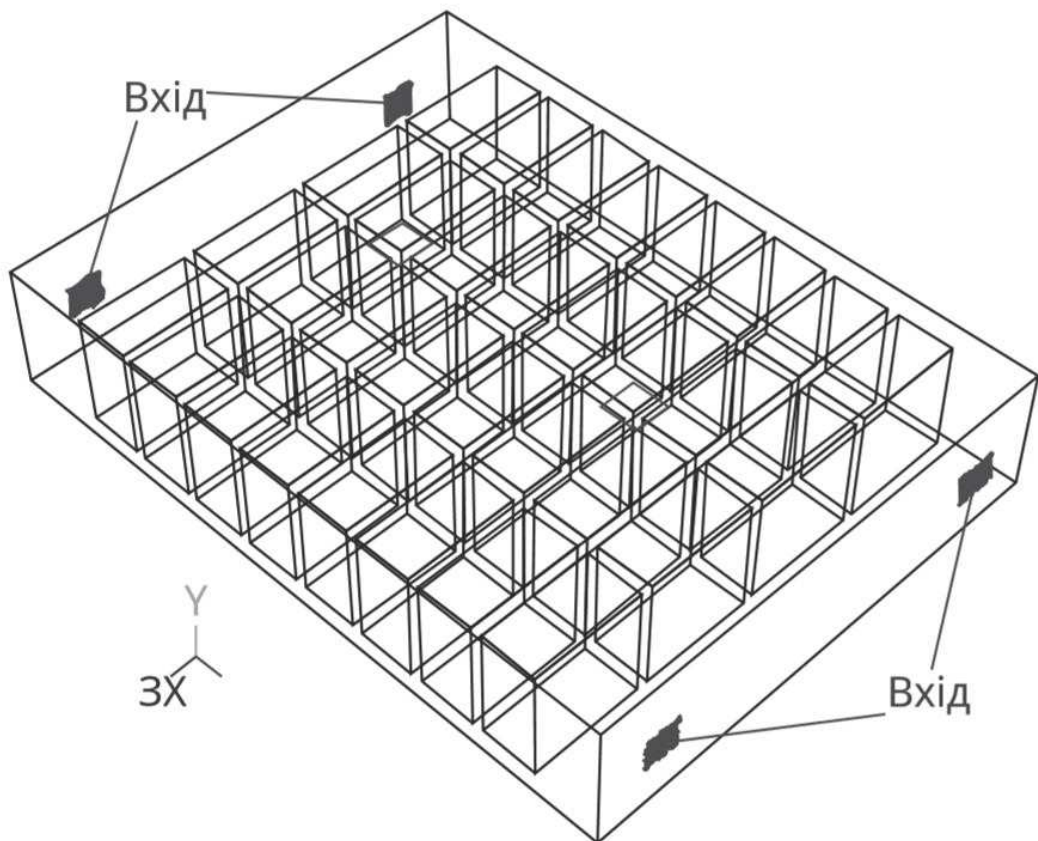


Рисунок 3.12 - Схема впускного отвору охолоджувального повітря для типу 3

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
61

Впускний вентилятор залишається незмінним; тобто кількість впускних отворів для повітря та їх розмір є фіксованими. За цих обмежень оптимізація полягає у пошуку ідеальних розташувань впускних та випускних отворів, а також проміжків між елементами живлення.

3.5.1 Оптимальне проектування розташування впускного отвору

Щоб покращити нерівномірний розподіл температури, першим кроком було регулювання вхідного отвору з базового положення, при цьому положення вихідного отвору залишалось незмінним. Тип 2 полягав у регулюванні положення вхідних вентиляторів у напрямку до середніх колон 2 та колон 3, як показано на рисунку 12. Тип 3 полягав у коригуванні основного положення, зверненого назовні, у колонці 1 та колонці 4, як показано на рисунку 13. Два типи нового дизайну та базовий дизайн з відповідними позиціями показано на рисунку 14. Припущення моделювання для Типу 2 та Типу 3 такі ж, як і в базовому проекті. Результати моделювання типу 2 показано на рисунку 15. Максимальна температура поверхні клітини становить 46,27С, а максимальна внутрішня температура комірки становить 49,7С. Різниця температур становить 3,43С між поверхнею та ядром. Вигляд спереду рисунок 16 показує, що чотири клітини (Б₂₁, Б₂₈, Б₃₁, та Б₃₈), що стикалася з вхідним отвором, була найхолоднішими комірками (температура поверхні 35,99С) всередині пачки. Спостереження за діаграмами швидкостей у типі 2 (рисунок 17) показує, що охолоджувальне повітря з вищими швидкостями потоку (6,37 м/с) відповідає Б₂₁, Б₂₈, Б₃₁, та Б₃₈ і витяжний повітряний потік спрямований безпосередньо вгору до вихідного отвору, що призводить до повільнішого охолодження інших комірок повітрям, особливо чотирьох комірок, розташованих у центральному положенні всього модуля (Б₂₄, Б₂₅, Б₃₄, та Б₃₅), який отримував швидкість потоку лише нижче 1 м/с, що призводило до проблемного відведення тепла. Максимальна температура (що виникає в ядрі) кожної комірки типу 2 зображена, як показано на рисунку 18.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

Температура комірки розподілена симетрично. Незважаючи на те, що вхід повітря розташований у комірках колони 2 та колони 3, охолоджувальне повітря потрапляло в упаковку та зустрічало Б₂₁ рік, Б₂₈, Б₃₁, та Б₃₈ і потрапляло до верхнього виходу, де опір відносно низький, що призвело до вищої температури комірки в цих двох колонах, ніж у колоні 1 та колоні 4. Максимальна різниця температур $-9,14\text{C}$ сталася в Б₂₁ рік, Б₂₈, Б₃₁, та Б₃₈, а ряд 1 та ряд 8 мають максимальні різниці температур набагато більші, ніж інші ряди. Результат показує, що конструкція типу 2 спричиняє надзвичайно нерівномірний розподіл температури.

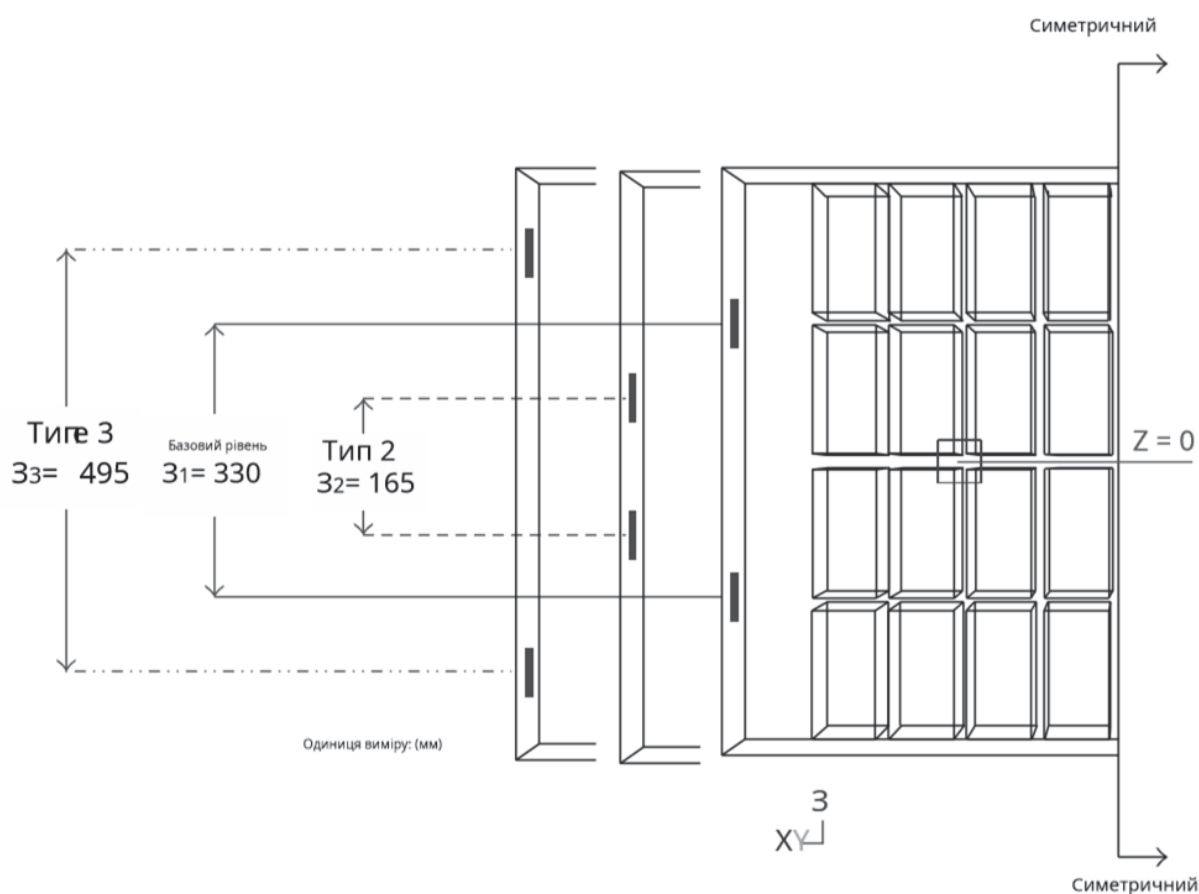


Рисунок 3.13 - Три варіанти розміщення впускного отвору

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
63

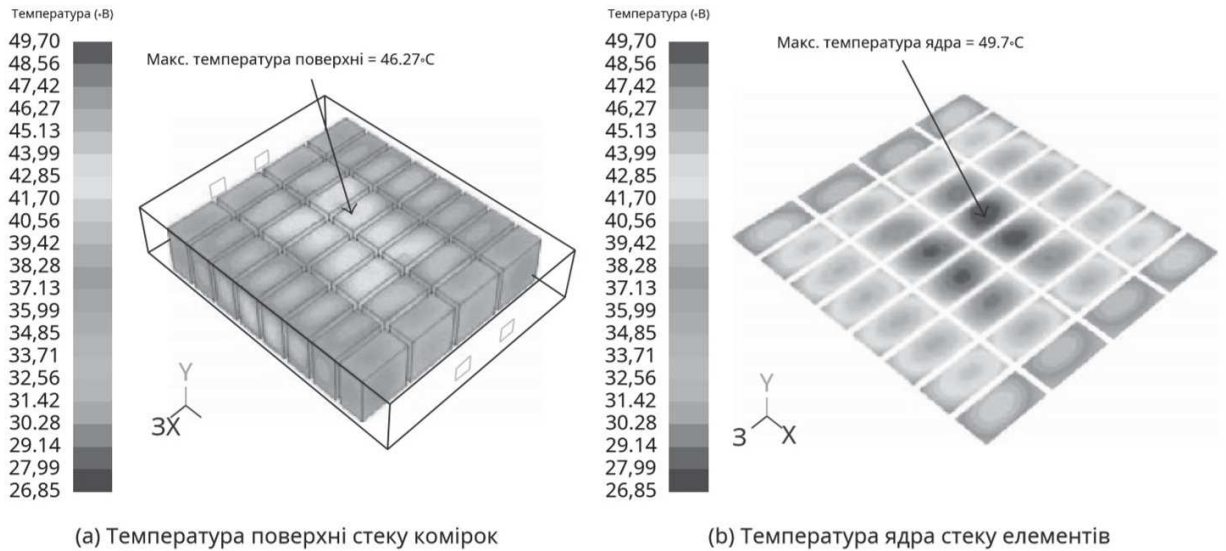


Рисунок 3.14 - Результати моделювання типу 2

Результати моделювання типу 3 показано на рисунку 19. З рисунка видно, що максимальна температура на поверхні комірки становить 45,79°C. Максимальна температура в ядрі становить 49,14°C, що зустрічається у восьми клітинках стовця 2 (Б₂₃, Б₂₄, Б₂₅, та Б₂₆) та колонка 3 (Б₃₃, Б₃₄, Б₃₅, та Б₃₆).

