

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенда для дослідження побутових кондиціонерів

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТМ-22-1



Підпис

Сухоставський В.М
Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер



Підпис, дата

доц. Тимошук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

24 12 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

_____ .2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Сухоставський Вадим Михайлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенда для дослідження побутових кондиціонерів

керівник роботи д.т.н., проф. Поліщук О.С.

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технологічні та технічні рішення кондиціонування повітря приміщень та обладнання для їх діагностування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. 1 Огляд та аналіз сучасних технологій та технічних рішень для кондиціонування повітря приміщень 2. Розробка конструкції стенда для дослідження побутових кондиціонерів. 3. Розрахунок основних конструктивних вузлів стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів, які підтверджують його працездатність на надійність. 4. Експериментальні випробовування на стенді для дослідження побутових кондиціонерів. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Технологічна схема роботи кондиціонера. Документ технологічний (А2). Аркуш 2. Схеми циркуляції холодоагента кондиціонера. Документ технологічний (А2). Аркуш 3. Стенди для дослідження побутових кондиціонерів. Документ оглядовий (А1). Аркуш 4. Стенд для дослідження побутових кондиціонерів. Схема гідравлічна принципова (А1). Аркуш 5. Стенд для дослідження побутових кондиціонерів. Документ ілюстраційний (А1). Аркуш 6. Стенд для дослідження побутових кондиціонерів. Складальне

креслення (2 креслення А1). Аркуш 7. Умови проведення досліджень на лабораторному стенді. Документ дослідницький (А1). Аркуш 8. Параметри роботи досліджуваного кондиціонера. Документ дослідницький (А1).

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	Примітка
1 Огляд та аналіз сучасних технологій та технічних рішень для кондиціонування повітря приміщень	до 15.10.22р.	
2. Розробка конструкції стенда для дослідження побутових кондиціонерів.	до 30.10.22р.	
3. Розрахунок основних конструктивних вузлів стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів, які підтверджують його працездатність на надійність	до 5.11.22р.	
4. Експериментальні випробування на стенді для дослідження побутових кондиціонерів	до 20.11.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

В.М.Сухоставський
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С.Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Сухоставський Вадим Михайлович
2. Тема магістерської роботи Розробка стенда для дослідження побутових кондиціонерів
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента
І. М. П. Дариня В. Р. П. С. П.
4. Об'єм магістерської роботи: креслень арк., сторінок записки

5. Ця магістерська робота присвячена розробці експериментального стенда, призначеного для дослідження, аналізу ефективності та функціонування побутових кондиціонерів. Основна мета роботи полягає у створенні простої, надійної та точної системи для вимірювання ключових параметрів роботи кондиціонерів, таких як потужність охолодження, споживання енергії, рівень шуму, температури, тиску, холодильного коефіцієнту та інші. Робота починається з огляду теоретичних основ роботи побутових кондиціонерів, методів їх діагностування та пристроїв для їх здійснення. Далі представлено детальний опис проектування стенда, включаючи вибір компонентів, детальну схему монтажу стенда, розміщення основних компонентів та датчиків для контролю параметрів роботи досліджуваних кондиціонерів. Представлено інженерні розрахунки опорних конструкцій стенда. Експериментальна частина описує методику проведення випробувань кондиціонерів, що працюють у різних режимах роботи. Проведення експериментів та аналіз отриманих результатів демонструють практичну цінність стенда для оцінки ефективності різних моделей кондиціонерів та режимів їх роботи. Завершується магістерська робота висновками, що підсумовують значення та можливості використання розробленого стенда, а також перспективи його подальшого вдосконалення та впровадження у навчальний процес. Дана робота може бути корисною як для студентів, що спеціалізуються у галузі холодильної техніки та кліматичних систем так і для виробників побутової техніки та науковців.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз сучасних технологій та технічних рішень для кондиціонування повітря приміщень. Зокрема, показано технологічну схему роботи кондиціонера, різні режими роботи кондиціонера та приведено конструкції стендів для дослідження параметрів холодильних машин (кондиціонерів). В другому здійснюється розробка конструкції стенда для дослідження побутових кондиціонерів. Приведено основні параметри роботи кондиціонерів, здійснено вибір основних компонентів стенда. В третьому розділі проведено розрахунок основних конструктивних вузлів стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів, які підтверджують його працездатність на надійність. Зокрема, здійснено розрахунок рами стенда на стійкість та розраховано кріплення рами на зріз. В четвертому розділі проведено експериментальні випробування на стенді для дослідження побутових кондиціонерів, згідно методики. Проведено обробку та аналіз отриманих даних. Дано узагальнену характеристику практичного застосування даного стенда та можливі шляхи його удосконалення.

Підпис студента

«20» 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК

Протокол №3 від «29» 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 5,0/А

Рекомендації ЕК

рекомендувати до впровадження в навчальний процес



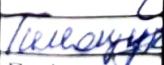


Особливі відмітки

Технічний секретар

«29» 12 2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд та аналіз сучасних технологій та технічних рішень для кондиціонування повітря приміщень	9
1.1. Огляд сучасних технологій у галузі кондиціонування повітря	9
1.2. Огляд технічних рішень для визначення основних параметрів роботи побутових кондиціонерів	18
2 Розробка конструкції стенда для дослідження побутових кондиціонерів	32
2.1 Визначення ключових параметрів роботи кондиціонерів	32
2.2 Вибір компонентів стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів	34
2.3 Розробка конструкції стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів	39
3 Розрахунок основних конструктивних вузлів стенда для дослідження роботи побутових кондиціонерів, які підтверджують його працездатність на надійність.....	43
3.1 Розрахунок рами опорної стенда на стійкість	43
3.2 Розрахунок кріплення стенда.....	45
4 Експериментальні випробовування на стенді для дослідження побутового кондиціонера	47
4.1 Підготовка та налаштування стенда для дослідження побутового кондиціонера	47
4.2 Проведення експериментальних досліджень, обробка та аналіз результатів випробовування на стенді для дослідження побутового кондиціонера	48

MPMA 23.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Сухоставський		
Перевір.		Поліщук		
Н. контр.				
Затверд.		Поліщук		

Розробка стенду для дослідження побутових кондиціонерів		
Літ	Аркуш	Аркушів
5	5	74
ХНУ, ЕТМ-22		

4.2.1 Методика проведення експериментальних досліджень та обрахунків теплофізичних та енергетичних параметрів побутових кондиціонерів

4.2.2 Обробка та аналіз результатів випробовування теплофізичних та електричних параметрів побутових кондиціонерів

4.2.3 Практичне застосування та можливі шляхи вдосконалення стенда для дослідження побутових кондиціонерів

Висновки

Перелік джерел посилання

Додатки

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Здоров'я, працездатність і самопочуття людини в першу чергу визначаються мікрокліматом і атмосферними умовами житлових і громадських приміщень, в яких людина проводить значну частину свого часу. Якість повітря в приміщенні багато в чому залежить від технологічних систем, спеціально розроблених для забезпечення комфортного повітря. Кондиціонування повітря — автоматичне встановлення всіх або окремих параметрів (температури, вологості, чистоти, швидкості руху повітря) у закритому просторі на певний рівень для забезпечення оптимальних погодних умов, найбільш сприятливих для здоров'я людей чи виконання технологічних процесів.

Кондиціонування повітря може здійснюватися технічними засобами, а саме системою кондиціонування повітря або комплексом технічних заходів, так званою системою кондиціонування повітря.

Це включає в себе технічні засоби для всмоктування, обробки повітря, тобто забезпечення необхідних умов (фільтри, теплообмінники, зволожувачі або осушувачі), руху (вентилятори) та їх розподілу, а також нагрів та охолодження, автоматизації, засоби для дистанційного керування та моніторингу.

Для підтримання обладнання для кондиціонування у належному стані, необхідно мати відповідні стенди для його дослідження. Тобто розробка стенда для дослідження побутових кондиціонерів є актуальною з кількох причин:

1) Зростаючий попит на побутові кондиціонери: зі зміною кліматичних умов та підвищенням середньорічних температур, попит на побутові кондиціонери зростає. Це створює потребу у розробці більш ефективних і енергоощадних моделей.

2) Енергоефективність та екологічність: сучасний світ зосереджений на зниженні викидів вуглекислого газу та підвищенні енергоефективності побутових приладів. Розробка стенда дозволить точніше оцінювати споживання енергії кондиціонерами, сприяючи розробці більш «зелених» технологій.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		7

3) Технологічний прогрес: технології у галузі кондиціонування повітря стрімко розвиваються. Стенд дозволить вченим та інженерам ефективно тестувати нові інновації та вдосконалення у цій області.

4) Підвищення стандартів якості та безпеки: наявність спеціалізованого обладнання для тестування кондиціонерів важлива для забезпечення високих стандартів якості та безпеки цих приладів.

5) Освітній та науковий інтерес: для студентів та науковців, що спеціалізуються у сфері холодильних технологій, стенд стане важливим ресурсом для досліджень та навчання.

Таким чином, розробка стенда для дослідження побутових кондиціонерів є важливою для різних сфер: від промислового виробництва та наукових досліджень до забезпечення комфорту та безпеки у побуті.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 Огляд та аналіз сучасних технологій та технічних рішень для кондиціонування повітря приміщень

1.1. Огляд сучасних технологій у галузі кондиціонування повітря

Кондиціонери - це замкнуті контури, в яких рухається спеціальна речовина - холодоагент. В основі роботи всіх систем кондиціонування повітря лежить властивість рідин поглинати тепло при випаровуванні і знову віддавати тепло при конденсації. Теплообмін між холодоагентом і повітрям відбувається через повітряний теплообмінник, який являє собою мідну трубку з тонкими поперечними алюмінієвими пластинами. Щоб забезпечити швидший теплообмін між холодоагентом і повітрям, використовується вентилятор, який пропускає повітря через теплообмінник.

Залежно від назви процесу, що відбувається всередині теплообмінника, один називають випарником, а інший – конденсатором. Коли кондиціонер виконує охолодження, внутрішній теплообмінник (встановлений у приміщенні) діє як випарник, а зовнішній теплообмінник (встановлений на вулиці) діє як конденсатор. Коли кондиціонер працює як обігрівач, функція теплообмінника змінюється.

На рисунку 1.1 зображена технічна схема кондиціонера. Він показує структурні зв'язки основних компонентів кондиціонера, агрегатний стан холодоагенту в різних зонах кондиціонера, а також рух і напрямок теплообміну холодоагенту з навколишнім середовищем.

Кондиціонер спліт-системи складається з двох блоків, зовнішнього блоку і внутрішнього блоку, а основними вузлами кондиціонера є компресор, конденсатор, випарник, клапан регулювання тепла і з'єднувальний патрубок, через який проходить холодоагент.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		9

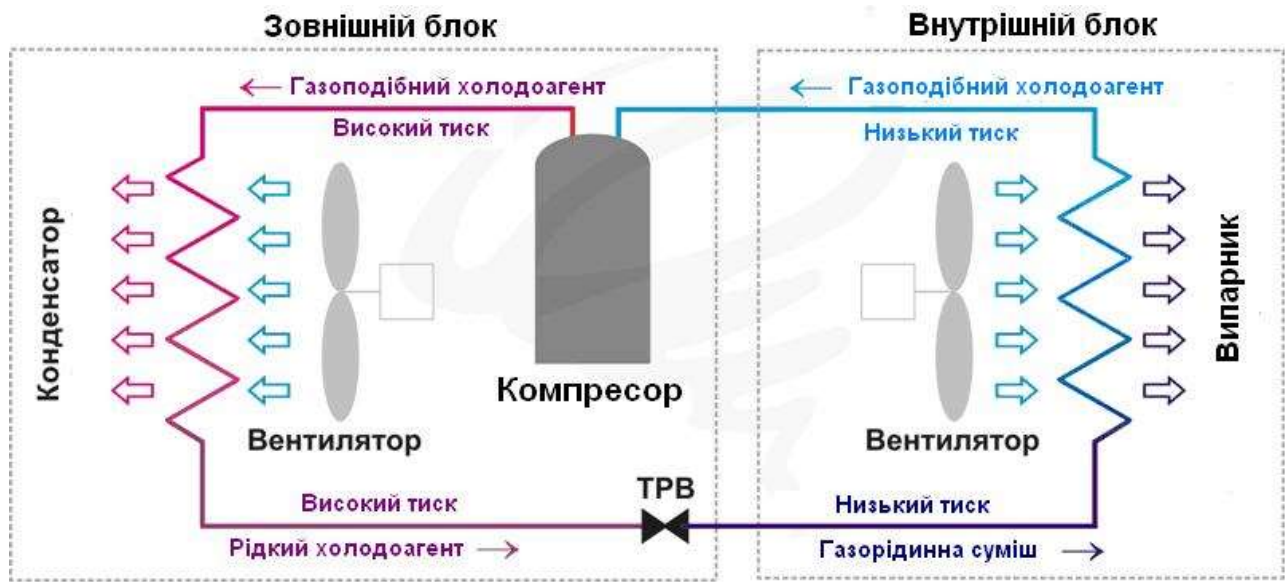


Рисунок 1.1 – Технологічна схема роботи кондиціонера

На рисунках 1.2. та 1.3 показано конструктивні схеми внутрішнього та зовнішнього блоків кондиціонера.