Максимальна різниця температур між поверхнею та ядром становить 3,35С. Ортографічне зображення розподілу температури комірки в типі 3 показано на рисунку 20. Найхолодніші температури поверхні чотирьох комірок, що звернені до входу (Б₁₁, Б₁₈, Б₄₁, та Б₄₈) становлять 35,74°C. Діаграма швидкостей типу 3 (рисунки 21 та 22) показує, що вища швидкість потоку (6,51 м/с) охолоджувального повітря зустрілася в В₁₁, В₁₈, В₄₁, та В₄₈ і летіли до двох вихідних отворів над зазором 3; порожня частина на рисунку показує, що швидкість потоку охолоджувального повітря нижче 1 м/с, а вісім комірок, розташованих у колоні 2 (Б₂₃, Б₂₄, Б₂₅, та Б₂₆) та колонка 3 (Б₃₃, Б₃₄, Б₃₅, та Б₃₆) від центру модуля відносяться лише до повільнішого потоку охолоджувального повітря, що утворює концентрацію тепла в пакеті. Максимальні температури ядра кожної комірки в пакеті показано на рисунку 21, температури комірок розподілені симетрично.

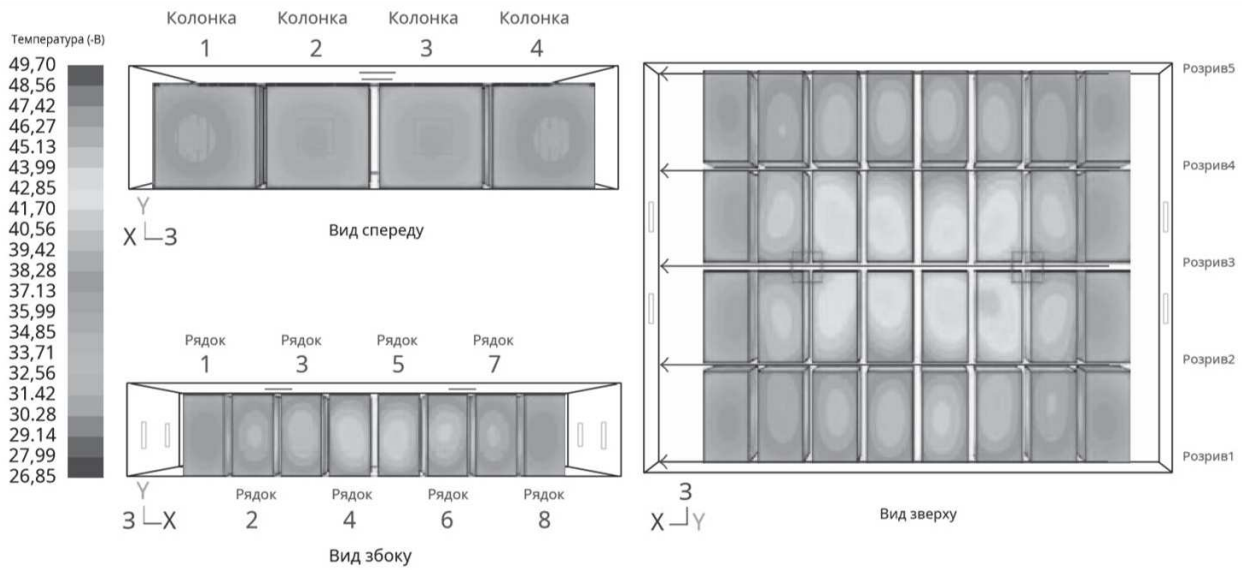


Рисунок 3.15 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (тип 2)

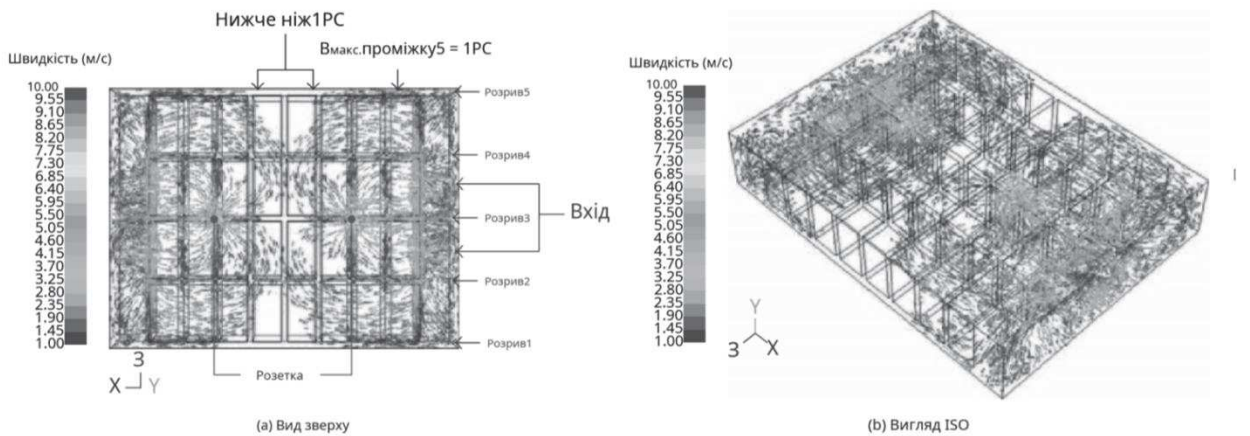


Рисунок 3.16 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (тип 2)

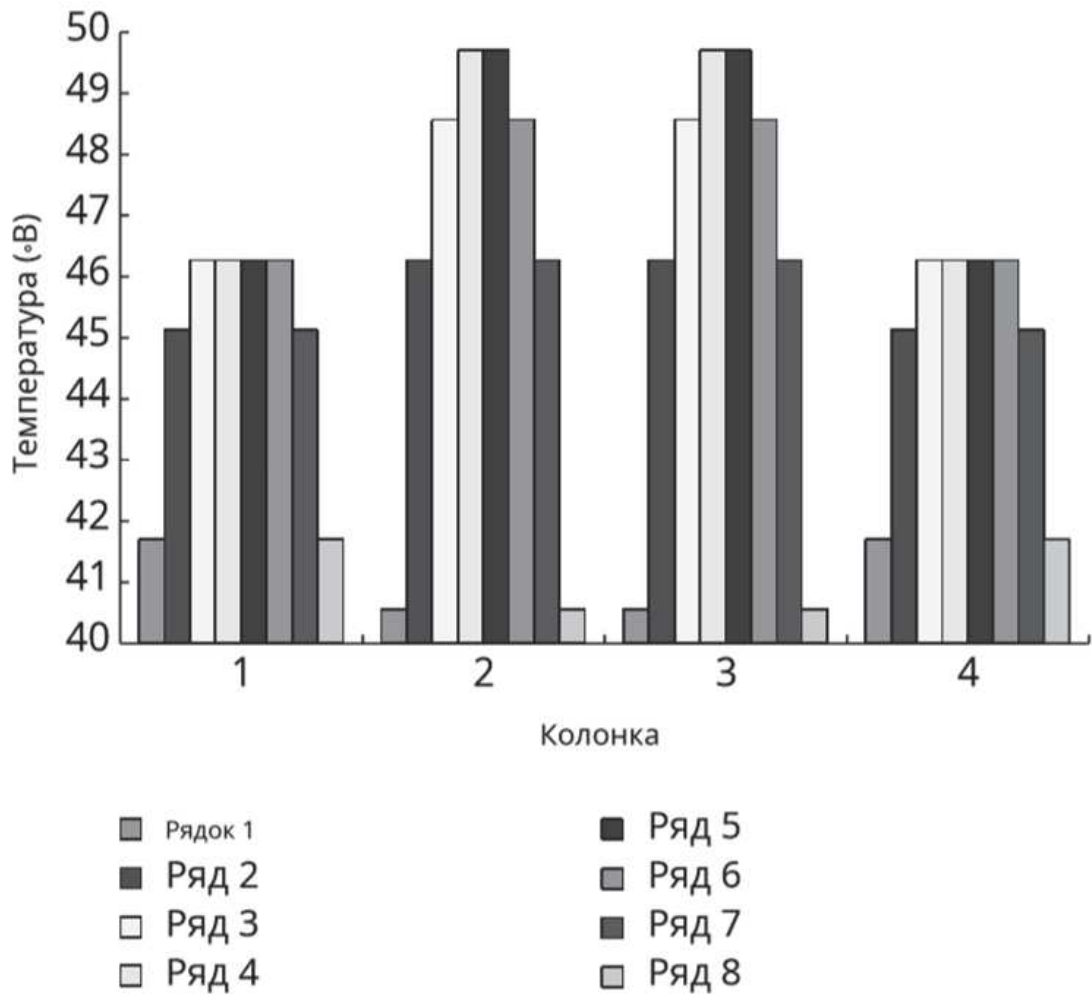


Рисунок 3.17 - Максимальний розподіл температури в упаковці (тип 2)

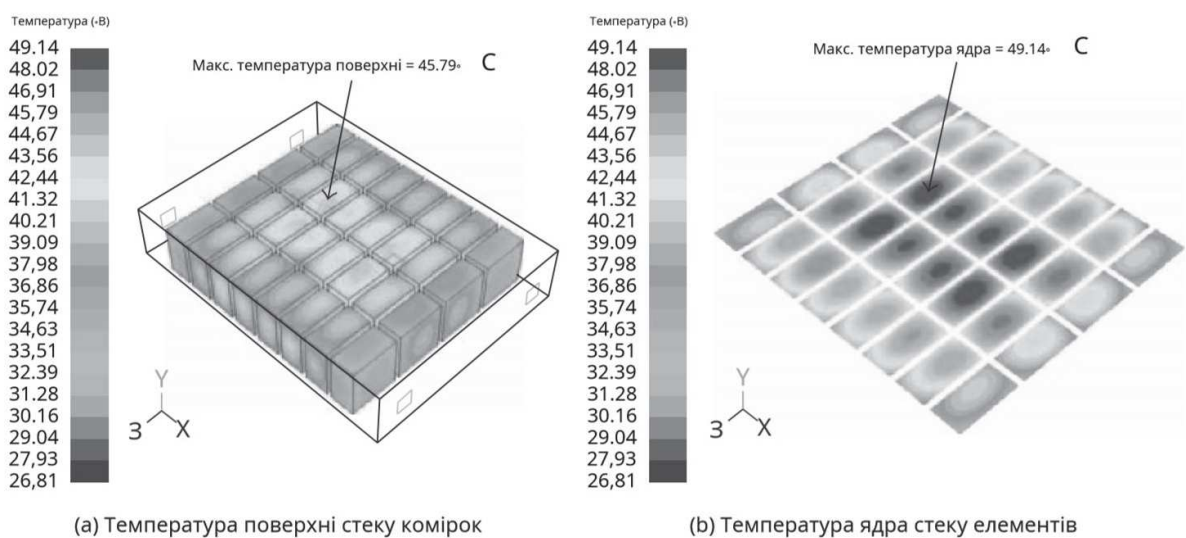


Рисунок 3.18 - Результати моделювання типу 3

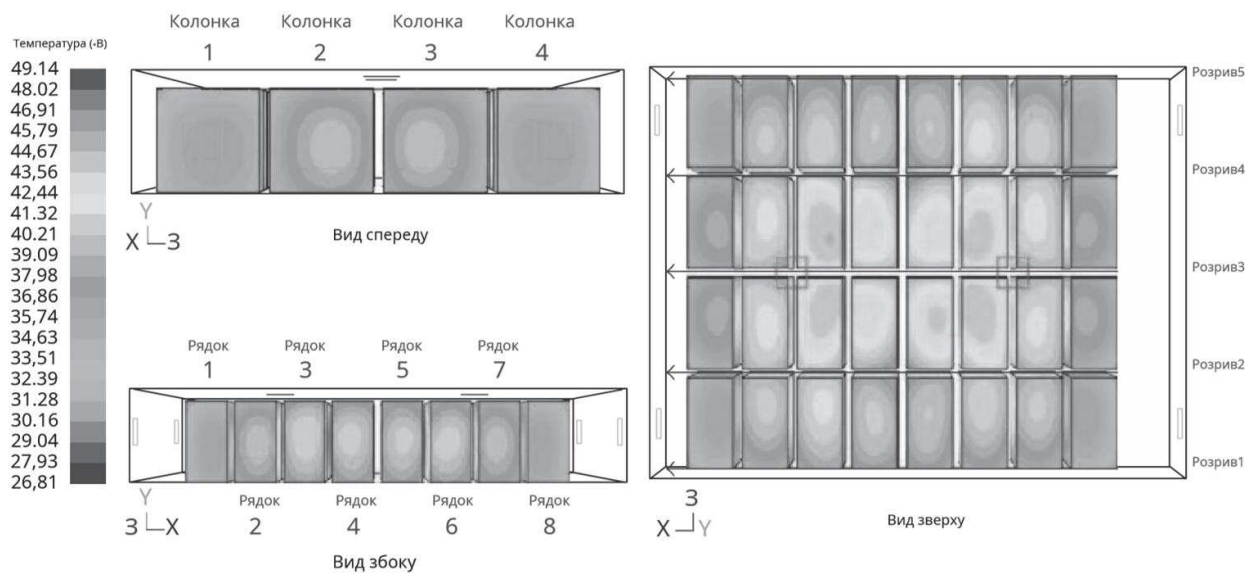


Рисунок 3.19 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (тип 3)

Згідно з результатами моделювання базового проекту, типу 2 та типу 3, базовий проект полягає в коригуванні розташування впускного вентилятора, спрямованого до охолоджувальних каналів (зазор 2 та зазор 4), що дозволяє охолоджувальному повітрю надходити в акумулятор, ефективно знижує максимальну температуру акумуляторного блоку та мінімізує різницю температур між поверхня клітини та ядро (3,02C). Порівняння показників швидкості трьох конструкцій (рисунок 10, 17 та 21), можна отримати, що більшість швидкостей потоку охолоджувального повітря в базовій конструкції нижче 1 м/с порівняно з Типом 2 та Типом 3, але потік має найвищі швидкості потоку повітря в зазорі, і він оточений більшою кількістю комірок, які можуть ефективно відводити тепло; отже, базова конструкція має найнижче значення максимальної різниці температур серед цих трьох конструкцій, а також найбільш рівномірний розподіл температури в упаковці. На наступному етапі оптимізації дослідження будемо вибирати розташування вхідного вентилятора базової конструкції з кількома типами вихідних

отворів; визначимо найкращу конструкцію випускного отвору напівтандемної вентиляційної системи

3.5.2 Визначення оптимального місця розташування вентиляторів охолодження

Режим охолодження запропонованої напівсерійної вентиляційної системи аналогічний. Серійна система вентиляції складається з чотирьох вентиляторів, які розташовані спереду та ззаду акумуляторного блоку, змушували охолоджувальне повітря надходити всередину блоку та виходити через вихідний отвір у верхній частині блоку. Аналіз результатів моделювання показує, що коли охолоджувальне повітря потрапляє в проміжки між комірками, воно має кращий охолоджувальний ефект; отже, нова концепція дизайну зафіксує положення вхідного отвору з обох боків пакета, звернених до проміжку 2 та проміжку 4, та відрегулює положення вихідного отвору для досягнення оптимізованої конструкції. Перш за все, розташування вихідних отворів все ще буде розташовано в середньому проміжку (проміжку 3) пакета. Концепція дизайну Типу 4 полягає в тому, щоб відрегулювати положення вихідного отвору базової конструкції до центру. Тип 5 безпосередньо об'єднує два положення вихідних отворів до центру пакета, утворюючи один отвір. Враховуючи, що площа вихідного отвору повинна бути такою ж, як у базовій конструкції та інших конструкціях; тому загальна площа одного вихідного отвору в Типі 5 дорівнює площі подвійної розетки базової конструкції (5000 мм²). Тип 4, тип 5 та базова конструкція з відповідними позиціями показані на рисунку 23. Аспекти налаштувань CFD-моделювання такі ж, як і в базовому проекті.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		68

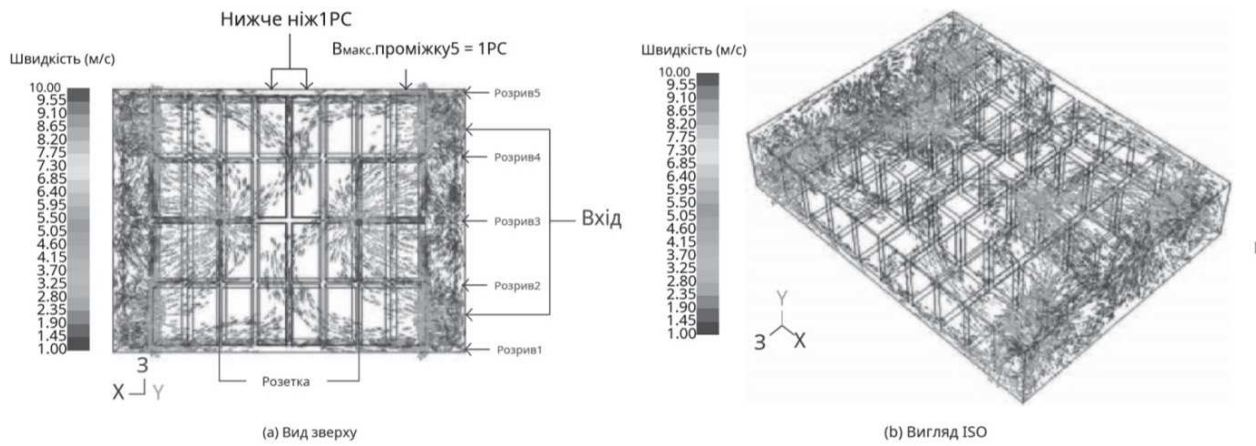


Рисунок 21- Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (тип 3)

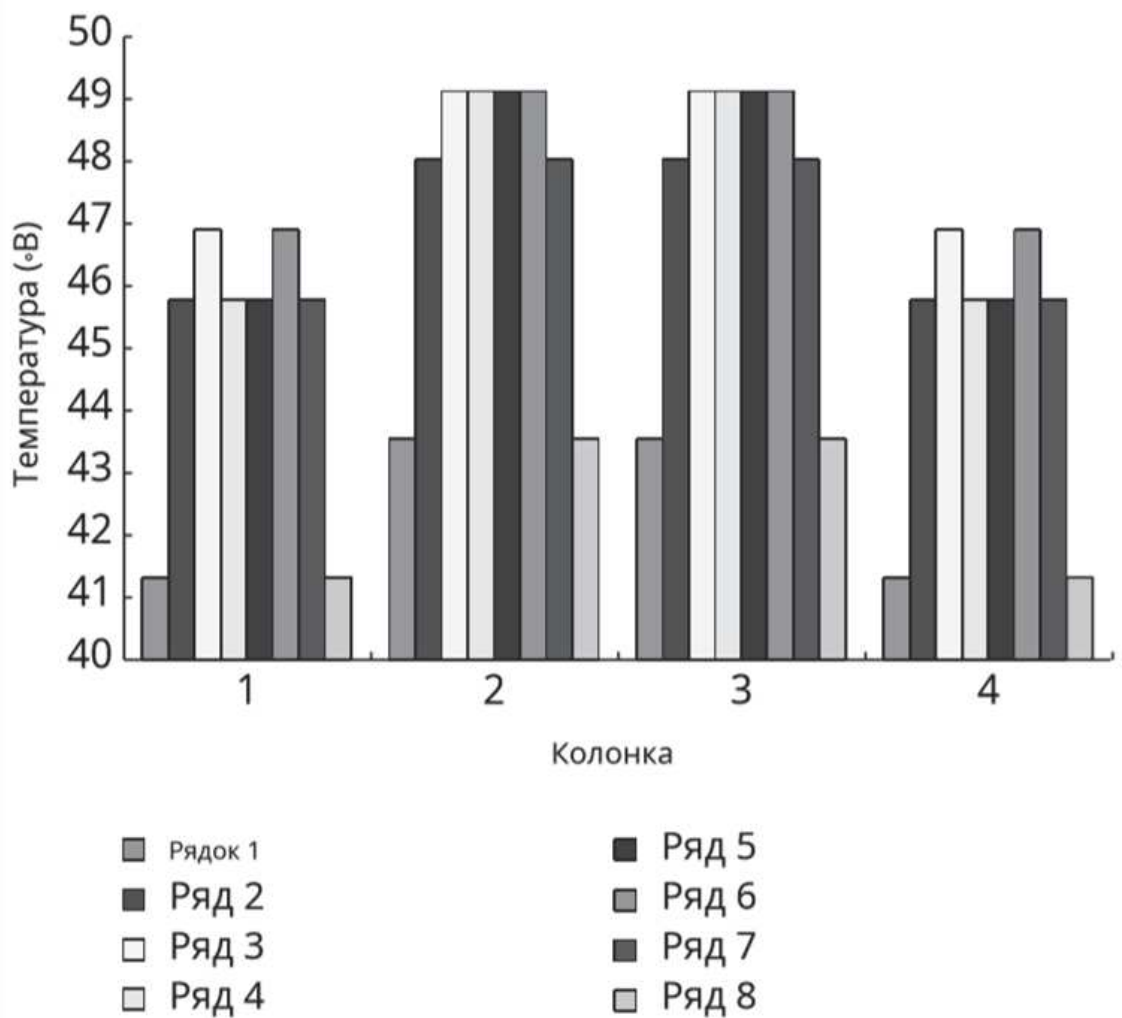


Рисунок 3.21 - Максимальний розподіл температури в упаковці (тип 3)

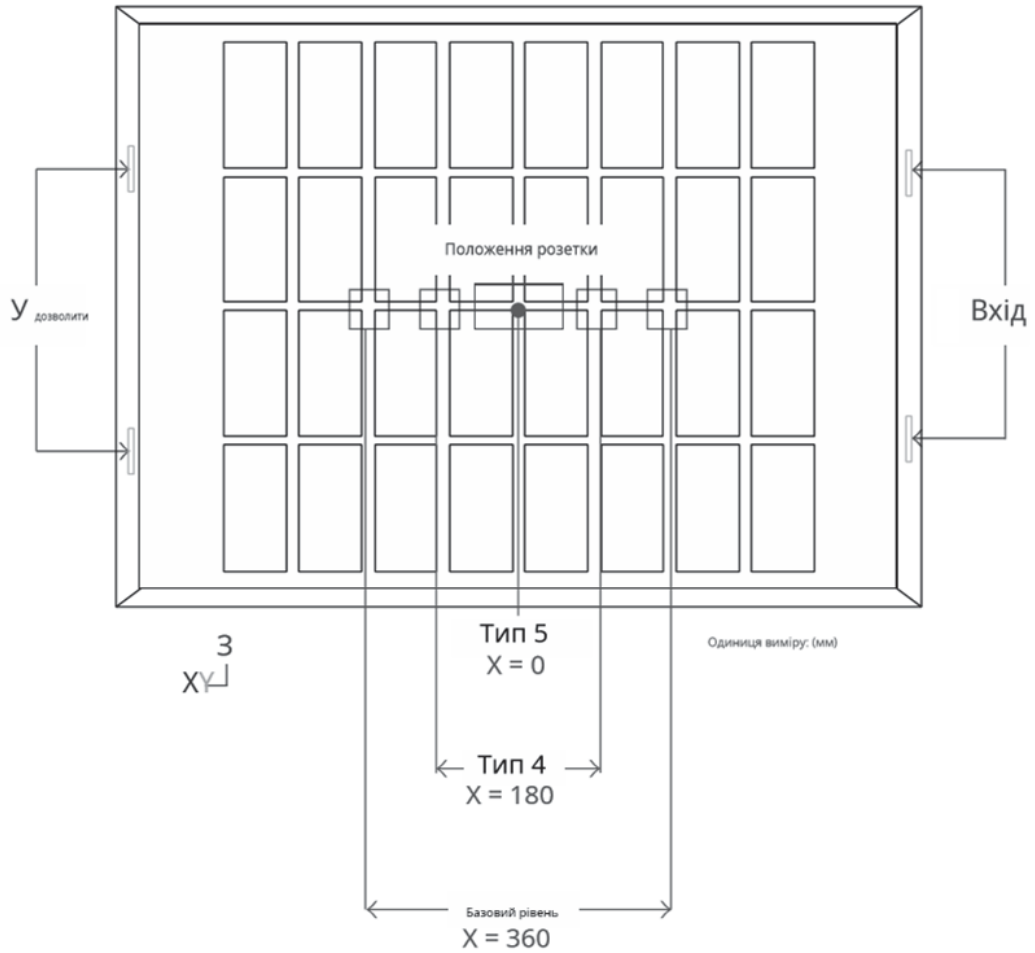


Рисунок 3.22 - Відповідне положення та розміри типу 4, типу 5 та базової конструкції