Внутрішній блок кондиціонера складається з таких основних вузлів, які виконують відповідні функції:

- передня панель - це пластикова решітка, через яку усередину внутрішнього блоку надходить повітря. Панель легко знімається при очищенні кондиціонера;

- фільтр грубого очищення - це пластикова сітка, яка призначена для вловлювання крупного пилу, тваринного та рослинного пуху тощо. Для ефективної роботи кондиціонера фільтр необхідно очищувати не рідше двох разів на місяць. Система фільтрів складається з різних фільтрів тонкого очищення: вугільних (видаляє неприємні запахи), електростатичних (затримує дрібний пил), антибактеріальних тощо;

- вентилятор, що призначений для циркуляції очищеного, охолодженого чи підігрітого повітря у приміщенні;

- випарник-радіатор (теплообмінник), у якому здійснюється кипіння холодного холодоагенту та його випаровування. Повітря, яке проходить через випарник (теплообмінник) – охолоджується;

- горизонтальні жалюзі, призначені для регулювання напрямку повітряного

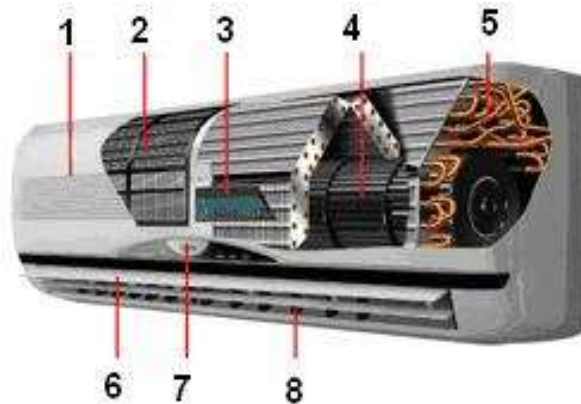
поток по вертикали. Жалюзи оснащены электроприводом, а их положение регулируется пультом. Кроме того, жалюзи автоматически могут здійснювати коливальні рухи для рівномірного розподілення повітряного потоку у приміщенні;

- індикаторна панель містить індикатори (світлодіоди) для ілюстрування режимів роботи кондиціонера та сигналізації про можливі несправності;

- жалюзи вертикальні призначені для регулювання напрямку повітряного потоку по горизонталі;

- плата керування містить блок електроніки з центральним мікропроцесором;

- штуцерні з'єднання призначені для з'єднання різних елементів внутрішнього блока та елементів зовнішнього блока та розташовані в нижній його частині.



1 - передня панель; 2 - фільтр грубого очищення; 3 - система фільтрів очищення; 4- вентилятор; 5 – випарник-радіатор; 6 – жалюзи горизонтальні; 7 - панель індикаторна; 8 - жалюзи вертикальні

Рисунок 1.2 – Конструктивна схема внутрішнього блоку кондиціонера

Зовнішній блок складається з таких основних вузлів, які виконують такі відповідні функції:

- вентилятор - створює потік повітря для обдування конденсатора;

- конденсатор-радіатор – елемент зовнішнього блоку, в якому відбувається охолодження та конденсація фреону, повітря проходить через конденсатор, нагрівається та надходить у навколишнє середовище;

- компресор - здійснює стискання холодоагенту та забезпечує його рух по холодильному агрегату;

- плата керування встановлюється, як правило, в кондиціонерах інверторного типу. У неінверторних моделях кондиціонерів – всі електронні компоненти розміщують у внутрішньому блоці;

- чотирьохходовий клапан встановлюється в моделях кондиціонерів з функцією підігріву. У режимі обігріву даний клапан змінює напрям руху холодоагенту, при цьому зовнішній та внутрішній блоки змінюють свої функції на протилежні: внутрішній блок працює на обігрів, а зовнішній - на охолодження;

- штуцерні з'єднання призначені для підключення мідних труб, що з'єднують внутрішній та зовнішній блоки;



1 – вентилятор; 2 – конденсатор; 3 – компресор; 4 - плата керування;
5 - чотирьохходовий клапан; 6 - з'єднання штуцерні; 7 – фільтр-осушувач;
8 - кришка захисна

Рисунок 1.3 – Конструктивна схема зовнішнього блоку кондиціонера

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- фільтр-осушувач агрегату встановлюється перед входом до компресора та захищає його від частинок бруду та вологи, які можуть потрапити у систему при монтажі кондиціонера;

- захисна кришка, яка закриває штуцерні з'єднання і електричні роз'єми.

Розглянемо схему охолодження та цикл роботи спліт-системи з охолодженням та обігрівом (рис. 1.4 та 1.5 відповідно). Зовнішній блок (рис 1.4), розташований поза приміщенням, має компресор, який забезпечує циркуляцію холодоагенту. У частині контуру внутрішнього блоку холодоагент дроселюється в капілярній трубці перед виходом із зовнішнього блоку, що призводить до зниження тиску.

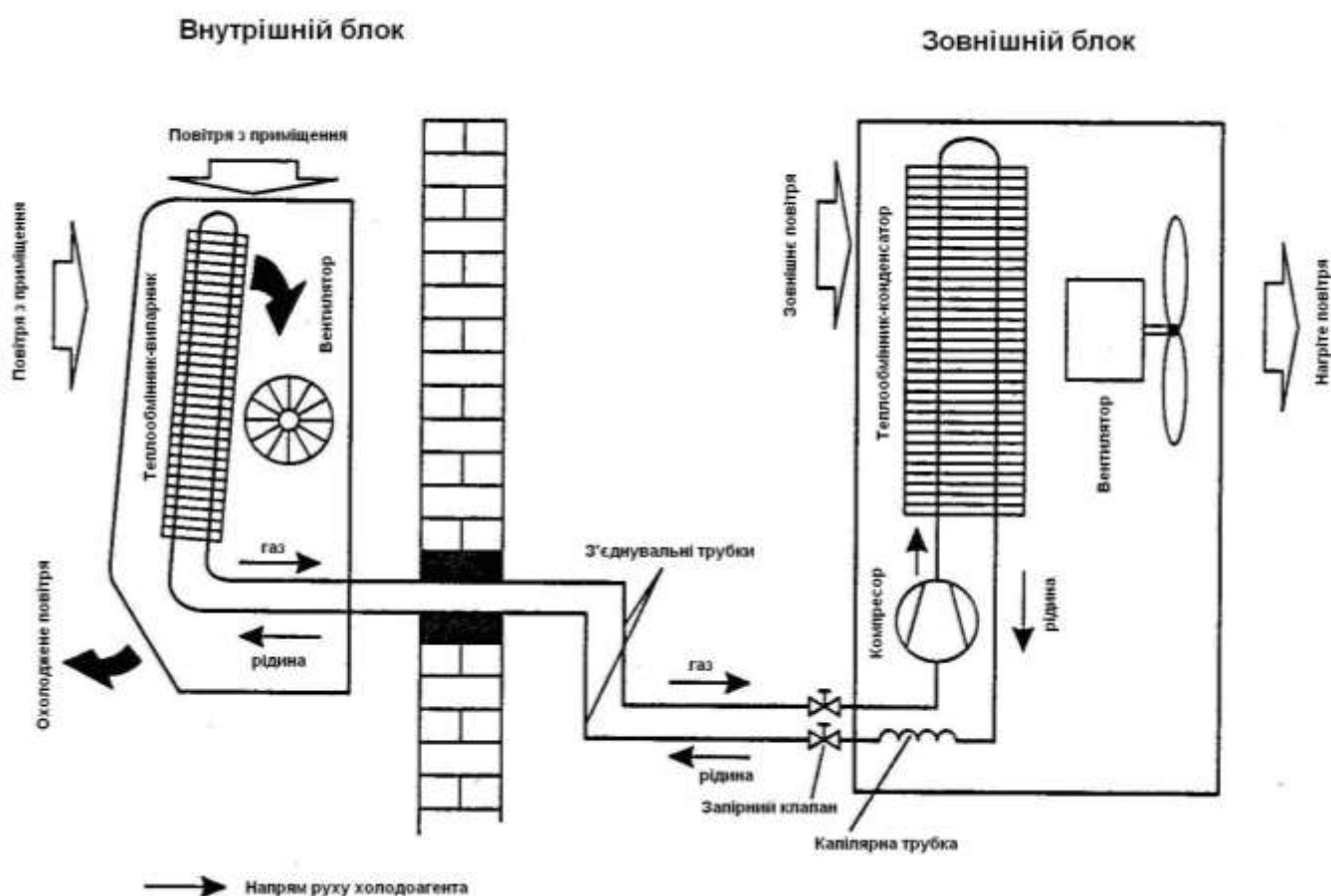


Рисунок 1.4 – Схема циркуляції холодоагенту в агрегаті кондиціонері, що працює в режимі охолодження

Після дроселювання, температура холодоагенту становить від 5 до 10 °С, і холодоагент кипить, переходячи у пару.

Необхідна для цього енергія отримується з теплого повітря в приміщенні, частина тепла якого передається холодоагенту у випарнику теплообмінника внутрішнього блоку. Охолоджене повітря повертається в приміщення за допомогою тангенціального вентилятора внутрішнього блоку.

При цьому за рахунок роботи компресора, пароподібний холодоагент, що проходить через компресор зовнішнього блоку, стискається, тиск підвищується, а температура підвищується до 50-60°С. Гаряча пара охолоджується у зовнішньому блоці, знову зріджується та віддає тепло навколишньому повітрю в конденсаторі теплообмінника зовнішнього блоку. Крім того, навіть якщо температура навколишнього середовища досягає 40–45°С, вона буде нижчою за температуру холодоагенту.

Після конденсатора, рідкий холодоагент проходить через капіляр (стискується), тиск різко падає, температура холодоагенту знову падає до 5...10 °С, внаслідок чого рідина знову починає кипіти. Теплообмінник (випарник) внутрішнього блоку відводить тепло від внутрішнього холодоагенту.

Більш складними є схеми систем, які працюють не тільки в режимі охолодження, але і в режимі обігріву (рис.1.5).

При зміні режиму роботи зовнішній і внутрішній блоки кондиціонера міняються місцями (внутрішній теплообмінник стає конденсатором, а зовнішній - випарником), тому в схемі з'являється чотириходовий клапан, призначений для зміни руху холодоагенту.

При роботі в режимі «охолодження» високотемпературний газ під високим тиском надходить у зовнішній теплообмінник через чотириходовий кран. При роботі в режимі «тепло» клапан направляє газ високої температури під високим тиском у внутрішній теплообмінник.

Коли кондиціонер перемикається в режим опалення, а чотириходовий клапан змінює напрямок потоку холодоагенту в контурі, компресор забирає холодоагент із зовнішнього блоку та починає закачувати холодоагент у контур.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Високотемпературний газ під високим тиском потрапляє у внутрішній теплообмінник, де конденсується, перетворюючись в рідину та виділяє тепло в приміщення.

Зріджена рідина стискається на виході з капіляра і стає газом у зовнішньому блоці. Цей газ поглинається компресором, і новий цикл починається знову. Це підвищує температуру кондиціонованого приміщення.

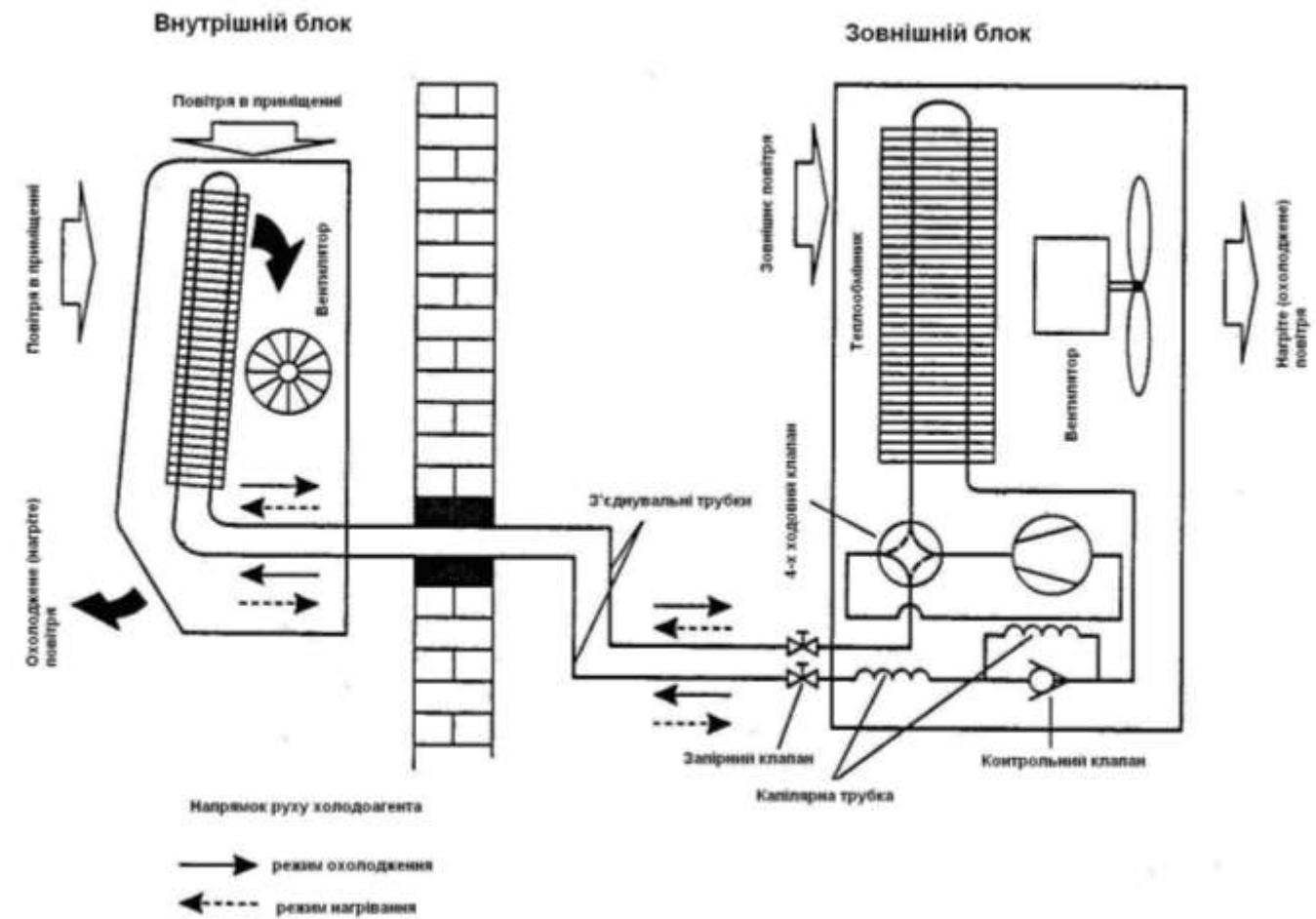


Рисунок 1.5 – Схема циркуляції холодоагенту в кондиціонері, що має режим охолодження та нагрівання

Кондиціонери, які працюють в режимі опалення, називають тепловими насосами. Це означає, що повітря всередині приміщення нагрівається за рахунок тепла, отриманого від зовнішнього повітря. Однак чим нижча зовнішня температура, тим важче стає поглинати тепло із зовнішнього повітря. Це означає, що по-

$$k = \frac{A}{Q_1}. \quad (1.2)$$

У циклі теплового насоса робота насоса A перетворює тепло низької температури Q_0 у тепло високої температури Q_1 .