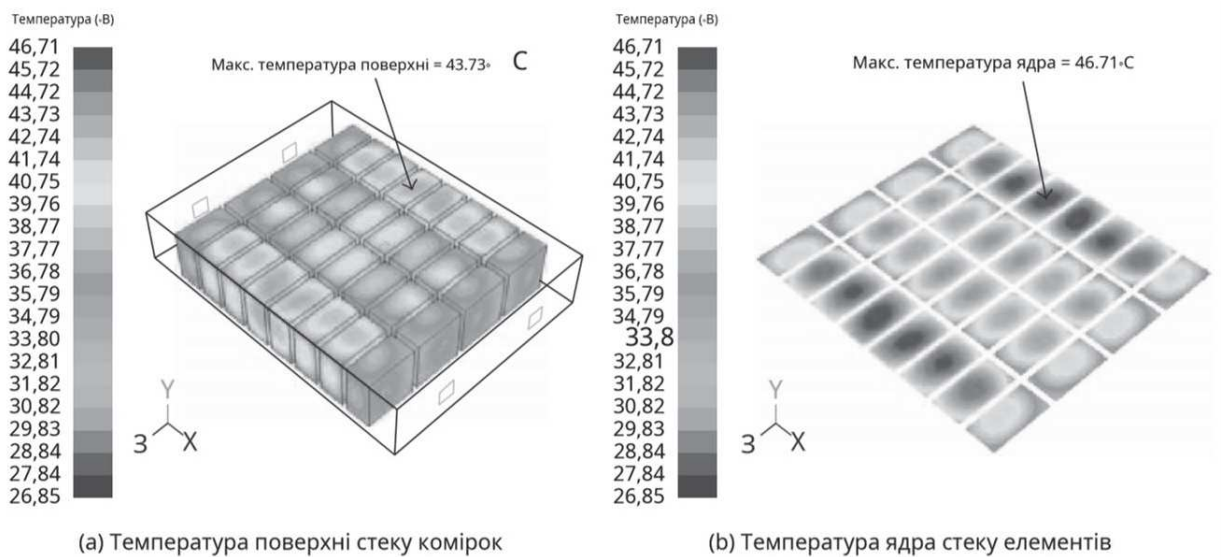


Рисунок 3.23- Результати моделювання типу 4

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
70

Що стосується колони 2 та колони 3, температура комірки відносно низька, оскільки вихідне положення розташоване в зазорі між двома колонами; потік охолоджувального повітря до виходу має менший опір та вищу швидкість потоку, що може легко відводити тепло від комірок.

Результати показують, що максимальна різниця температур комірки становить $-4,96^{\circ}\text{C}$; це показує, що конструкція вихідного отвору типу 4 може ефективно покращити рівномірність різниці температур. Рисунок 28 показує результати моделювання типу 5; температура ядра та температура поверхні становлять $46,47^{\circ}\text{C}$ та $43,53^{\circ}\text{C}$ відповідно. Температура комірок має симетричний розподіл; ортографічного вигляду розподілу температури всередині упаковки типу 5 (рисунок 29), швидкість потоку охолоджувального повітря (рисунок 30), та максимальна температура ядра (рисунок 31), можна отримати, що конструкція з одним виходом може ефективно зменшити опір потоку охолоджувального повітря, збільшити швидкість потоку та, отже, відвести більше тепла. Максимальні різниці температур кожної комірки показано на Таблиця 12, максимальна різниця температур становить $-3,92^{\circ}\text{C}$ (нижче за рекомендоване значення в літературі) вище температури пакета, що створює нерівномірний розподіл температури по всьому пакету.

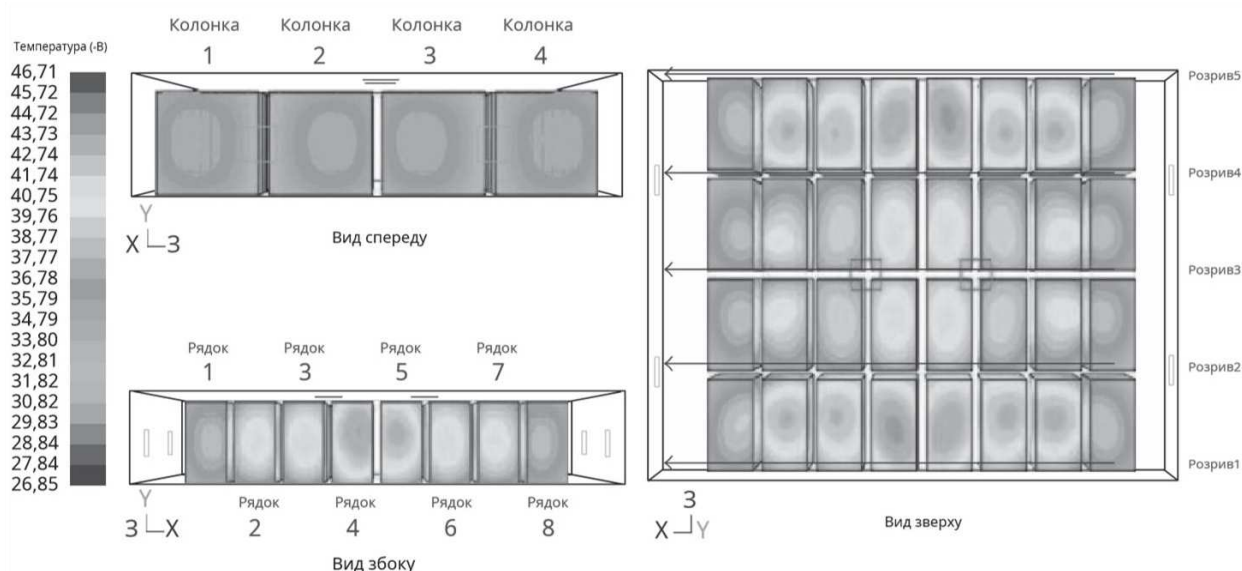


Рисунок 3.24 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (тип 4)

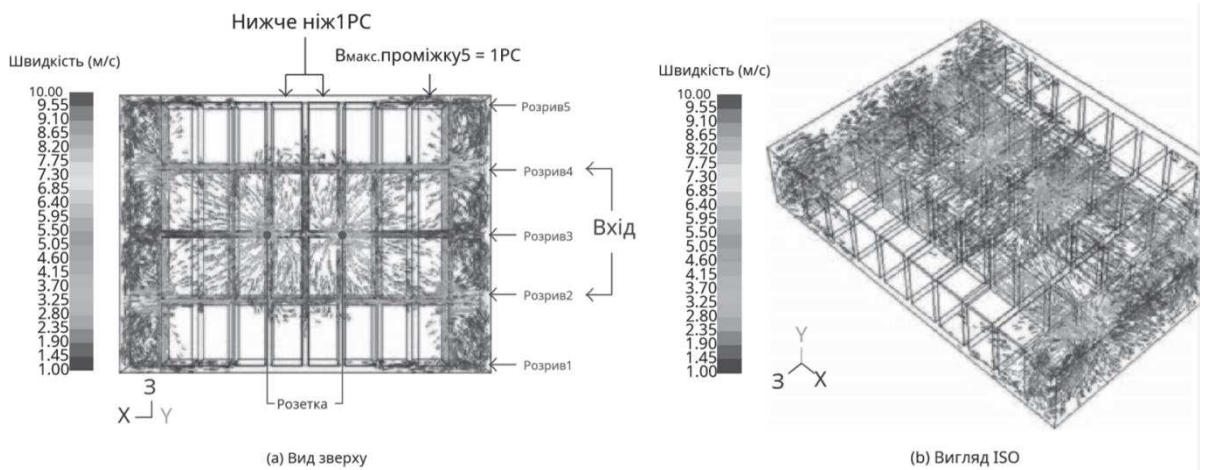


Рисунок 3.25 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (тип 4)

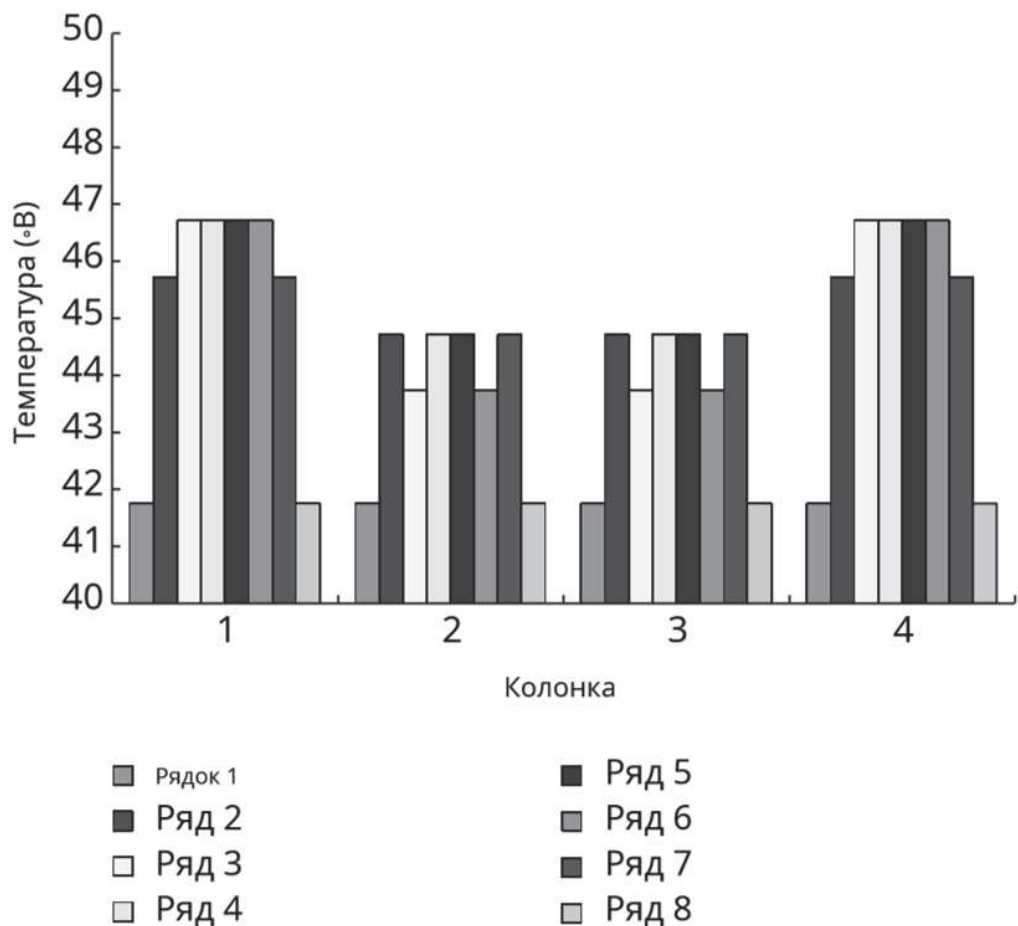


Рисунок 3.26 - Максимальний розподіл температури в упаковці (тип 4)