При цьому дотримується закон збереження енергії, і ККД f таких циклів буде однаковим.

$$f = \frac{Q_1}{A}. \quad (1.3)$$

Для теоретичного циклу без втрат енергії (циклу Карно) коефіцієнт ефективності буде рівний:

$$f = \frac{T_1}{T_1 - T_0}. \quad (1.4)$$

Чим ближче одна до одної значення температур T_1 і T_0 , тим вище коефіцієнт ефективності циклу теплового насоса. Тому, зі зниженням температури повітря навколишнього середовища (T_0), ефективність роботи кондиціонера (теплового насоса), що працює на обігрів знижується.

Практично досягне значення коефіцієнта ефективності f через втрати енергії знаходиться у межах 0,55...0,7 від теоретичного, що визначається за формулою 1.4.

Оскільки продуктивність теплового насоса значно знижується при зниженні зовнішньої температури, деякі моделі кондиціонерів додатково до теплового насоса оснащуються термоелектричним нагрівальним елементом (ТЕН) з потужністю 1,5...3 кВт.

Обігрівач буде працювати, якщо різниця між кімнатною температурою та

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		17

заданою температурою перевищує 3°C.

Як правило, якщо потужність кондиціонера підібрана правильно і задана температура знаходиться в межах відповідного діапазону, час роботи ТЕН становить кілька хвилин. Однак, коли зовнішня температура падає нижче -10°C і продуктивність теплового насоса падає на 30..50%, нагрівальний елемент компенсує цю втрату продуктивності та значно прискорює нагрів приміщення.

Більшість сучасних кондиціонерів, крім основного режиму охолодження або обігріву також мають режими осушення, вентиляції та автоматичний режим. Осушення повітря – це процес, який відбувається, коли кондиціонер працює в режимі охолодження. Коли повітря з кімнати обтікає холодний випарник, на його поверхні утворюється конденсат.

У режимі сушіння посилюється процес конденсації вологи з повітря, знижуючи вологість у приміщенні, але при цьому температура залишається майже незмінною. Це досягається нагріванням сухого охолодженого повітря, що пройшло через випарник, за допомогою спеціального термоелектричного нагрівального елемента (ТЕН).

У режимі вентиляції немає ні опалення, ні охолодження, але повітря в приміщенні циркулює та очищується (за наявності відповідного фільтра). Одночасно компресор і вентилятор зовнішнього блоку зупиняться, а вентилятор внутрішнього блоку обертатиметься із заданою швидкістю обертання. В автоматичному режимі кондиціонер порівнює поточну температуру повітря в приміщенні із заданою температурою, визначає, чи потрібен обігрів або охолодження, і підтримує задане значення температури.

1.2. Огляд технічних рішень для визначення основних параметрів роботи побутових кондиціонерів

Відомий стенд для випробувань холодильних установок автономних побутових кондиціонерів [1] містить роторний компресор, електричний нагрівач, калориметр, випарник, капілярну трубку, фільтр-осушувач, ресивер, конденса-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		18

тор, витратомір і клапан.

Стенд містить: ротаційний компресор 1 (рисунок 1.7); випарник 4 для калориметра 2; трубопровід, що виконує роль капілярної трубки 5; електронагрівач 3 для калориметра 2; фільтр-осушувач 6; витратомір 10, клапан 12, 13, 15, дросельна заслінка 14, Ресивер 7, конденсатор 8 і резервуар талої води 9 встановлені та підключені до змійовика масляного радіатора компресора, а кількість води в баку дорівнює кількості води, яка фактично використовується для охолодження ротаційного компресора.

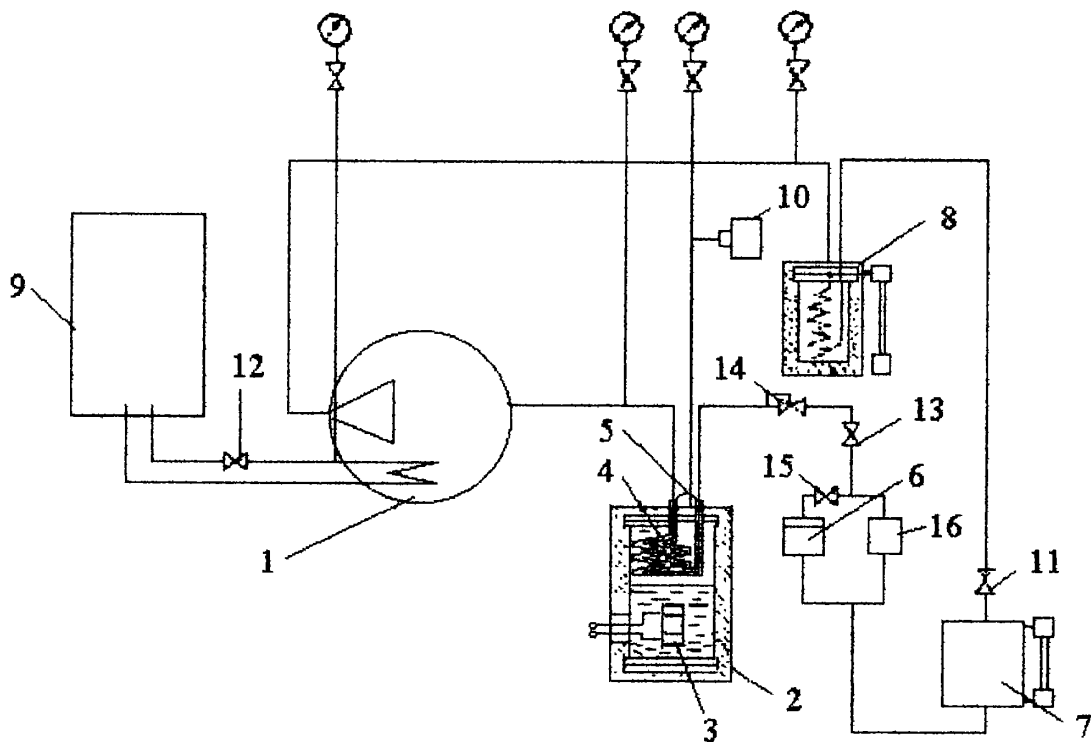


Рисунок 1.7 - Стенд для перевірок холодильних агрегатів побутових автономних кондиціонерів

Стенд працює подібним чином. Роторний компресор 1 нагнітає пари холодоагенту в конденсатор 8, де робоче тіло перетворюється на рідину і самопливом надходить у збірну ємність 7, звідки під тиском конденсації подається на мастиломір 16 і фільтр. Після дроселювання сушарки 6 дросельною заслінкою 14 до тиску кипіння холодоагент надходить у трубопровід 5, який виконує роль ка-

пілярної трубки, а потім надходить у випарник 4 калориметра 2 разом із вторинним холодоагентом, який використовується для визначення охолодження. Холодоагент надходить у тестовий блок через калориметр 2 і в ротаційний компресор 1.

Компресор охолоджується шляхом підключення резервуара для води 9 до зміювика масляного радіатора ротаційного компресора 1, і кількість води в ньому залежить від кількості води, фактично використаної для охолодження ротаційного компресора 1.

При протіканні робочого тіла по трубопроводу, що виконує функцію капілярної трубки 5, встановленої у випарнику 4 калориметра 2, робоче тіло і холодоагент, що кипить у випарнику 4, з'єднуються при відповідних тисках і режимах роботи, при цьому відбувається інтенсивний теплообмін.

Це дозволяє підвищити температуру переохолодження холодоагенту на 10-15 °С, сприяючи збільшенню питомої масової холодопродуктивності холодоагенту і, відповідно, холодопродуктивності холодильної установки, коефіцієнт холодопродуктивності та зниження витрат електроенергії, обумовленого зниженням коефіцієнта робочого часу, шляхом зростання холодопродуктивності на 10-12%.

Економічна ефективність за рахунок використання винаходу зумовлена розширенням функціональних можливостей при дослідженні робочих характеристик холодильних агрегатів автономних побутових кондиціонерів, появою можливості оптимізації зібраних блоків холодильних агрегатів за наявності вбудованої у випарник капілярної трубки, і з'єднання колектора талої води і зміювика масляного радіатора компресора.

Існують випробувальні стенди для вивчення роботи компресорів холодильників [2]. Компресор 1 (рисунок 1.8). Фреон розпилюється за допомогою мірної склянки 11 у водяний конденсатор 12, звідки рідина надходить у збірну ємність 10. Постійний тиск кипіння у випарнику 3, розташованому в калориметрі, підтримується автоматичним клапаном регулювання тиску 7. Нижня частина калориметра заповнена вторинним холодоагентом 6, в який занурений електрона-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		20

грівач 5. В якості вторинного холодоагенту використовується фреон (незалежно від того, від якого холодоагенту працює компресор). Пара, що утворюється при кипінні, конденсується на зовнішній поверхні випарника 3. Під час випробування потужність нагрівача регулюється так, щоб тиск вторинного холодоагенту залишався постійним. Тобто, кількість поглиненого холодного повітря відповідає кількості додаткового тепла.

Стенд передбачає оглядове вікно 2, фільтр-осушувач 8, кондиціонер 17 для підтримки температури стенду.

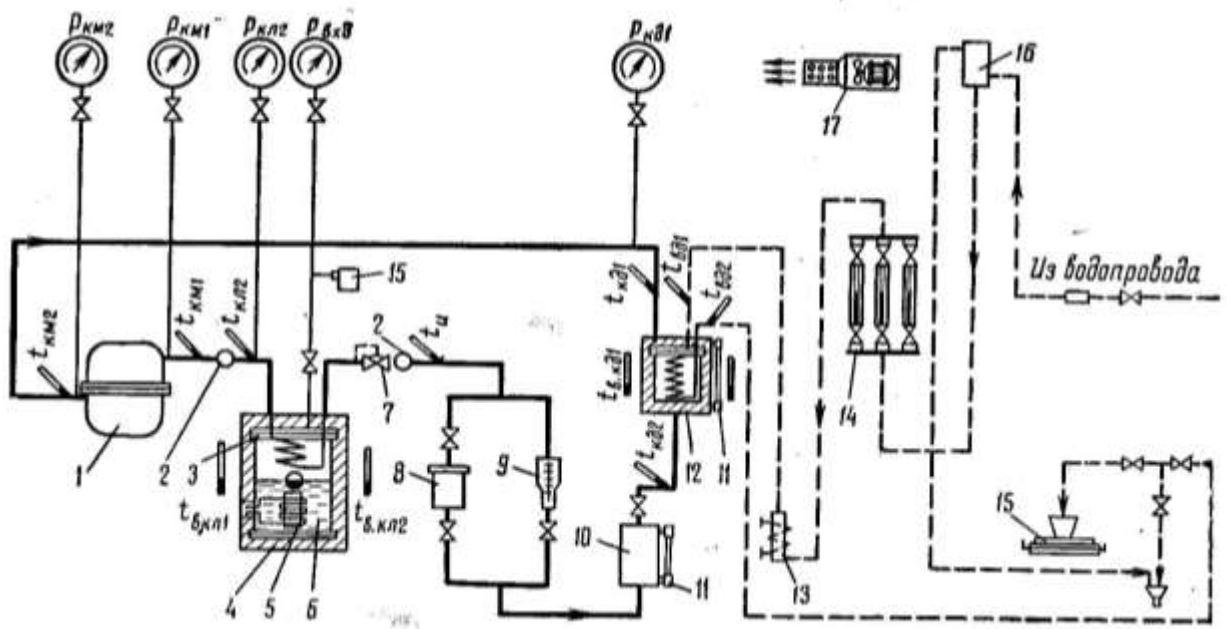


Рисунок 1.8 – Стенд для випробування компресора холодильної машини

Для підтримування сталого тиску у трубах служить посудина постійного рівня 16, для контролювання та регулювання витрат води - ротаметри та вентиля 14; для вимірювання витрат рідини, - витратомір 15. У трубі між ротаметрами і конденсатором розміщений електричний нагрівач 13. У рідинний трубопровід вмонтований прилад 9 призначений для визначення концентрації масла у фреоні. На схемі показані місця встановлення термометрів та манометрів.

Тиск фреону вимірюють взірцевими манометрами класу 0,6; температуру фреону та води - термометрами ртутними з ціною поділки 0,5 °С; температуру

повітря - термометрами з ціною поділки 0,5 °С. Термометрові гільзи для ртутних термометрів встановлюють таким чином, щоб потік рідини набігав на кінець гільзи і йшов знизу вгору. Гільзи повинні бути розташовані на відстані не більше 150 мм від апаратів. В якості барорегулюючого вентиля використовується TRV, без термочутливої системи. Для більш точного регулювання, перетин плоскої різьби і паропроводу має бути достатньо великим, щоб уникнути різких вигинів. Високий гідравлічний опір може призвести до утворення бульбашок пари в лінії рідини, особливо коли тиск конденсації низький і температура кипіння висока. Щоб запобігти цьому, рекомендується розміщувати конденсор і приймач над калориметром.

Задана напруга на затискачах електродвигуна підтримується регулятором напруги або автотрансформатором, включеним у кожну фазу. Потужність нагрівача калориметра також регулюється автотрансформатором або автоматичним регулятором. Живлення здійснюється через ферорезонансний стабілізатор напруги. Якщо калориметр піддається відносно високим навантаженням, використовується власне джерело живлення. Система включає нагрівач для підвищення температури води, що надходить до конденсатора (комерційні холодильники використовуються для охолодження води в теплі місяці).

Щоб перевести перегрів пари на вході компресора в стабільний режим, треба внести короточасні зміни, наприклад, зменшити потужність нагрівача. Тоді тиск і температура у вторинному охолоджувальному блоці падають майже відразу. Потім встановлюється потужність попереднього нагрівача, але при цьому машина працювала в заданому режимі, тому параметри вторинного холодоагенту не відновлюються. Тому тепловий потік у випарник і перегрів вхідної пари низькі. Під час експерименту температура випробувального стенда повинна залишатися постійною. Для цього використовується спеціальна система кондиціонування.

Існує стенд для визначення параметрів холодильника [2]. Для отримання достовірних результатів потужність охолодження визначається двома незалежними способами. Один - перевірити обладнання з водяним конденсатором, а інший - перевірити компресор за допомогою калориметра (включаючи вторинний холодо-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		22

агент) і теплового балансу водяного конденсатора. Однак під час тестування обладнання з повітряним конденсатором температуру та потік повітря неможливо виміряти з такою ж точністю через неоднорідні поля температури та швидкості після конденсатора (похибки зазвичай до 15%).

Схема стенду (рисунок 1.9) містить калориметр, що містить вторинний холодоагент та інші елементи, які використовуються на випробувальних стендах невеликих холодильних компресорів для випробування малих холодильних установок з повітряним охолодженням. Пристрій встановлюється в камеру, обладнану електронагрівачем і вентилятором. Нагрівач вмикається і вимикається контактним термометром перед конденсатором. У стінці камери встановлено скляне вікно, покрите утеплювачем.

Щоб виміряти швидкість повітря перед конденсатором, встановлюють колектор і збалансують повітря перед тестуванням пристрою. Розділіть кожну сторону колектора на три частини та виміряйте швидкість вітру в дев'яти точках крильчатим анемометром. Швидкість вентилятора вимірюється за допомогою стробоскопічного тахометра.

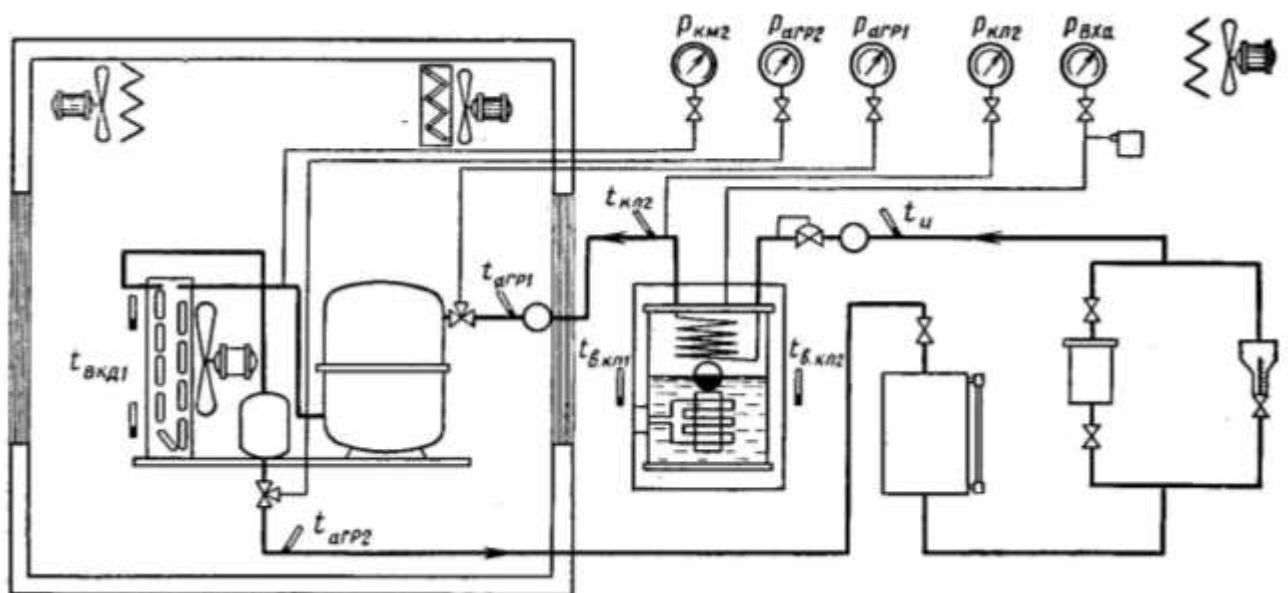


Рисунок 1.9 – Стенд для дослідження холодильних пристроїв

Для побутових компресійних холодильників типу СХ-1 існує переносний стенд [3] (рис.1.10). Переносний компресійний побутовий стенд типу СХ-1 призначений для перевірки холодильників в домашніх умовах і в ремонтних майстернях за наступними параметрами: споживаний струм і потужність, коефіцієнт часу роботи, температура в трьох точках шафи.

Напруга живлення стенду знаходиться в межах 127 або 220 В. Граничні межі вимірювання: потужності - 300 Вт; струму - 2,5 А; напруги - 250 В; температури - 25°C...+ 35°C; коефіцієнту часу роботи – 1.

Переносний стенд для випробувань побутових компресійних холодильників складається з корпусу, що складається з корпусу 6 і приладової панелі 7, на якому встановлені: вольтметр, мікроамперметр, ватметр, амперметр, лічильник імпульсів 8, перемикач для включення стенду 10, перемикач для ввімкнення лічильника 2, терморезистора 3, кнопки вимірювання струму та потужності 4, запобіжника 5, розетки 1, шнура живлення та терморезистора 9. У середині корпусу знаходяться елементи схеми стенда.

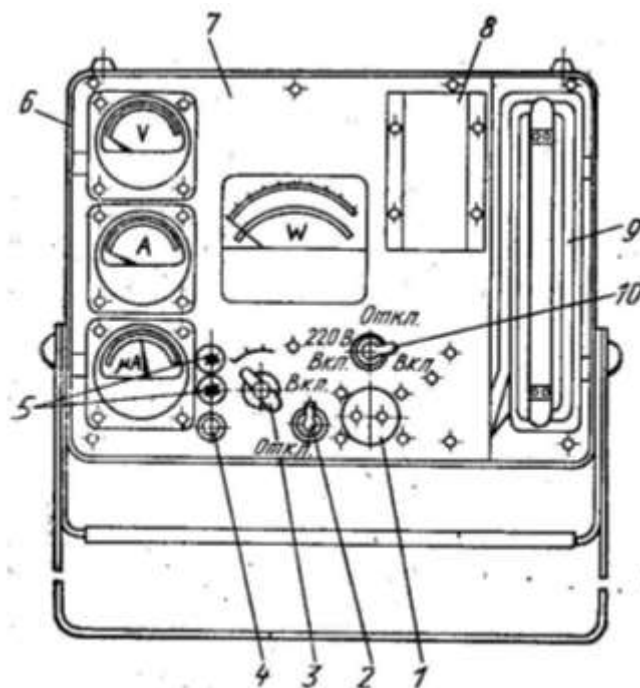


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд стенда для випробування компресійних холодильних машин СХ-1

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Розглянемо роботу стенду за поданою електричною схемою (рис.1.11). Холодильник, який перевіряють, підключають до розетки стенда SR, а штекер підставки підключають до мережевої розетки. Тому струм, який споживає холодильник, протікає через прилад на стенді і може бути вимірянний натисканням кнопки КП. Це обходить амперметр і ватметр під час фази запуску електродвигуна холодильника. Схема захищена від струмів короткого замикання запобіжником РР1.

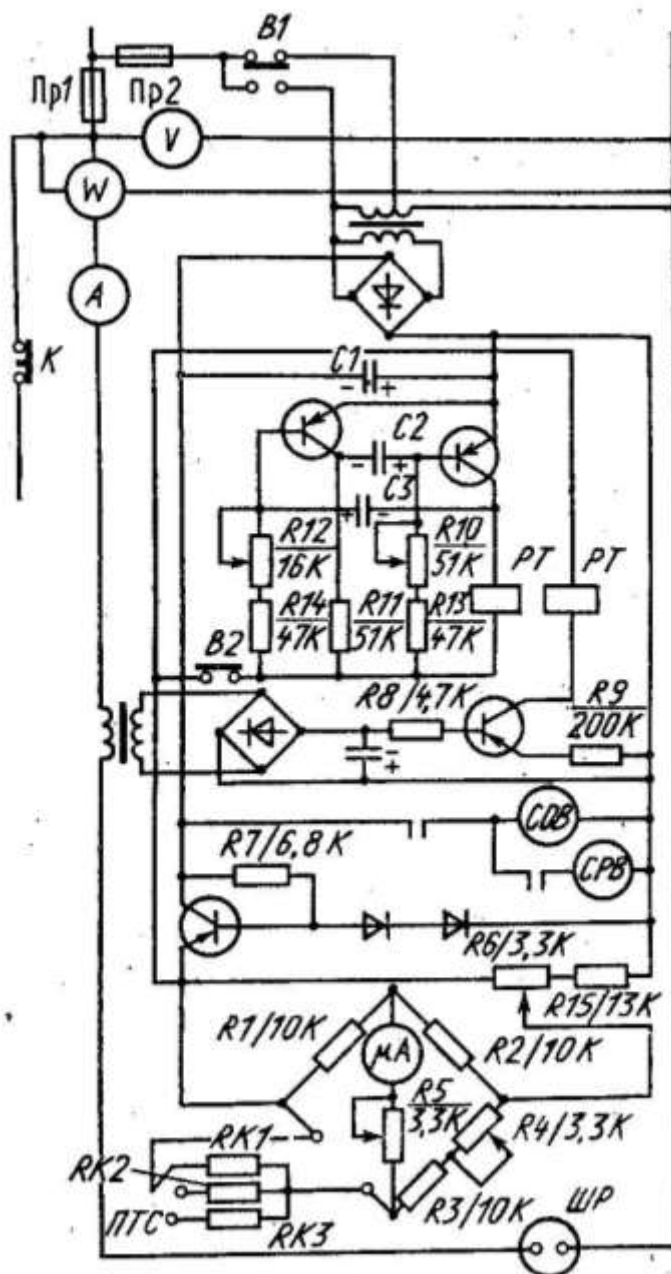


Рисунок 1.11 - Принципова електрична схема стенду СХ-1

Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

25

Схема вимірювання температури і коефіцієнта робочого часу (КРЧ) живиться напругою 20 В від понижуючого трансформатора Тр1 і випрямних діодів D1...D4. При вимірюванні КРЧ використовуються два індикатори лічильника: лічильник загального часу (СОВ) і лічильник відпрацьованого часу (СРВ). По-перше, контакти реле Р періодично розмикаються та замикаються для відліку 2-секундних інтервалів протягом усього часу підключення холодильника до мережі. По-друге, він зараховує той самий інтервал лише тоді, коли холодильник працює і контакт реле РТ увімкнено. Реле Р періодично живиться від мультивібратора транзисторів Т1 і Т2, встановлених на частоту 0,5 Гц. Реле РТ вмикається при протіканні струму холодильника через первинну обмотку трансформатора струму Тр2, відкриваючи транзистор Т4.

Вимірювання температури здійснюється за допомогою термопар ТС1...ТС3. Термопари можна підключити до опорів R1...R4 за допомогою перемикача ПТ на плечі вимірювального моста. Коли температура термочутливого резистора відхиляється від 0 °С, незбалансований струм у мосту вимірюється мікроамперметром, і виміряна температура визначається на основі значення та напрямку. Живлення моста здійснюється від стабілізуючого транзистора Т3 напругою 2 В.

Визначення параметрів чиллера. Після включення холодильника в розетку на стенді повинен запрацювати електродвигун компресора. Якщо при працюючому компресорі натиснути кнопку КП, то амперметр і ватметр визначатимуть споживаний струм і потужність відповідно.

Встановлюють коефіцієнт часу роботи після стабілізації температури всередині камери. При цьому при вимкненому тумблері В2 записуються показання обох лічильників. Потім при вмиканні електродвигуна холодильника вмикається тумблер В2. Обидва лічильники повинні працювати одночасно. Кілька разів увімкнувши і вимкнувши холодильник, знову увімкніть електродвигун і тумблер В2 вимкнеться. Значення обох лічильників записуються повторно. КРЧ визначається відношенням різниці показників СРВ до різниці показників СОВ. Температуру в окремій зоні холодильника вимірюють шляхом розміщення одного з термо-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		26

резисторів ТС у цій зоні. Показник мікроамперметра переводиться в значення температури (в градусах Цельсія) за допомогою спеціальної градуювальної таблиці.

Існує переносний стенд для випробувань холодильників типу СХ-2 [3]. Переносний стенд для перевірки холодильників типу СХ-2 призначений для діагностики холодильників в домашніх умовах і в ремонтних майстернях за такими параметрами: напруга мережі , споживаний струм, обмотки електродвигуна, ефективний опір електродвигуна, опір ізоляції обмотки електродвигуна, наявність або відсутність виткових замикань обмоток двигуна, коефіцієнт напруження та температуру в трьох точках корпусу. Напруга живлення стенду – 127 чи 220 В; Максимальні границі вимірювання: пускового струму - 15А; робочого струму - 2,5А; напруги - 250В; активного опору - 100 Ом; опору ізоляції при випробувальній напрузі 500 В–10 МОм; температури –20°С...+30°С, коефіцієнту робочого часу (КРЧ) – 1; міжвиткового замикання; габаритні розміри: довжина - 315 мм, ширина - 237 мм, висота - 105 мм; маса - 5 кг.