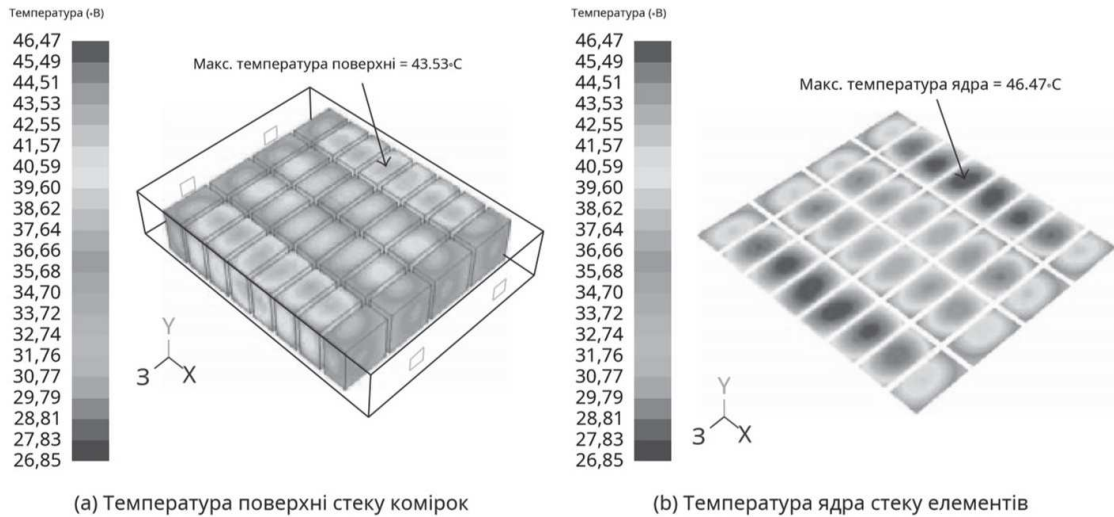


Рисунок 3.27 - Результати моделювання типу 5

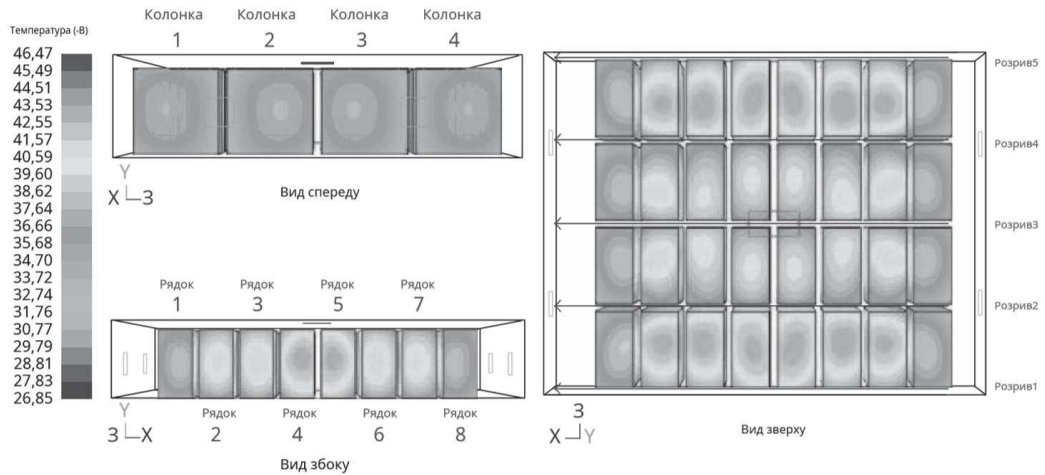


Рисунок 3.28 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (тип 5)

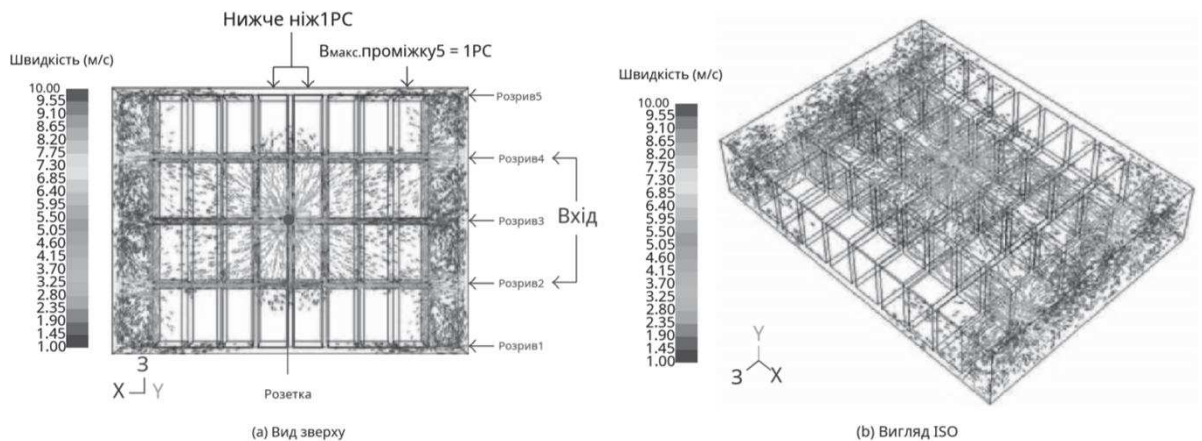


Рисунок 3.29 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (тип 5)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

73

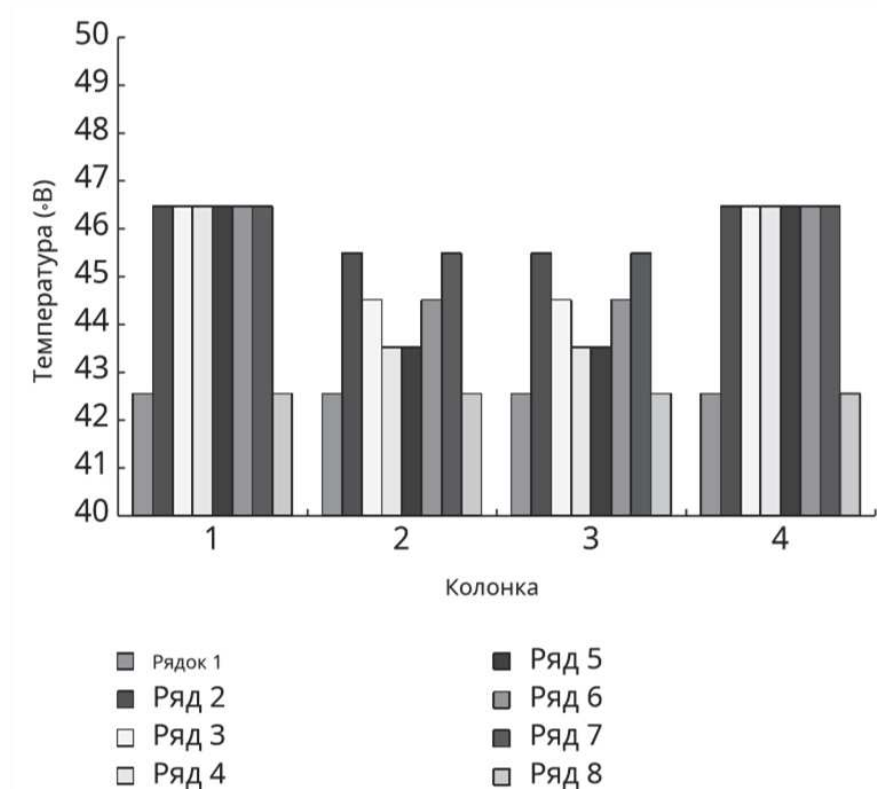


Рисунок 3.30 - Максимальний розподіл температури в упаковці (тип 5)

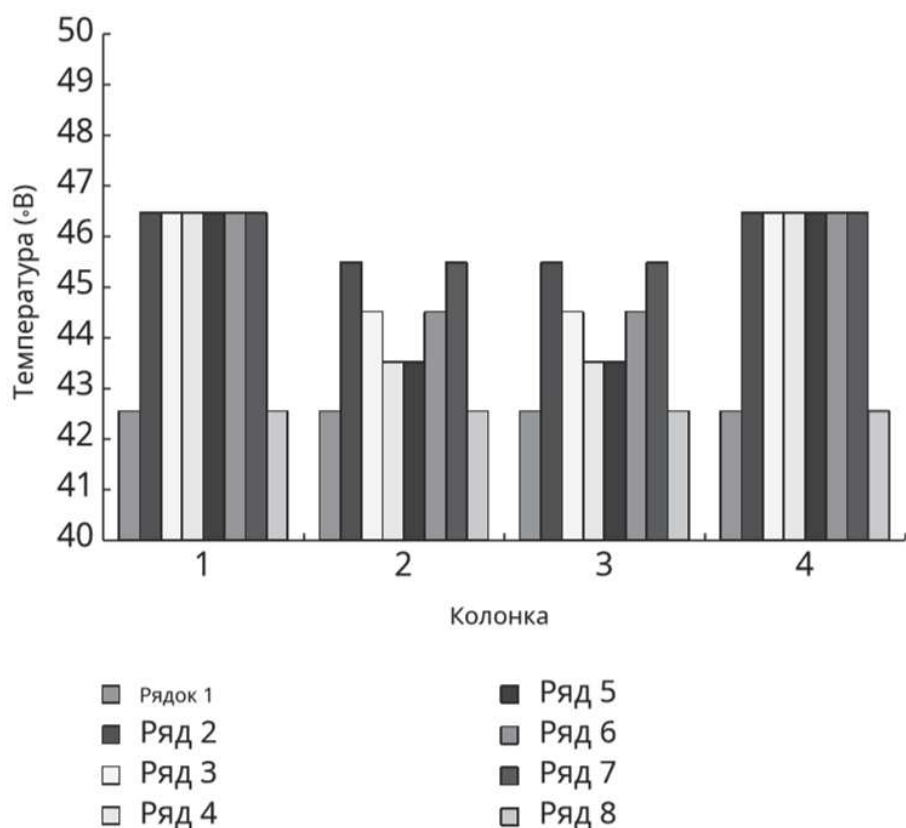
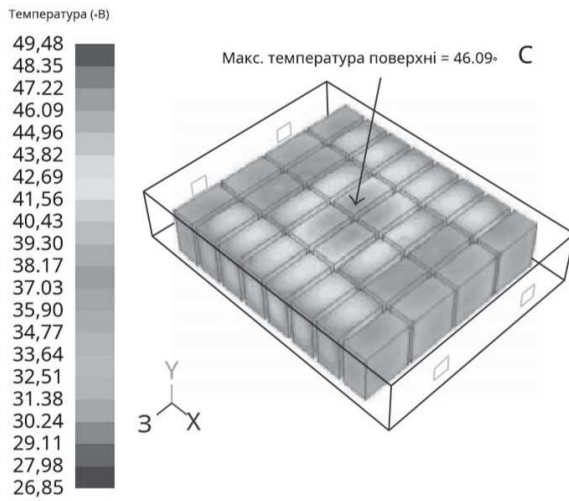
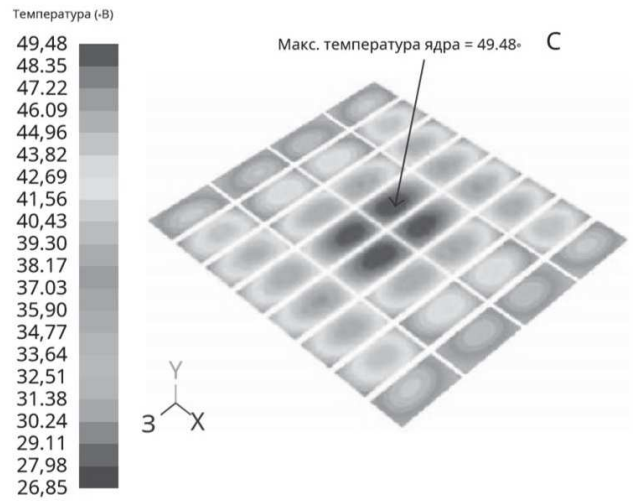


Рисунок 3.31 - Відповідне положення та розміри оптимальних конструкцій I, II та III