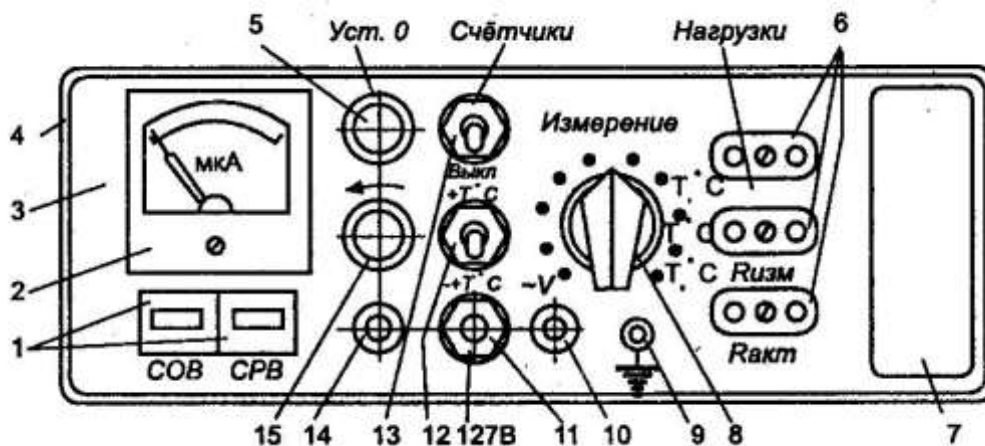


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд стенда для випробування компресійних холодильних машин

Стенд являє собою пристрій прямокутної форми, що складається з металевого корпусу і панелі приладів. На приладовій панелі стенду є мікроамперметр 2 (рис.1.12), лічильник імпульсів 1, гніздо для підключення навантаження 6, клемма заземлення 9, перемикач для вимірювання параметрів 8,12 і два потенціо-

метри 5,15 (для установки на нуль). Для вимірювання активного опору та регулювання напруги вимірювача опору ізоляції), кнопка 10 включає напругу 500 В, кнопка 11 включає живлення стенду напругою 127 В, перемикач вимірювача 13, перемикач полярності мікроамперметр 15, запобіжник, кабель живлення та терморезистор. У нижній частині стенда на тильній стороні є перемикач типу електродвигуна для визначення замкнутого витка, перемикач типу обмотки, що підключається (робоча або пускова) і гніздо для підключення двигуна. Таблиця відповідності положень перемикача обмотки, що перевіряється, і типу двигуна, що перевіряється. У середині знімної кришки стенда розміщена таблиця зі шкалою вимірюваних параметрів. В середині стенду знаходяться блок живлення, мультивібратор, підсилювач, вимірювальний міст, комутаційні пристрої.

Випробуваний холодильник підключають до розетки стенда, а саму стенд – до мережі необхідної напруги. При переведенні перемикача 8 в потрібне положення мікроамперметром безпосередньо вимірюють напругу, робочий струм, пусковий струм і температуру в одній з трьох точок холодильника.

Опір ізоляції холодильника вимірюють після встановлення випробувальної напруги 500 В шляхом встановлення перемикача 8 з потенціометром у положення «500». Холодильник підключають до розетки, корпус холодильника підключають до клеми 9, а перемикач 8 встановлюють у положення «Rіз». Величина опору ізоляції визначається значенням струму мікроамперметра. В обох випадках вимірювання виконується коротким натисканням кнопки.

Активний опір вимірюють шляхом підключення вимикача до розетки з перемикачем у положенні « $R_{акт}$ ». Якщо контакти розетки замкнуті, пристрій попередньо налаштований на нульове відхилення.

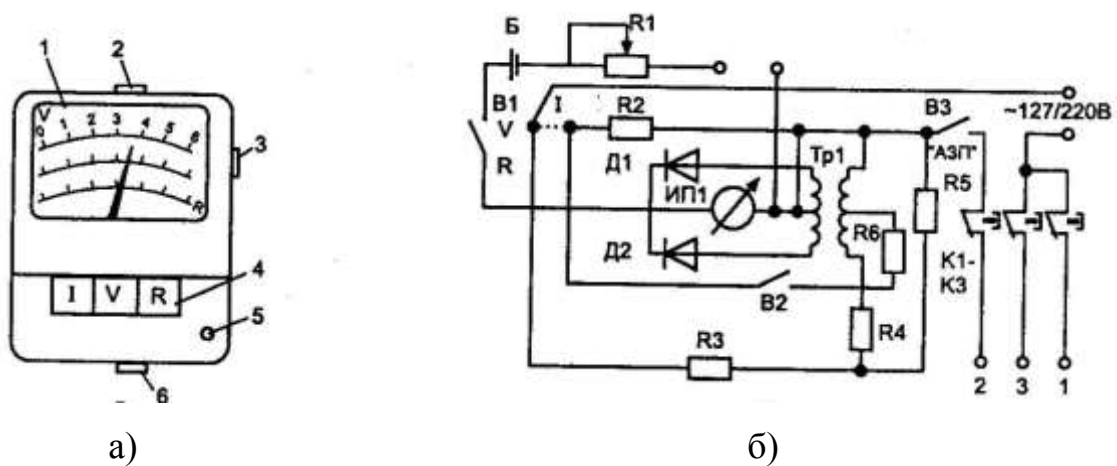
При перевірці на замикання в робочій або пусковій обмотках тип електродвигуна встановлюють перемикачем, а вид обмотки - тумблером, підключеним до виходу статора. Перемикач встановлюють у положення « $R_{кзв}$ », а наявність замикання між витками обмотки визначають за наявністю струму мікроамперметра.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Потужність вимірюється непрямими методами. Значення потужності, яку споживає холодильник з мережі, розраховується заздалегідь як добуток напруги, струму і коефіцієнта потужності. Це значення потужності вибирається зі спеціальної таблиці для даного типу мотор-компресора на основі конкретних значень напруги і струму. Коефіцієнт робочого часу розраховується аналітично.

Є прилад для перевірки електричних параметрів холодильника (рис.1,13).

Прилад вмонтований в пластиковий корпус і оснащений функцією автоматичного захисту відповідної чутливості (АЗП). На передній панелі приладу розташовані вимірювальний прилад 1, ключовий вимикач в залежності від виду роботи, кнопка пуску 5 і розетки 2, 3 і 6. Наявність батареї Б, постійно встановленої в пристрої, дозволяє виявити несправності при відсутності напруги в домашній мережі клієнта. Через комутаційний ключ 4 подається напруга на головний і пусковий контакти розетки, через кнопку - на пусковий контакт. Щоб перевірити напругу, натисніть кнопку V на вимикачі, а щоб перевірити наявність обриву дроту, натисніть кнопку R на вимикачі.



а – вигляд загальний; 1 – прилад вимірювальний; 2,3,6 – штекерні гнізда; 4 – перемикач; 5 – кнопка; б – схема електрична: Б – батарея; R1 - R6 – резистори; Tr1 – трансформатор; K1 - K3 – реле; Д1, Д2 - діоди

Рисунок 1.13 – Прилад для випробування електричних параметрів холодильних машин

Прилад оснащений трьома кабелями. Один призначений для підключення пристрою до мережі. Другий, щоб перевірити наявність розривів ланцюгів, безперервності контактів і опору ізоляції. Третій - з підпружиненими контактами. З його допомогою подається напруга через контакти компресора холодильника. Контакти кабелю позначаються наступним чином: 1 – Пуск, 2 – Загальний, 3 – Робочий.

Є стенд для перевірки холодопродуктивності та споживання електроенергії холодильним агрегатом (рисунок 1.14). Панель 11 стенду оснащена логометром типу 7 ЛПР-58, який вимірює температуру випарника досліджуваних предметів, амперметром 4 типу Е-421 на 10 А та вольтметром типу 3 Е-421, що відображається на 250 В, два електролічильники типу 6 і 8 СО-2 для відображення споживаної електроенергії.

Перемикач 5 використовується для включення трансформатора і подачі 127 і 220В. Пакетний перемикач 15 подає напругу на випробовуваний елемент. Знизу, з правого боку пластини, з блоку 12 виведені чотири дроти для підключення термометра опору. Цей стенд дозволяє одночасно тестувати чотири охолоджувальні пристрої, підключені до стенду через гніздо 13.

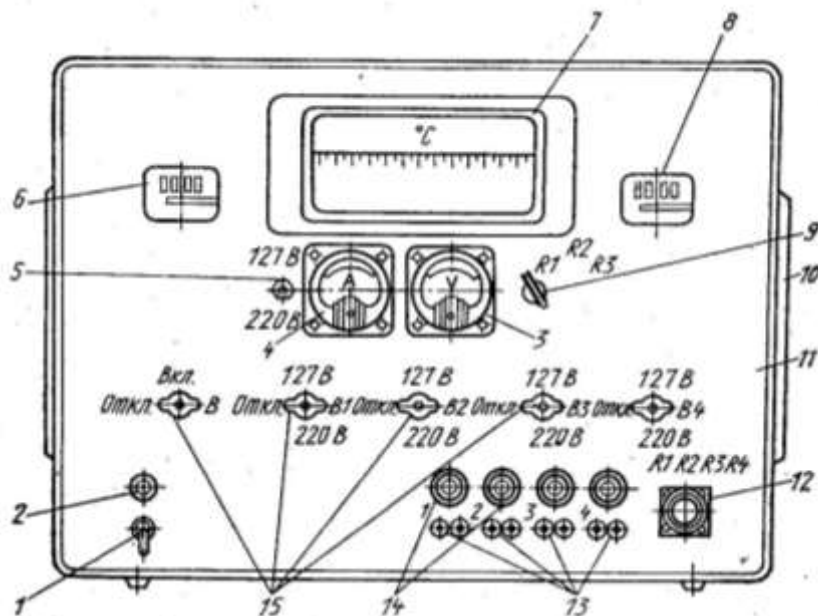


Рисунок 1.14 - Стенд для випробування холодильного агрегата на холодопродуктивність та витрату електроенергії

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Перед увімкненням холодильного обладнання необхідно в нижній частині випарника встановити термометр опору і встановити на випарник ізоляційну кришку. Контроль температури випарника здійснюється за допомогою логометра. Перевірте ефективність охолодження холодильного блоку протягом 1 години. Ви можете перевірити споживання енергії за допомогою вимірювача потужності. Силу струму, яку споживає прилад, показує амперметр.

Висновки до розділу.

В даному розділі здійснено огляд та аналіз сучасних технологій в галузі кондиціонування повітря. Продемонстровано системи кондиціонування повітря у режимі охолодження та нагрівання. Проведено огляд та аналіз технічних рішень для визначення основних параметрів роботи побутових кондиціонерів у різних режимах роботи.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОБУТОВОГО КОНДИЦІОНЕРА

2.1 Визначення ключових параметрів роботи кондиціонерів

При вивченні роботи кондиціонерів і аналізі їх функціональних характеристик в приміщенні, зазвичай розглядають два основних періоди.

- Період 1 - зміна температури в приміщенні від фактичного значення під час кондиціонування повітря. Кондиціонер увімкнеться при температурі, заданій на панелі керування.

– Період 2 – автоматично підтримувати вказану температуру в приміщенні.

Під час роботи кондиціонера в період 1 відбулася зміна температури і вологості в приміщенні. При цьому початкові теплоенергетичні параметри кондиціонера також істотно зміняться.

Також кондиціонер працює як в режимі охолодження, так і в режимі обігріву.

Робота кондиціонера в режимі охолодження з моменту включення до досягнення заданої температури і автоматичної зупинки характеризується наступними параметрами:

– час роботи кондиціонера для зниження температури в приміщенні від фактичної температури до заданого значення та відповідна швидкість зниження температури в приміщенні залежить як від розміру, так і від параметрів приміщення;

– час зниження температури повітря;

– тиск холодоагенту;

– споживана потужність і установлена сила струму;

– фактична холодопродуктивність (теплопродуктивність) кондиціонера;

– холодильний коефіцієнт.

Діяльність кондиціонера у режимі нагрівання в тимчасовому періоді від

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		32

моменту вмикання кондиціонера в роботу, до моменту його автоматичного вмикання, при досягненні заданої температури, характеризується наступними параметрами:

- час роботи кондиціонера для підвищення температури в приміщенні від фактичної температури до заданого значення та відповідна швидкість підвищення температури в приміщенні залежить як від розміру, так і від параметрів приміщення;

- час підвищення температури повітря;
- тиск холодоагенту;
- фактична теплопродуктивність (холодопродуктивність) кондиціонера;
- споживана потужність і установлена сила струму;
- опалювальний коефіцієнт.

Для початку випробовувань необхідна наявність відповідних вихідних даних:

- об'єм приміщення, що піддається кондиціонуванню;
- режими роботи досліджуваного кондиціонера - охолодження (холодний) або нагрівання (тепло);
- температура повітря у приміщенні на момент вмикання досліджуваного кондиціонера для режиму охолодження та нагрівання; температура повітря, що задається з пульта керування для режиму охолодження та нагрівання;
- температура повітря навколишнього середовища для режимів охолодження та нагрівання;
- швидкість обертання вала вентилятора внутрішнього блоку;
- технічні характеристики досліджуваного кондиціонера спліт-системи настінного типу чи іншого досліджуваного кондиціонера.

Реєстровані параметри та параметри, які необхідно установити аналітично при дослідженні роботи кондиціонера:

- температура повітря у приміщенні, °С;
- температура повітря на виході із внутрішнього блоку, °С;
- установлена сила струму у режимах охолодження та нагрівання, А;

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- тиск холодоагенту у системі кондиціонера, МПа;
- споживана потужність у режимах охолодження та нагрівання, Вт;
- холодопродуктивність та теплопродуктивність досліджуваного кондиціонера, Вт;

Значення всіх перерахованих вище показників кондиціонерів можна визначити за допомогою відповідних стендів і приладів, наявних в даний час на ринку відповідної продукції машинобудування.

Його аналіз пояснюється в першому розділі. На основі аналізу конструкції дослідницьких стендів, зокрема холодильного обладнання та систем кондиціонування повітря, зроблено висновок, що деякі проекти містять лише обладнання для перевірки лише електричних чи теплофізичних параметрів системи кондиціонування.

Крім того, розглянутий стенд має громіздку конструкцію і може використовуватися тільки в умовах спеціалізованої компанії з ремонту холодильного обладнання. Стендів з приладами для вимірювання обох типів параметрів небагато і вони дуже дорогі за ціною.

Враховуючи вищесказане, виникає потреба у розробці дослідницьких стендів, які включають ці пристрої.

2.2 Вибір компонентів стенда для дослідження роботи кондиціонера

У розроблюваному стенді для дослідження роботи побутових кондиціонерів, в якості досліджуваного холодильного агрегата використовуємо кондиціонер типу «спліт-система» фірми LG, що має відповідні технічні паспортні дані. Технічні паспортні характеристики кондиціонера, що використовуються у розроблюваному стенді наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні паспортні характеристики кондиціонера

Найменування характеристики	Значення
Холодопродуктивність, Вт	2200

Теплопродуктивність, Вт	2300
Повітропродуктивність, м ³ /год	380
Споживана потужність у режимі охолодження, Вт	790
Споживана потужність у режимі нагрівання, Вт	890
Робоча сила струму у режимі охолодження, А	3,9
Робоча сила струму у режимі нагрівання, А	4,5
Номінальна частота обертання вала вентилятора зовнішнього блоку, об/хв	730
Номінальна частота обертання вала вентилятора внутрішнього блоку, висока/середня/низька, об/хв	1315/ 1230/815
Тип холодоагенту холодильної системи	R112
Величина електроживлення, фази/В, Гц	1/220/50

Для дослідження енергетичних і теплофізичних показників вищевказаних кондиціонерів і порівняння їх з паспортними даними проєктований стенд повинен містити наступне вимірювальне обладнання.

Для вимірювання енергетичних параметрів кондиціонера рекомендуємо використовувати трифазний електронний багатофункціональний лічильник «Алвін» з оптичною головкою USB-інтерфейсу. Основні функції лічильника: лічильник вимірює енергоспоживання; лічильник оснащений автономним годинником, який відображає поточну дату і час і формує сигнали управління.

У таблиці 2.2 наведено параметри, які можна контролювати за допомогою лічильника.

Таблиця 2.2 – Параметри, що контролюються лічильником «Елвін»

Витрата сумарної енергії з моменту вмикання лічильника «Елвін»
День тижня, поточна дата, діюча тарифна зона та час доби
Щоденна активна і реактивна миттєві потужності

Витрачання сумарної енергії по тарифних зонах: за поточну добу та 63 попередні доби
Витрачання сумарної енергії по тарифних зонах: за поточний місяць та 14 попередніх місяці
Витрачання сумарної енергії по тарифних зонах: за поточний та попередній рік
Значення максимальних середніх потужностей: за поточну добу та за 99 попередніх днів
Значення максимальних середніх потужностей для кожного виду енергії (активної та реактивної)
Значення максимальних середніх потужностей в години ранішнього та вечірнього максимуму: за поточну добу та 99 попередніх днів
Дата, час вмикання /вимикання живлення, зникнення фазної напруги
Дата зняття параметрів
Діючі фазні (лінійні) напруги, діючі фазні струми, $\cos \varphi$ на кожній фазі, потужність на кожній фазі
Перша гармоніка фазного (лінійної) напруги, струму, коефіцієнта несинусоїдальності напруги, струму, зсуву фаз між струмом і напругою
Загальна потужність трифазної системи
Симетричні складові трифазної системи
Частота напруги у мережі

За наведеними вище показниками розрахувати потужність кондиціонера та споживану потужність за певний період часу.

На рисунку 2.1 наведено загальний вигляд трифазного багатофункціонального електронного лічильника електроенергії «Алвін» та оптичної головки інтерфейсу USB.

Оптична головка USB FOP-2 призначена для встановлення оптичного інтерфейсу за стандартом IUS61107 та USB-інтерфейсу для обміну інформацією з трифазними багатофункціональними лічильниками електроенергії типу ET.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Стенд оснащений цифровими термометрами (термопарами) для реєстрації температури компресора та інших необхідних вузлів.

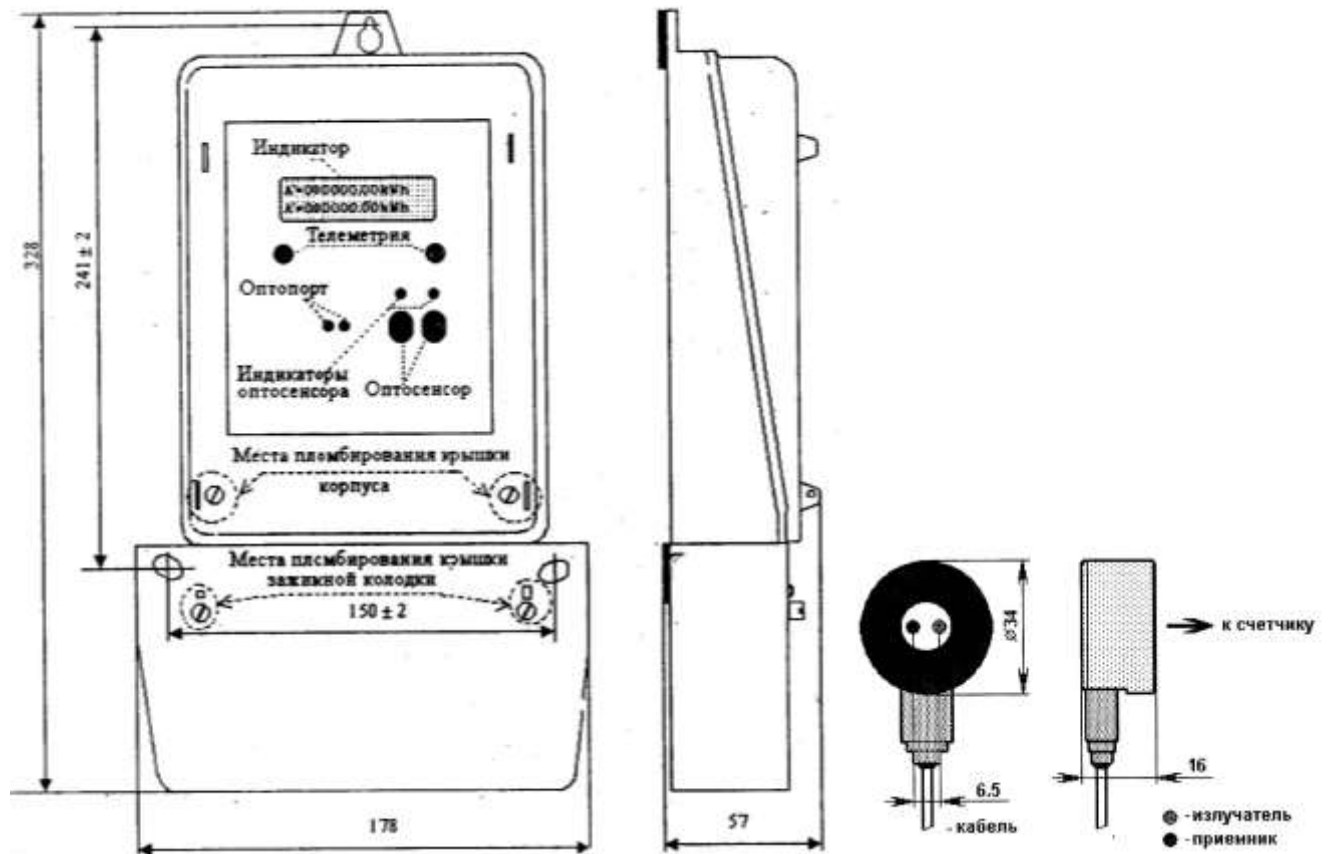


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд трифазного електронного багатофункціонального лічильника електричної енергії фірми «Елвін» та оптичної головки інтерфейсу USB

У структуру стенду також входить електричний анемометр типу LIOT, який може вимірювати температуру і швидкість його руху одночасно. Істинні значення цих показників можна дізнатися, приклавши наконечник датчика 1 (рис.2.2) до ділянки повітроводу.

Досліджувана система кондиціонування потребує створення спрямованого потоку повітря та розміщення в ньому датчиків.

До складу приладу також входять вимірювальна шкала 2 і компенсаційна шкала 3, кнопка встановлення стрілки приладу в контрольне положення, перемикач шви-

дкісного і температурного режиму, тумблер підключення до електричної мережі.

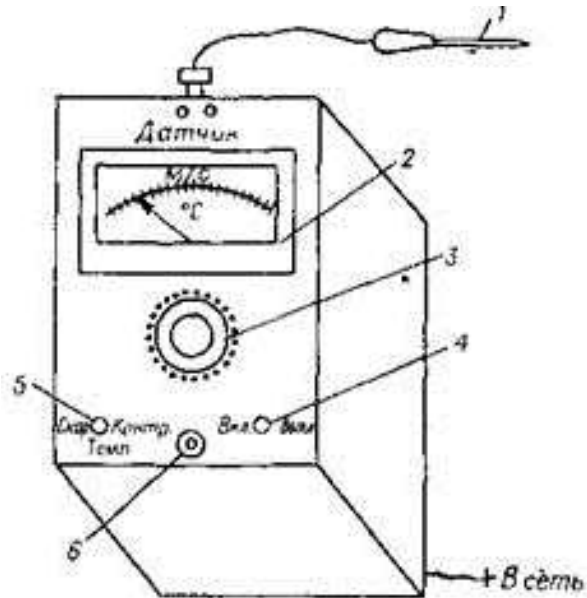


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд електротермоанемометра

Також у розроблюваному стенді можна буде вивчати процеси зміни стану вологого повітря в досліджуваному кондиціонері, шляхом вимірювання параметрів повітря на вході за допомогою аспіраційного психрометра (рис. 2.3).

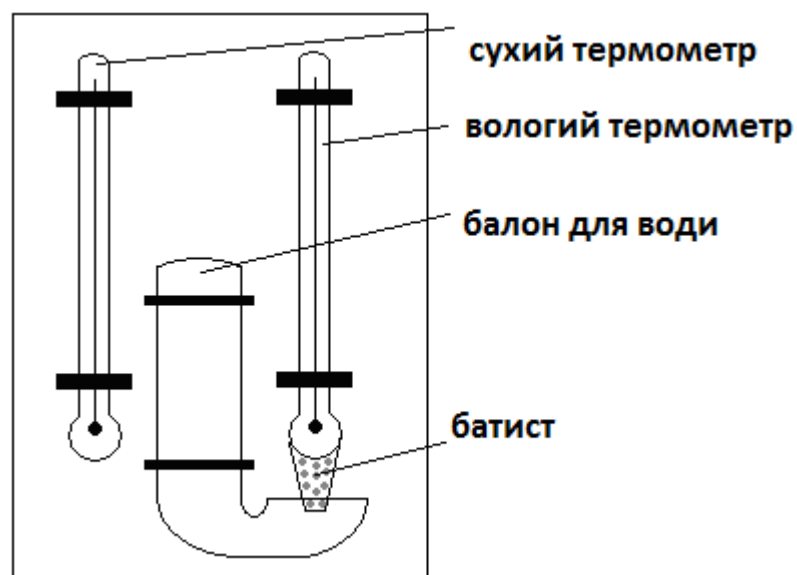


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд психрометра стенда

Температуру вимірюють за допомогою «сухого» і «мокрого» термометрів. Потік нагрітого повітря визначається термометром, встановленим на виході з кондиціонера. Потік охолодженого вологого повітря потрапляє в радіатор кондиціонера.

Оскільки температура поверхні охолоджувача нижча за температуру точки роси охолодженого повітря, окрім охолодження, повітря осушується (зменшується вміст вологи) шляхом конденсації водяної пари на поверхні кулера. Конденсат збирається в піддон і зливається.

Температуру охолодженого і сухого повітря «сухим» і «мокрим» термометрами вимірюють за допомогою всмоктувального психрометра.

Манометри високого і низького тиску дозволяють вимірювати тиск у двох точках напірного і всмоктуючого трубопроводів гідропневматичної системи стенду, показники яких використовуються для подальших розрахунків. Для вимірювання тиску від 1 до 4 атм у напірному трубопроводі охолоджувального пристрою встановлюють манометр, а для вимірювання тиску від 1 до 15 атм — у всмоктуючому.