(a) Температура поверхні стеку комірок



(b) Температура ядра стеку елементів

Рисунок 3.32 - Результати моделювання Optimum Design I

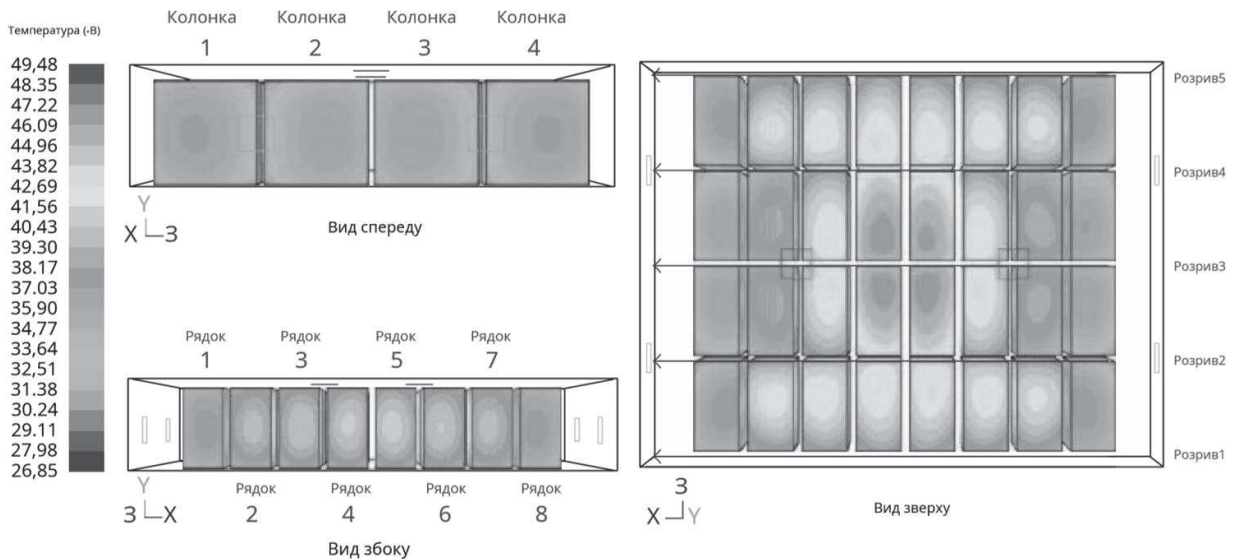


Рисунок 3.33 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (оптимальний дизайн I)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
75

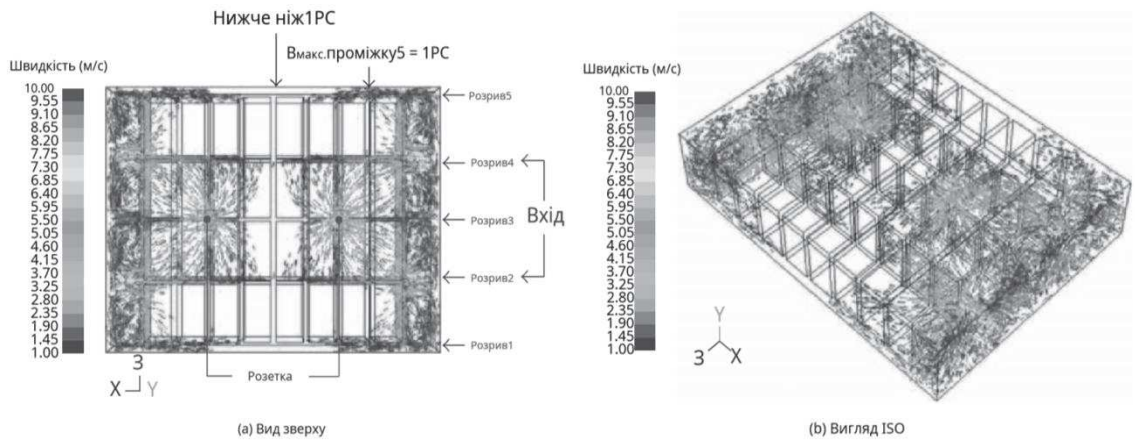


Рисунок 3.34 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (оптимальна конструкція I)

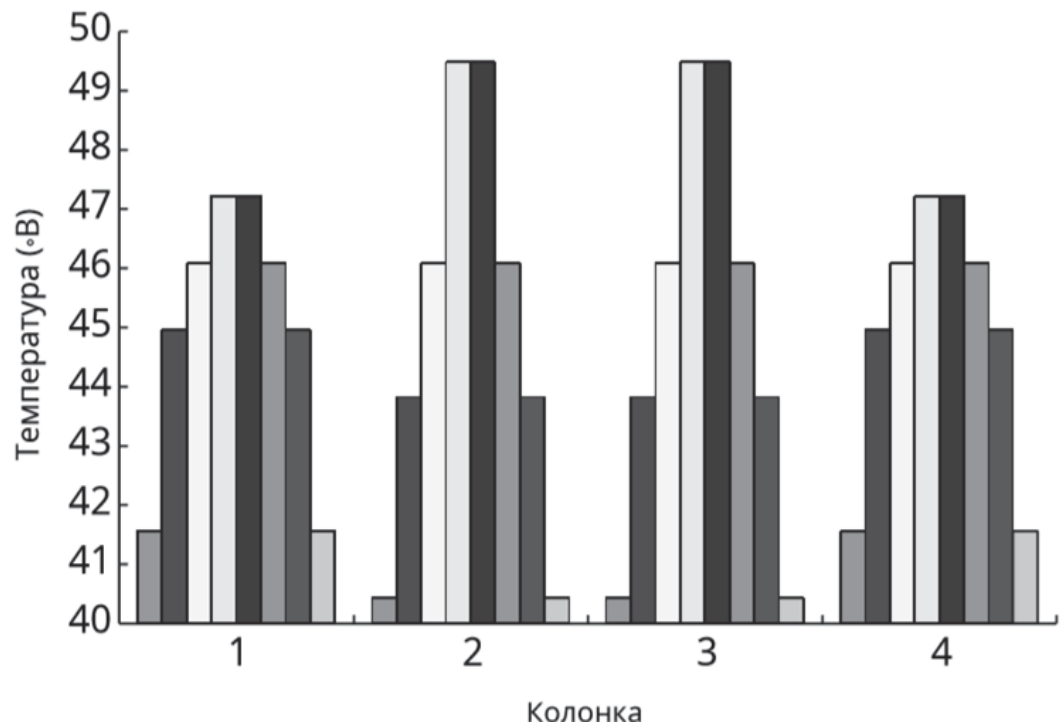


Рисунок 3.35 - Максимальний розподіл температури в упаковці (оптимальна конструкція I)

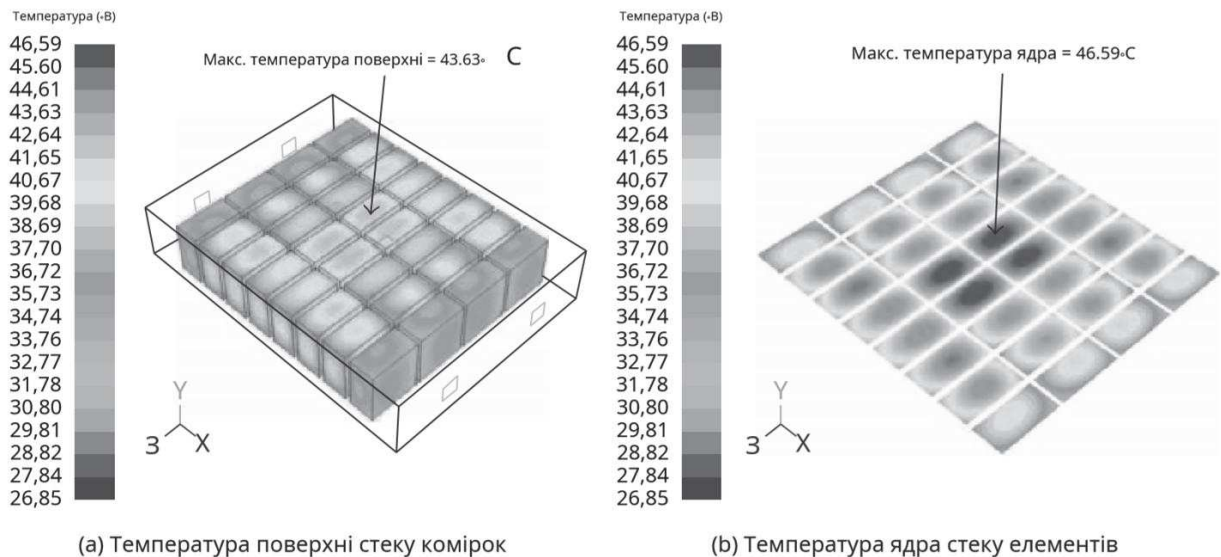


Рисунок 3.36 - Результати моделювання Optimum Design II

Тому остаточна концепція дизайну полягає в регулюванні трьох проміжків між комірками в середині пачки (проміжок 2, проміжок 3 та проміжок 4) від початкових 15 мм до 10 мм (на основі [22] для рекомендованого мінімального значення для каналу охолодження), збільшення крайніх зазорів (зазор 1 та зазор 5) з 15 мм до 22,5 мм. Очікується, що це дозволить більшій кількості охолоджувального повітря проходити через колону 1 та колону 4 та відводити тепло комірок. Оптимальні конструкції I, II та III мають зазори комірок, перелічені вище, з базовим положенням входу, але кожен має базове положення виходу типу 4 та типу 5 відповідно. Детальна конфігурація показана на рисунку 32. Припущення та налаштування параметрів моделювання еквівалентні базовому проекту.

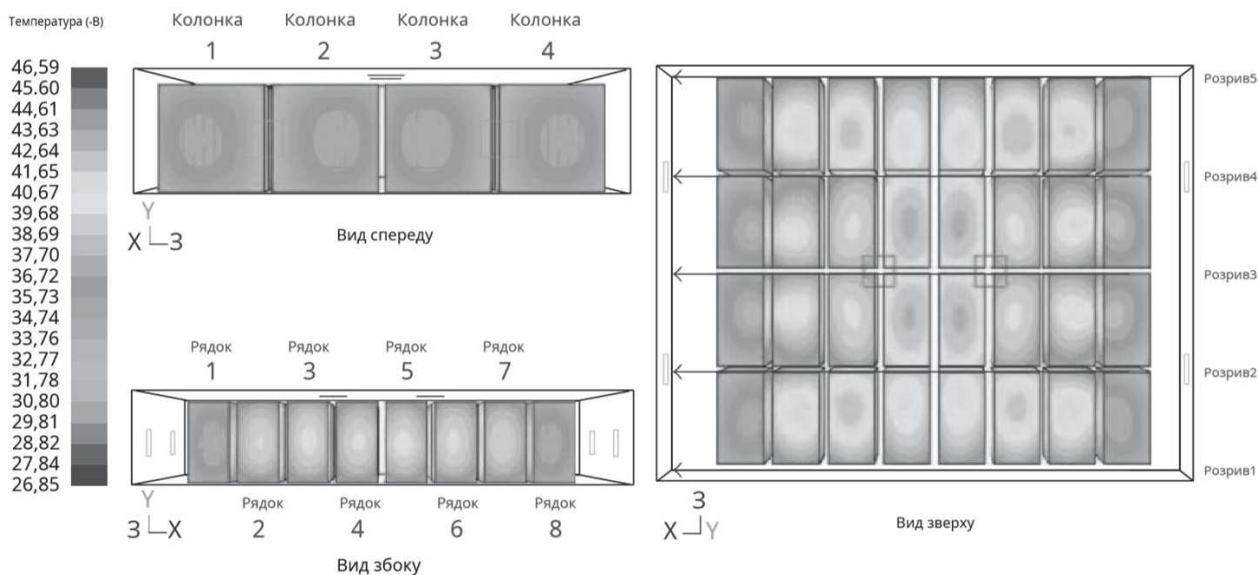


Рисунок 3.37 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (Optimum Design II)