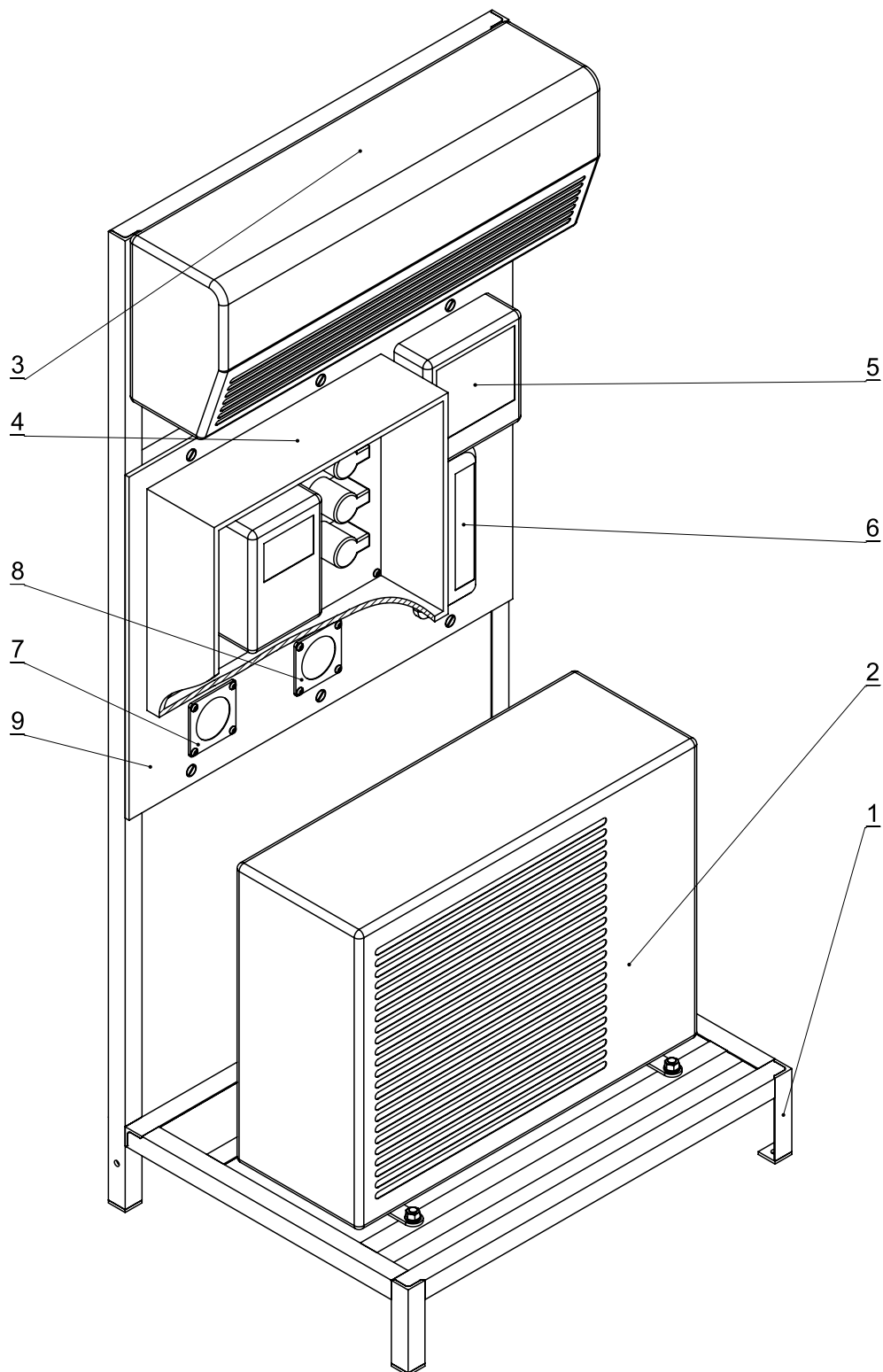
Режим роботи кондиціонера встановлюється за допомогою пульта. Для безпечної роботи на стенді живлення здійснюється через захисне відключення, чутливе до струмів короткого замикання, і магнітний пускач, що складається з контактора і кнопок «ПУСК» і «СТОП».

У разі втрати живлення підставка вимкнеться і не ввімкнеться знову, доки ви знову не натиснете кнопку ПУСК.

2.3 Розробка конструкції стенда для дослідження роботи побутового кондиціонера

Загальний вид стенду для дослідження електричних та теплофізичних параметрів побутових кондиціонерів наведена на рисунку 3.4 на листі МРМА 23.00.00.000 ДІ та на листі МРМА 23.00.00.000 СК графічної частини магістерської роботи.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		39



1 – рама; 2 – зовнішній блок; 3 – внутрішній блок; 4 – безконтактний вимірювальний пристрій енергетичних параметрів «Елвін»; 5 – термоаерометр;
 6 – психрометр; 7 – манометр високого тиску; 8 – манометр низького тиску;
 9 – дошка кріплення

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд стану для дослідження параметрів кондиціонера

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Стенд складається: з вертикального металевих каркасу (рама) 1, що виконаний з кутника №25 за допомогою зварних швів. Зверху на каркасі передбачено три горизонтальні металеві смуги шириною 80 мм для кріплення внутрішнього блоку 3 досліджуваного кондиціонера, а посередині для надання жорсткості даній конструкції. Для кріплення зовнішнього блоку 2 кондиціонера виконана конструкція, що складається із П-подібного профілю 5 № 100 і двох горизонтальних металевих смуг, що з'єднані у єдину конструкцію за допомогою зварних швів.

Внутрішній 3 та зовнішній блок 2 кондиціонера закріплюється на стенді кріпильними болтами. Для кращого транспортування стенда до місця експлуатації, його можна змонтувати на колісне шасі.

На даному каркасі кріпляться також всі складові елементи та агрегати, опис яких приведений вище: психрометр 6; манометри 7 та 8, електротермоенмометр 5, цифрові термометри.

Для кращої наглядності зняття енергетичних показників досліджуваного кондиціонера на стенді передбачено монтаж безконтактного вимірювального пристрою «Елвін» з оптичною USB-головкою.

Крім того, передбачено зробити у холодильному агрегаті на лінії нагнітання та всмоктування оглядові вікна для контролю агрегатного стану холодоагента.

Розроблена структурна комбінована схема стенду для дослідження побутових кондиціонерів містить гідравлічні та пневматичні елементи і представлена на рис. 2.5 та у графічній частині магістерської роботи МРМА 23.00.00.000 С1.

Структурна функціональна схема містить такі складові частини, поєднані у стенд для дослідження:

- холодильний агрегат, що складається із внутрішнього 1 та зовнішнього 2 блок кондиціонера, компресора 9, клапана чотирьохходового 6, капілярної трубки 4, контрольного клапана 3, випарника (теплообмінника) 11, конденсатора (теплообмінника) 5;

- манометр 7 служить для вимірювання тиску нагнітання, манометр 8 –

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		41

для вимірювання тиску всмоктування;

- психрометри 12 призначені для вимірювання температури повітря;

- електротермоанемометри 13 призначені для вимірювання швидкісних та температурних параметрів повітря, що виходить з кондиціонера.

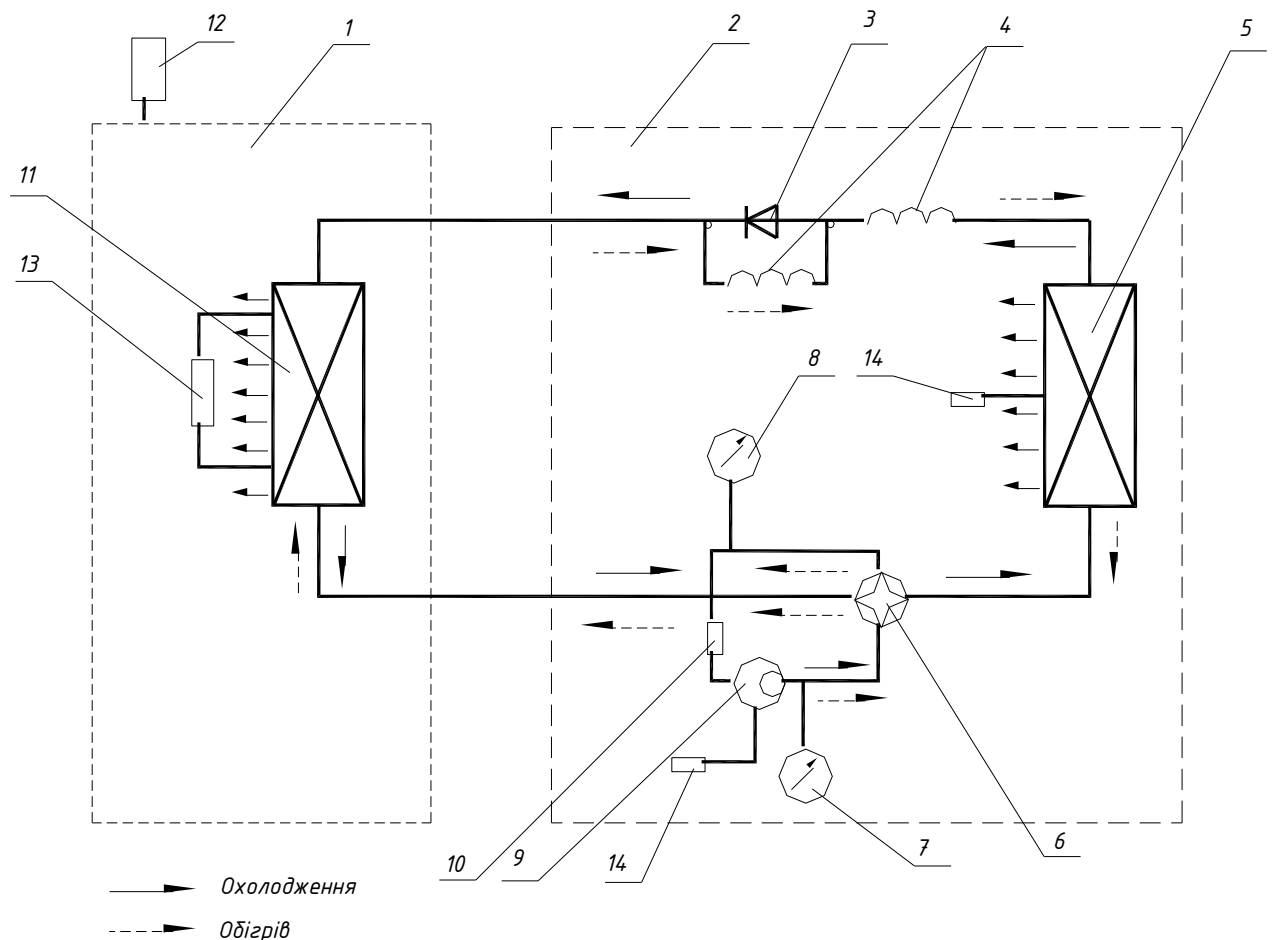


Рисунок 2.5 – Схема структурна комбінована стенду для дослідження побутових кондиціонерів

Висновок до другого розділу

У даному розділі було розроблено конструкцію стенда для дослідження параметрів побутових кондиціонерів. Для цього було здійснено аналіз ключових параметрів роботи кондиціонера, зокрема вихідні дані для випробовування та дані, отримані в процесі кондиціонування та охолодження побутовим кондиціонером. Здійснено підбір основних компонентів, що входять до складу розроблюваного стенда.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ВУЗЛІВ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДИЦІОНЕРА, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ НА НАДІЙНІСТЬ

Для того, що виготовити даний стенд для дослідження роботи кондиціонерів, необхідно здійснити відповідні інженерні конструкторські розрахунки. Зокрема, підібрати та перевірити на стійкість, міцність рамні конструкції, на які буде кріпитися досліджуваний кондиціонер в процесі роботи.

3.1 Розрахунок опорної рами стенда на стійкість

Стенд складається: з металевого каркасу, що розміщений вертикально. Він виконаний з кутника №25 за допомогою зварних швів.

Зверху на зварному каркасі передбачено три горизонтальні металеві смуги шириною 80 мм для кріплення внутрішнього блоку досліджуваного кондиціонера, а посередині - для надання жорсткості конструкції стенда.

Для установки зовнішнього блоку кондиціонера розроблювана конструкція зроблена з П-подібного профілю № 100 та двох горизонтальних смуг, що з'єднані у єдину конструкцію при допомозі зварних швів.

Внутрішній та зовнішній блок досліджуваного кондиціонера кріпиться до стенду стяжними болтами. Для кращого транспортування стенда у місце його експлуатації, його можна оснастити колісним шасі.

Під час установки досліджуваного кондиціонера та здійснення вимірювань на ньому, рама стенда буде піддаватись певним навантаженням. Для впевненості у тому, що стенд не доруйнується і не втратить працездатність необхідно зробити розрахунки рами на стійкість та верхньої балки та прогин.

Розрахунок опорних рам на коливання зводиться до визначення частоти власних коливань елементів конструкцій, та співставлення її з частотою проти-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		43

діючої сили.

При проведенні розрахунку слід врахувати те, що у рами жорсткість EI пояса BC більша ніж стійок AC та CD (рис. 3.1).

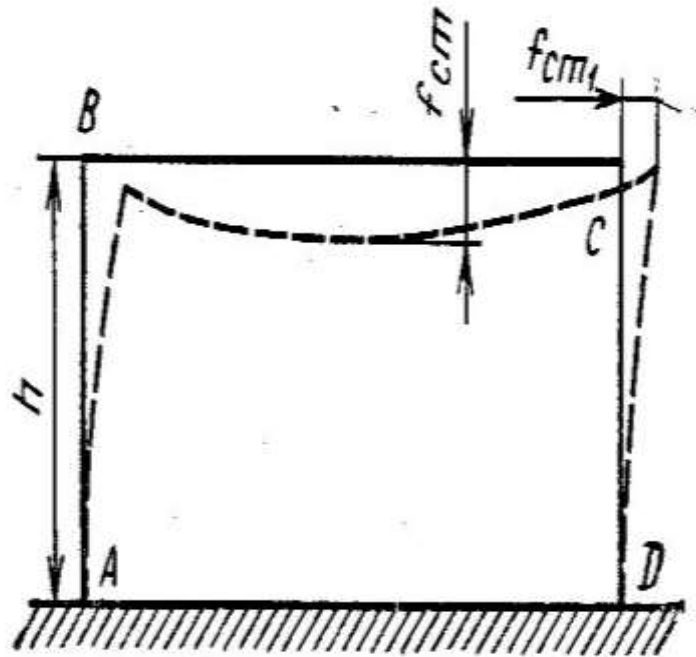


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема опорної рами машини

Знаходимо статичний прогин стійки з зацемленими кінцями за формулою:

$$f_{cm} = \frac{P_1 \cdot h^3}{3EI}, \quad (3.1)$$

де $P_1 = 0,25m$ - сумарна маса основи та перекриття рами, що приходить на одну стійку, $P_1 = 2,25 \text{ Н}$;

h - висота стійки рами стенда, $h = 1,5 \text{ м}$;

EI - момент інерції профілю квадратного перерізу рами $h \times h = 100 \times 100 \text{ мм}$,

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$$I = \frac{h^4}{12} = \frac{0,1^4}{12} = 8,3 \cdot 10^{-6}.$$

$$f_{cm} = \frac{2,25 \cdot 1,5^3}{3 \cdot 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,003 \text{ м.}$$

З розрахунку видно, що прогин конструкції складає 0,003 м, що допустимо в для даного стенда в умовах випробовування.