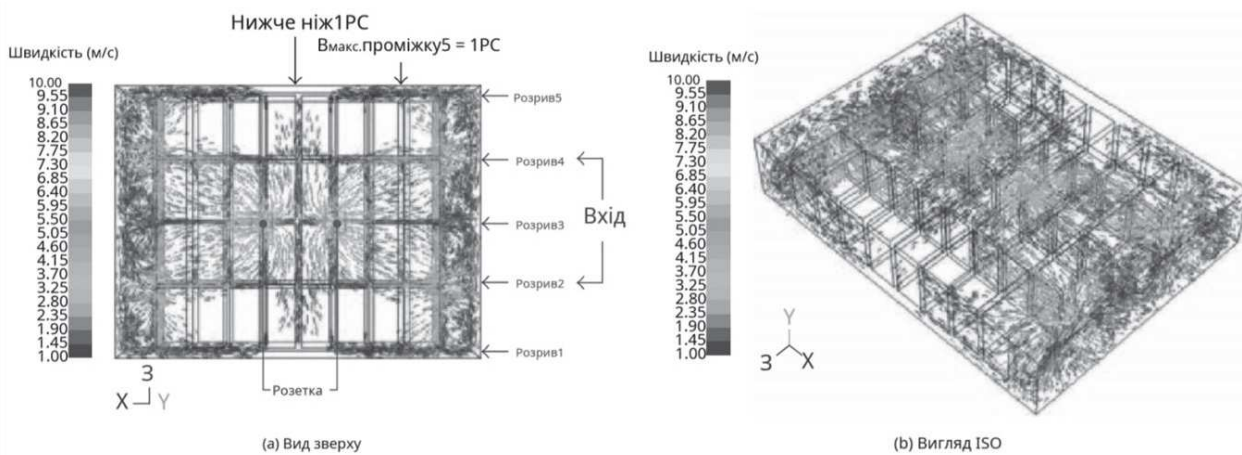


Рисунок 3.38 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (оптимальна конструкція II).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
78

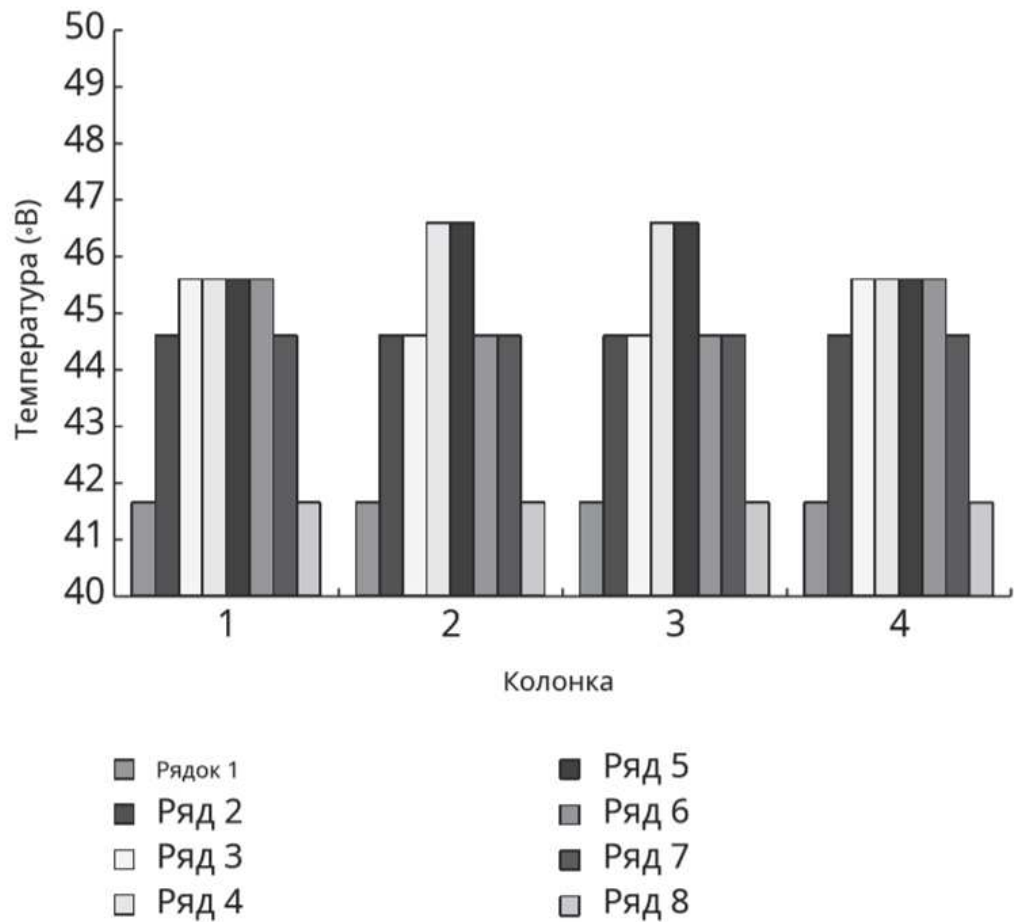


Рисунок 3.39 - Максимальний розподіл температури в упаковці (оптимальна конструкція II)

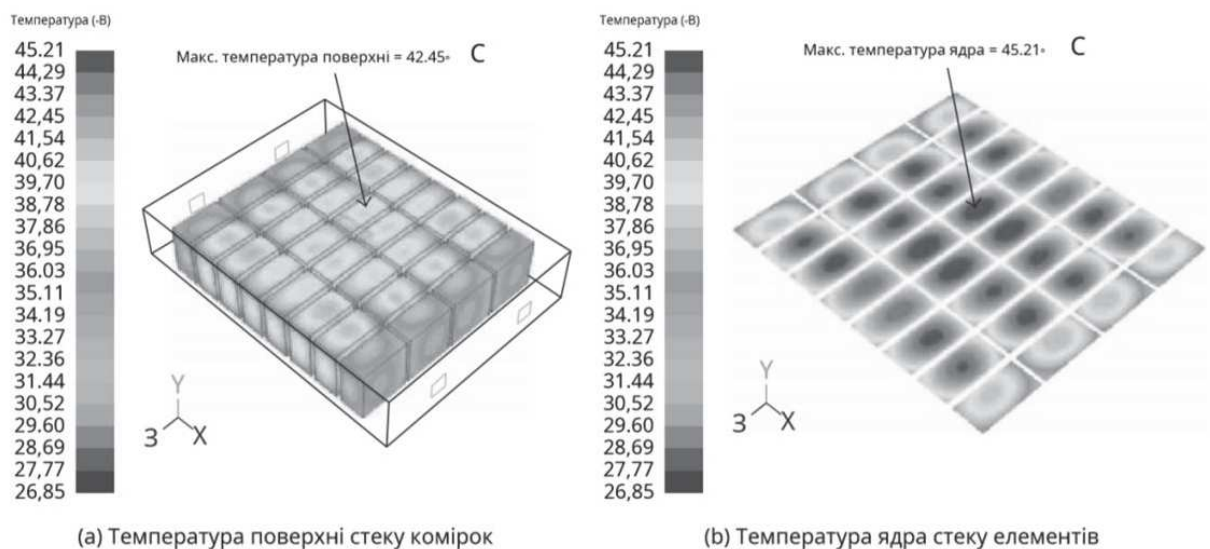


Рисунок 3.40 - Результати моделювання Optimum Design III

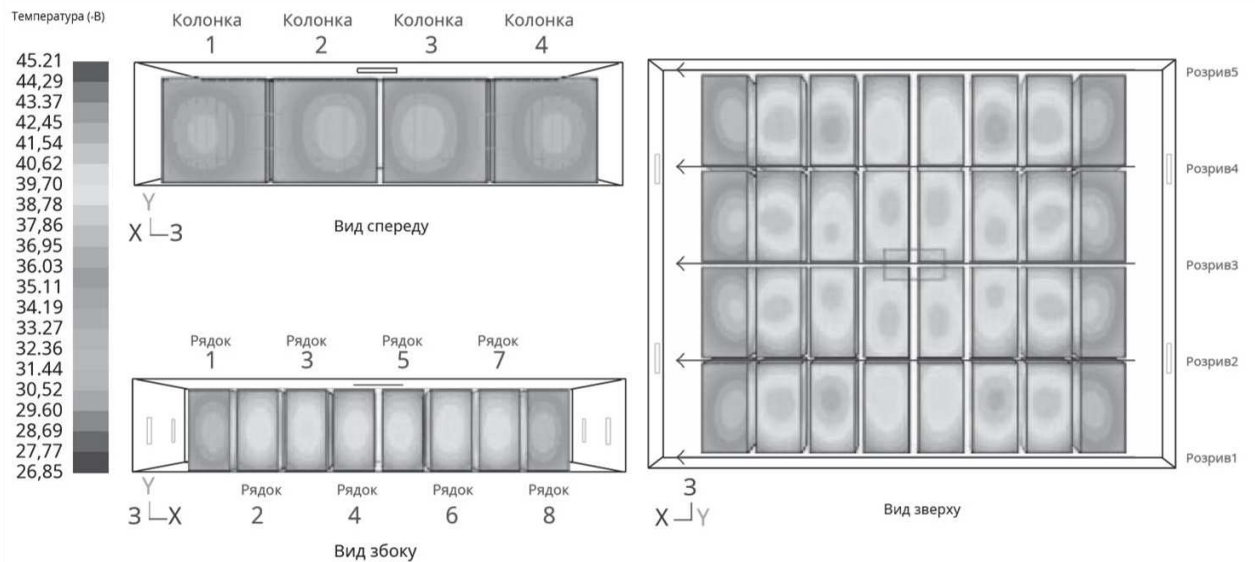


Рисунок 3.41 - Ортографічне зображення розподілу температури в упаковці (Optimum Design III)

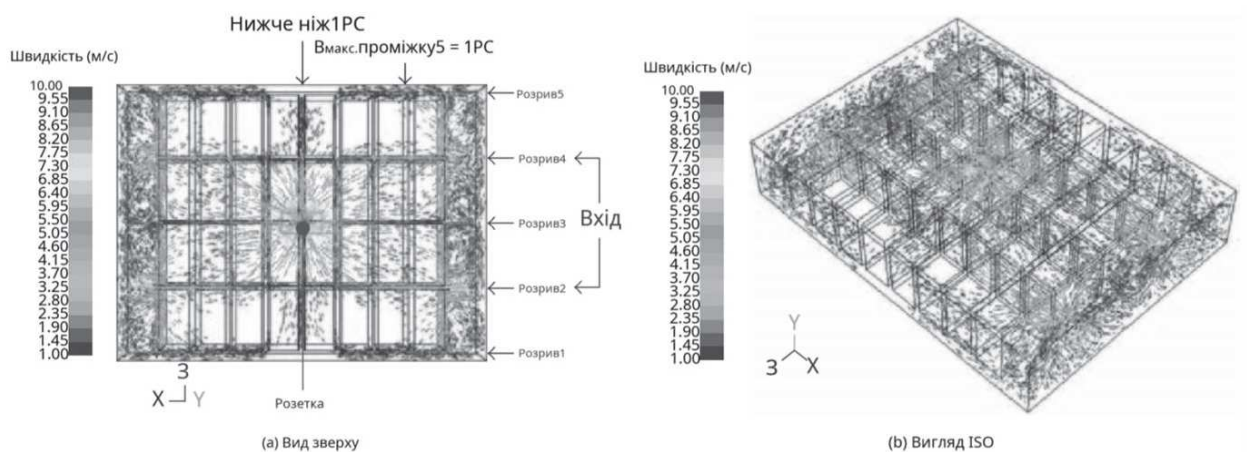


Рисунок 3.42 - Швидкість потоку охолоджувального повітря в упаковці (Optimum Design III)

Зазор 1 та зазор 5 з 15 мм до 22,5 мм. Очікується, що це дозволить більшій кількості охолоджувального повітря проходити через колонку 1 та колонку 4 та відводити тепло комірок. Оптимальні конструкції I, II та III мають зазори комірок, перелічені вище, з базовим положенням входу, але кожен має базове положення виходу типу 4 та типу 5 відповідно. Детальна конфігурація показана на рисунку 3.31. Припущення та налаштування параметрів моделювання еквівалентні базовому проекту.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
80

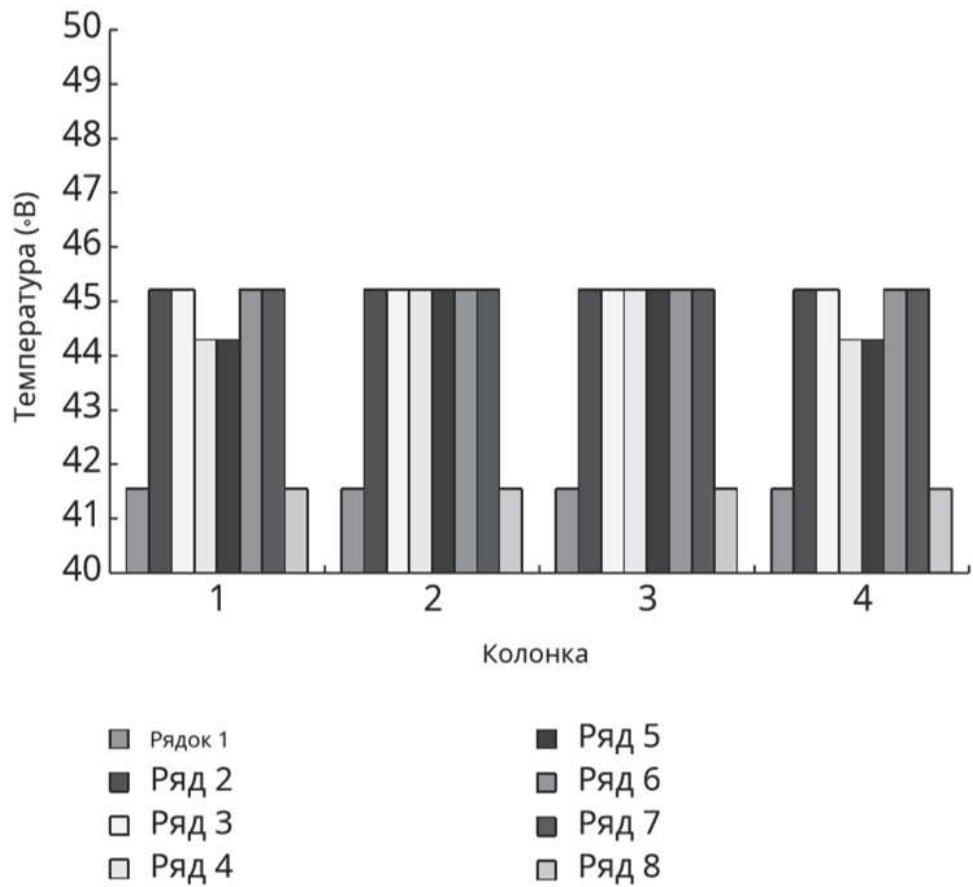


Рисунок 3.43 - Максимальний розподіл температури в упаковці (Optimum Design III)

Рисунок 3.32 показує результати моделювання Optimum Design I; максимальна температура поверхні становить $46,09^{\circ}\text{C}$, а максимальна температура тіла — $49,48^{\circ}\text{C}$, обидва з яких знаходяться в чотирьох клітинках колонки 2 (В₂₄ і В₂₅) та колонка 3 (В₃₄ і В₃₅). Порівнюючи ортографічне зображення розподілу температури в Optimum Design I (рисунок 3.33), витрати охолоджувального повітря (рисунок 3.34), та максимальний розподіл температури кожної комірки в упаковці (рисунок 3.35), температура комірки має симетричний розподіл. Можна отримати, що збільшення розміру зазору 1 та зазору 5 призводить до збільшення потоку повітря і швидкість можуть

знизити температуру комірки в колоні 1 та колоні 4. Але оскільки розмір зазору в колоні 2, колоні 3 та колоні 4 зменшується, що збільшує опір потоку охолоджувального повітря, охолоджувальне повітря не може досягти Б₂₄, Б₂₅, Б₃₄, та Б₃₅, і нарешті тепло не може бути вичерпане. Оптимальний дизайн II використовує положення входу базового проекту в поєднанні з положенням виходу типу 4; результати моделювання показано на рисунок 37. Максимальна температура в ядрі пакета зосереджена на чотирьох елементах типу Б₂₄, Б₂₅, Б₃₄, та Б₃₅ а максимальна температура на поверхні становить 43,63°C. Порівняння ортографічного зображення розподілу температури (рисунок 3.37), витрати внутрішнього охолоджувального повітря (рисунок 3.39), та максимальний розподіл температури акумулятора в упаковці (рисунок 3.40), можна спостерігати, що вихідний отвір зміщується до центру пакета, що призводить до збільшення об'єму охолоджувального повітря та швидкості потоку, а також дозволяє знизити максимальну температуру. Температура комірок має симетричний розподіл у пакеті. Щоб зменшити концентрацію тепла в центрі упаковки завдяки зменшенню розміру середніх зазорів (Зазор 2, Зазор 3 та Зазор 4), концепція Optimum Design III полягає в зміні початкової конструкції з двома виходами на один отвір із постійною загальною площею. Результати моделювання показані на рисунку 3.41, максимальна температура поверхні клітини становить 42,45°C, а максимальна температура ядра становить 45,21°C. Спостерігаючи за ортографічним розподілом температури (рисунок 3.42), витрати внутрішнього охолоджувального повітря (рисунок 3.42), та максимальний розподіл температури акумулятора в упаковці (рисунок 3.43), можна отримати, що нижчі температури є лише в положенні комірок двох рядів поблизу входу охолоджувального повітря. Однак температура з решти комірок розподілена рівномірно. Столи 18,19, та 20 є максимальним розподілом температури для Оптимальної конструкції I, Оптимальної конструкції II та Оптимальної конструкції III відповідно. Результати показують, що Оптимальна

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		82

конструкція III зі збільшенням розміру зазору 1 та зазору 5 дозволяє пропускати більше та швидше охолоджувальне повітря, що покращує проблему концентрації тепла в Колонці 1 та Колонці 4 та ефективно знижує максимальну температуру акумуляторного блоку (макс.=45.21°C). Оптимальний дизайн III забезпечує більш рівномірно розподілене температурне поле. Максимальна різниця температур між усіма елементами становить 3,67°C. Максимальна різниця температур між поверхнею та ядром є найнижчою серед усіх конструкцій ($\Delta = 2,76^\circ\text{C}$). Порівняння оптимального дизайну III з базовим дизайном показало, що максимальна температура поверхні, максимальна температура ядра, максимальна різниця температур між поверхнею та ядром, а також максимальна різниця температур між елементами зменшилися на 3,4%, 3,8%, 8,7% та 39% відповідно. Рівномірність розподілу температури в упаковці значно покращилася.

3.6 Висновки до третього розділу

В роботі запропоновано новий тип системи вентиляції повітряного охолодження для акумуляторного блоку електромобіля, що відрізняється від традиційної послідовної системи вентиляції, шляхом зміни розташування вхідних та вихідних отворів охолоджувального повітря, форми вихідних отворів та поєднання з нерівномірним розміром зазору між елементами. Згідно з результатами моделювання, конструкція напівпослідовної вентиляції може ефективно знизити максимальну температуру та максимальну різницю температур нижче гранично допустимої в блоку, максимальна температура елемента знизилася на 3,8%, а максимальна різниця температур між поверхнею та ядром елемента зменшилася на 8,7%. Рівномірність розподілу температури покращилася на 39%, що зрештою подовжує термін служби елементів акумулятора та підвищує надійність акумуляторного блоку.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Розглянуті методи та підходи до моніторингу та управління технічним станом акумуляторів електромобілів. Особливу увагу приділено системам керування батареями, які відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, надійності та ефективності роботи акумуляторів. В роботі підкреслено важливість комплексного підходу до моніторингу та управління акумуляторами електромобілів, що включає використання сучасних технологій та методів для забезпечення їхньої довговічності та ефективності

Виконані у роботі розрахунки утворення, розсіювання та відведення тепла силової батареї електричного автомобіля. На основі розрахунків запропоновано новий тип системи вентиляції повітряного охолодження для акумуляторного блоку електромобіля, що відрізняється від традиційної послідовної системи вентиляції, шляхом зміни розташування вхідних та вихідних отворів охолоджувального повітря, форми вихідних отворів та поєднання з нерівномірним розміром зазору між елементами.

Згідно з результатами моделювання, конструкція напівпослідовної вентиляції може ефективно знизити максимальну температуру та максимальну різницю температур нижче гранично допустимої в блоку, максимальна температура елемента знизилася на 3,8%, а максимальна різниця температур між поверхнею та ядром елемента зменшилася на 8,7%. Рівномірність розподілу температури покращилася на 39%, що зрештою подовжує термін служби елементів акумулятора та підвищує надійність акумуляторного блоку.

Використану методику можна рекомендувати для моделювання та аналізу розрахунків вентиляційних каналів батарей з метою пошуку оптимального варіанту. Це значно спростить подібні розрахунки та дозволить швидше отримати оптимальний результат.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ultracapacitors Jorge Rodrí'guez Moreno and Elena Navarrete Astorga, Escuela de Ingenieros Industriales, Málaga, Spain
2. 2021 8th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2021), 10–12 September 2021, Fukuoka, Japan. Research on energy management strategy of fuel cell–battery–supercapacitor passenger vehicle Xiao-Hong Yuana,b , Guo-Dong Yana,b , Hong-Tao Lic , Xun Liua,b , ChuQi Sua,b , Yi-Ping Wanga,b
3. Електродвигун – класифікація і принцип роботи електродвигуна: електромобіля. URL: <https://toka.energy/uk/blog/elektrodvigun/>
4. Horn, Michael, MacLeod, Jennifer, Liu, Meinan, Webb, Jeremy, & Motta, Nunzio (2019) Supercapacitors: A new source of power for electric cars? Economic Analysis and Policy, 61, pp. 93-103.
5. Electric vehicle technology explained James Larminie John Lowry 12. S. Rangarajan, S.; Sunddararaj, S.P.; Sudhakar, A.; Shiva, C.K.; Subramaniam, U.; Collins, E.R.; Senjyu, T. Lithium-Ion Batteries—The Crux of Electric Vehicles with Opportunities and Challenges. Clean Technol. 2022, 4, 908–930.
6. Burke, Andrew & Miller, Marshall & Zhao, Hengbing. (2010). Lithium batteries and ultracapacitors alone and in combination in hybrid vehicles: Fuel economy and battery stress reduction advantages. JSR. 21.
7. Integration of power systems with electric vehicles: A comprehensive review of impact on power quality and relevant enhancements Abhinav Srivastava, Munish Manas, Rajesh Kumar Dubey Department of Electrical Engineering, Central University of Haryana.
8. Journal of Power Sources 128 (2004) 76–89 Models of energy sources for EV and HEV: fuel cells, batteries, ultracapacitors, flywheels and enginegenerators Joeri Van Mierlo, Peter Van den Bossche, Gaston Maggetto

9. Development of supercapacitor hybrid electric vehicle Lingcong Guo , Pan Hu , Hong Wei Geely Powertrain Research Institute, Ningbo Geely Royal Engine Components Co., Ltd., Ningbo 315336,

10. Класифікація автомобілів з електричним приводом. URL: <https://hevcars.com.ua/reviews/vidy-avtomobiley-s-elektricheskim-privodom/>

11. Tesla model S – технічні характеристики і особливості. URL: <https://teslacar.neocities.org/ispecifications>

12. Типи акумуляторних батарей: повний огляд. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html#q3>

13. Конструкція електромобіля: як влаштована “зелена машина”. URL: <https://go-tou.com/ua/news/electric-car-design-how-do-electric-cars-work>

14. Яка напруга в електромобілі? URL: <https://electromobility.com.ua/blog/yaka-napruha-v-elektromobili/>

15. Lemian, Diana & Bode, Florin. (2022). Battery-Supercapacitor Energy Storage Systems for Electrical Vehicles: A Review. Energies. 15. 5683. 10.3390/en15155683.

16. Batteries and Supercapacitors for Electric Vehicles Monzer Al Sakka, Hamid Gualous, Noshin Omar and Joeri Van Mierlo 2012.

17. .Burke, Andrew & Zhao, Hengbing. (2015). Present and Future Applications of Supercapacitors in Electric and Hybrid Vehicles. 1-5. 10.1109/VTCFall.2015.7391093