3.2 Розрахунок кріплення стенда

Визначаємо площу зрізу болтів кріплення за формулою:

$$A_{зр} = nk \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.2)$$

де n - число елементів кріплення (болтів, заклепок), $n = 4$;

d - діаметр перерізу елементів кріплення, $d = 8$ мм;

k - число зрізів одного елемента кріплення, $k = 1$.

$$A_{зр} = 4 \cdot 1 \frac{3,14 \cdot 0,008^2}{4} = 0,0002 \text{ м}^2.$$

Записуємо умову міцності для відповідного з'єднання виразом:

$$\tau = \frac{4A_{зр}}{nk\pi d^2} \leq [\tau_{зр}], \quad (3.3)$$

де $[\tau_{зр}]$ - допустиме напруження на зріз кріплення при динамічних навантаженнях $[\tau_{зр}] = (0,8 \dots 1,2)[\sigma_p]$;

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$[\sigma_p]$ - допустиме нормальне напруження на розтяг для матеріалу кріплення, $[\sigma_p] = 120$ МПа.

$$\tau = \frac{4 \cdot 0,0002}{2 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 0,008^2} = 0,6 \text{ МПа.}$$

З розрахунків видно, що умова міцності витримується. Тобто кріплення підібрано правильно.

Висновки до третього розділу

Для виготовлення стенда здійснено відповідні конструкторські розрахунки. Зокрема, розрахунок опорної рами стенда на стійкість (прогин) та розрахунок на зріз болтів кріплення кондиціонера до стенда.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		46

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБОВУВАННЯ НА СТЕНДІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОБУТОВИХ КОНДИЦІОНЕРІВ

4.1 Підготовка та налаштування стенда для дослідження побутових кондиціонерів

При проведенні випробовувань на стенді необхідно виконувати певний алгоритм роботи. Дотримання цього алгоритму буде сприяти довговічності та справності розробленого стенда. Алгоритм роботи з пристроєм включає наступні кроки:

- 1) увімкнути вилку кондиціонера в розетку стенда;
- 2) піднести важіль автомата захисного відключення до клацання вгору;
- 3) натиснути кнопку «ПУСК» до характерного клацання контактора. В цей час на вольтметрі спостерігаємо напругу в електромережі;
- 4) на пульті вибрати відповідний режим роботи кондиціонера. Після самотестування кондиціонер вимкнеться.

Лабораторні випробовування на стенді необхідно виконувати в такій послідовності:

- 1) увімкнути стенд відповідно до алгоритму роботи кондиціонера;
- 2) увімкнути кондиціонер у режимі охолодження, зафіксувати на пульті мінімально температуру всередині приміщення;
- 3) зафіксувати час стабільного виходу кондиціонера на робочий режим (близько 10-15 хвилин);
- 4) зробити вимірювання основних енергетичних параметрів побутового кондиціонера: робочого струму, потужності, напруги робочої обмотки, напруги конденсаторної обмотки;
- 5) перед вимірюваннями, приблизно за 2-3 хвилини, змочити «мокрі» термометри психрометрів;
- б) здійснити вимірювання температури по «мокрому» і «сухому» психрометру та вологості повітря у приміщенні;

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		47

7) зібрати показання температури та швидкості повітряних потоків на вході та виході з кондиціонера;

8) зібрати показання тиску та температури на лініях нагнітання та всмоктування компресора.

9) увімкнути кондиціонер на режим обігріву. Поставити на пульті гранично можливу температуру всередині приміщення;

10) зафіксувати час стабільного виходу кондиціонера на робочий режим (15-20 хвилин);

11) повторити пункти 4-8 цієї методики як при режимі охолодження.

12) одержані дані занести в таблицю результатів (табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Результати випробовувань

Температура сухого термометру, С	Температура мокро-го термометру, С	Тиск нагнітання МПа	Тиск всмоктування, МПа	Швидкість / температура повітряних потоків на вході, м/с	Швидкість / температура повітряних потоків на виході, м/с	Струм А	Напру-га,В
Режим роботи «охолодження»							
Режим роботи «нагрівання»							

4.2 Проведення експериментальних досліджень та обробка результатів випробовувань на стенді для дослідження побутових кондиціонерів

На кінцевому етапі, для підтвердження ефективної роботи побутового кондиціонера, під час випробовування необхідно визначити наступні параметри:

- розрахувати холодильну потужність побутового кондиціонера;
- розрахувати теплову потужність побутового кондиціонера;
- розрахувати споживану потужність компресора кондиціонера;
- визначити коефіцієнти ефективності для режимів роботи «охолодження» та «обігріву» повітря.

4.2.1 Методика проведення експериментальних досліджень та обрахунків теплофізичних та енергетичних параметрів побутових кондиціонерів

Вивчаючи роботу побутових кондиціонерів, потрібно приділити увагу вивченню процесу зміни стану вологого повітря, навчіться вимірювати параметри вологого повітря та обробляти експериментальні дані за допомогою *H-d* діаграм.

Холодильна потужність (холодопродуктивність) кондиціонера визначається за формулою:

$$Q_0 = 0,278L \cdot \rho(I_{\text{вх}} - I_{\text{вих}}), \quad (4.1)$$

де L - об'ємна витрата повітря, що проходить через досліджуваний кондиціонер, м³/год;

ρ - щільність потоку повітря, кг/м, $\rho = 1,22$ кг/м³;

$I_{\text{вх}}, I_{\text{вих}}$ - ентальпія потоку повітря відповідно на вході та на виході з досліджуваного кондиціонера, кДж/кг.

Значення об'ємних витрат повітря L , що проходять через досліджуваний кондиціонер одержуємо за допомогою електротермоанемометра, який знаходиться у складі досліджуваного стенда.

За допомогою аспіраційного психрометра визначаємо показники вологості відповідно на вході та виході з кондиціонера. Параметри повітря на вході визначаються за допомогою аспіраційного психрометра шляхом вимірювання температур за «сухим» та «мокрим» термометрами.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Потім визначаємо показники ентальпії повітря, $I_{ex}, I_{вих}$ шляхом знаходження відповідних точок на $H-d$ діаграмі.

Температура нагрітого струменя повітря, що виходить з кондиціонера визначається термометром.

У радіатор надходить струмінь охолодженого вологого повітря. Температура поверхні радіатора нижча за температуру точки роси охолодженого повітря, тому крім охолодження повітря ще й висихає, оскільки водяна пара конденсується на поверхні радіатора (таким чином зменшується вміст вологи).

Конденсат збирається в піддон і зливається. За допомогою всмоктувального психрометра визначають температуру за «сухим» і «мокрим» термометрами охолодженого і сухого повітря.

У багатьох галузях техніки процеси, пов'язані зі зміною концентрації водяної пари в повітрі, відіграють важливу роль і часто зустрічаються в практиці інженерів-теплотехніків у таких процесах, як сушіння рослин, кондиціонування повітря тощо. Тому зміна умов вологого повітря вимагає знання особливостей процесу.

Під вологим повітрям зазвичай розуміють ідеальну газову суміш, що складається з двох компонентів: неконденсуючої «сухої» частини (сухе повітря) і водяної пари. На основі цього були визначені всі термодинамічні залежності.

Фактичні властивості водяної пари розглядаються лише у зв'язку з виділенням або поглинанням тепла фазової зміни.

Згідно із законом Дальтона тиск вологого повітря дорівнює сумі парціальних тисків його компонентів:

$$P = P_{c.n} + P_{в.n}, \quad (4.2)$$

де $P_{c.n}$ – парціальний тиск повітря сухого;

$P_{в.n}$ – парціальний тиск пари водяної.

Густина вологого повітря, що виходить з кондиціонера дорівнює сумі густин сухого повітря і водяної пари, узятих за парціальними тисками і за темпера-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		50

турою суміші:

$$\rho = \rho_{c.n} + \rho_{e.n} , \quad (4.3)$$

Густина водяної пари $\rho_{e.n}$, що є в повітрі, називають також «абсолютною вологістю повітря» та визначається у відсотках.

Вологовмістом d називають відношення маси водяної пари до маси сухого повітря у цьому об'ємі:

$$d = \frac{M_{e.n}}{M_{c.n}} = \frac{\rho_{e.n}}{\rho_{c.n}} , \quad (4.4)$$

де $M_{e.n}$ і $M_{c.n}$ – відповідно маси водяної пари і сухого повітря.

Прописавши рівняння стану для маси (або густини) сухого повітря і водяної пари і підставивши до (4.4), отримаємо:

$$d = \frac{R_{c.n}}{R_{e.n}} \frac{p_{e.n}}{p - p_{e.n}} = 0,622 \frac{p_{e.n}}{p - p_{e.n}} \quad (4.5)$$

де $R_{c.n} = 287$ Дж/(кг К) – газова стала сухого повітря;

$R_{e.n} = 462$ Дж/(кг К) – газова стала водяної пари.

Вологе повітря, що містить суху насичену водяну пару, називають насиченим.

Відносною вологістю повітря (%) називають відношення його абсолютної вологості до максимально можливої абсолютної вологості за даним тиском та температурою і визначають за формулою:

$$\phi = \frac{p_{e.n}}{p_e} 100\% . \quad (4.6)$$

Таке співвідношення є правдивим, через те, що за малих тисків водяна пара має властивості ідеального газу і на граничній кривій.

У формулі 4.6 p_e - тиск сухої насиченої водяної пари при температурі вологого повітря. В ненасиченому повітрі вологому водяна пара міститься в пе-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		51

регрітому стані. Якщо знижувати температуру суміші, а при цьому тиск та вологовмістом залишати сталим, а відповідно сталим - парціальний тиск водяної пари, то результатом буде те, що водяна пара стане сухою насиченою ($\varphi=1$).

Температура в такому стані називається температурою точки роси t_p суміші.

Якщо в насичене повітря, параметри якого зберігаються постійними, ввести невелику кількість води, то через деякий час його температура набуде незалежного від початкового значення значення і надалі залишатиметься постійною.

Цю температуру називають температурою вологого повітря за «вологим» термометром.

За «сухим» термометром - ця температура нижча за температуру насиченого повітря.

Це виникає внаслідок рівності теплових потоків, які вода поглинає з повітря під впливом різниці температур і використовує його для утворення пари, яка виділяється з поверхні рідини в навколишнє повітря під впливом різниці парціального тиску.

Значення температури води в цьому стані залежить від температури і вологості навколишнього повітря.

Це явище використовується для вимірювання вологості повітря за допомогою так званого психрометра.

Як правило, психрометр складається з двох термометрів, кулька одного термометра обгорнута вологопоглинаючою тканиною, змоченою водою.

Використовуючи значення температури «сухого» (t) і «мокрого» (t_m) термометрів, параметри вологого повітря можна визначити математично, але можна також скористатися таблицями і діаграмами.

Числове значення ентальпії вологого повітря, віднесене до 1 кг «сухого» повітря, визначається як ентальпія газової суміші, що містить 1 кг сухого повітря і d кг водяної пари:

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$H = h_{c.n} + h_{e.n}d, \quad (4.7)$$

де $h_{c.n}$ і $h_{e.n}$ – відповідно ентальпії 1 кг сухого повітря і 1 кг водяної пари відповідно.

У теорії вологого повітря обчислення ентальпії як для сухого повітря, так і для пари починаються з $t=0^\circ\text{C}$.

Оскільки водяна пара вважається ідеальним газом, її ентальпія є лише функцією температури і може бути записана як:

$$h_{e.n} = r_{e.n} + C_{e.n}t, \quad (4.8)$$

де $r_{e.n}$ – питома теплота пароутворення пари при $t = 0^\circ\text{C}$;

$C_{e.n}$ – питома масова теплоємність водяної пари при умовах сталого тиску.

Таким чином, ентальпія вологого повітря може бути записана у вигляді виразу:

$$H = C_{c.n}t + (r_{e.n} + C_{e.n}t)d. \quad (4.9)$$

Значне поширення в інженерній практиці отримала $H-d$ діаграма вологого повітря (рис. 4.1).

Ця діаграма накреслена при постійному тиску вологого повітря. Цей тиск зазвичай становить 745 мм рт. Це відповідає середньому або нормальному атмосферному тиску 760 мм рт.ст. у центральних регіонах країни. Є й інші графіки тиску.

На цій діаграмі (рисунок 4.1) зображено вертикальну лінію $d=\text{const}$, лінію $H=\text{const}$ під кутом 135 градусів до осей координат, лінію $t=\text{const}$, побудовану за рівнянням (4.8), і криву постійної відносної вологості. Відповідно до рівняння (4.8) викреслюється лінія, у яку вставляється значення вмісту води. Величина водовмісту розраховується за формулою, отриманою з (4.4) з урахуванням (4.5).

$$d = 0,622 \frac{\varphi \cdot p_{e.n}}{p - \varphi \cdot p_{e.n}} \quad (4.10)$$

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		53

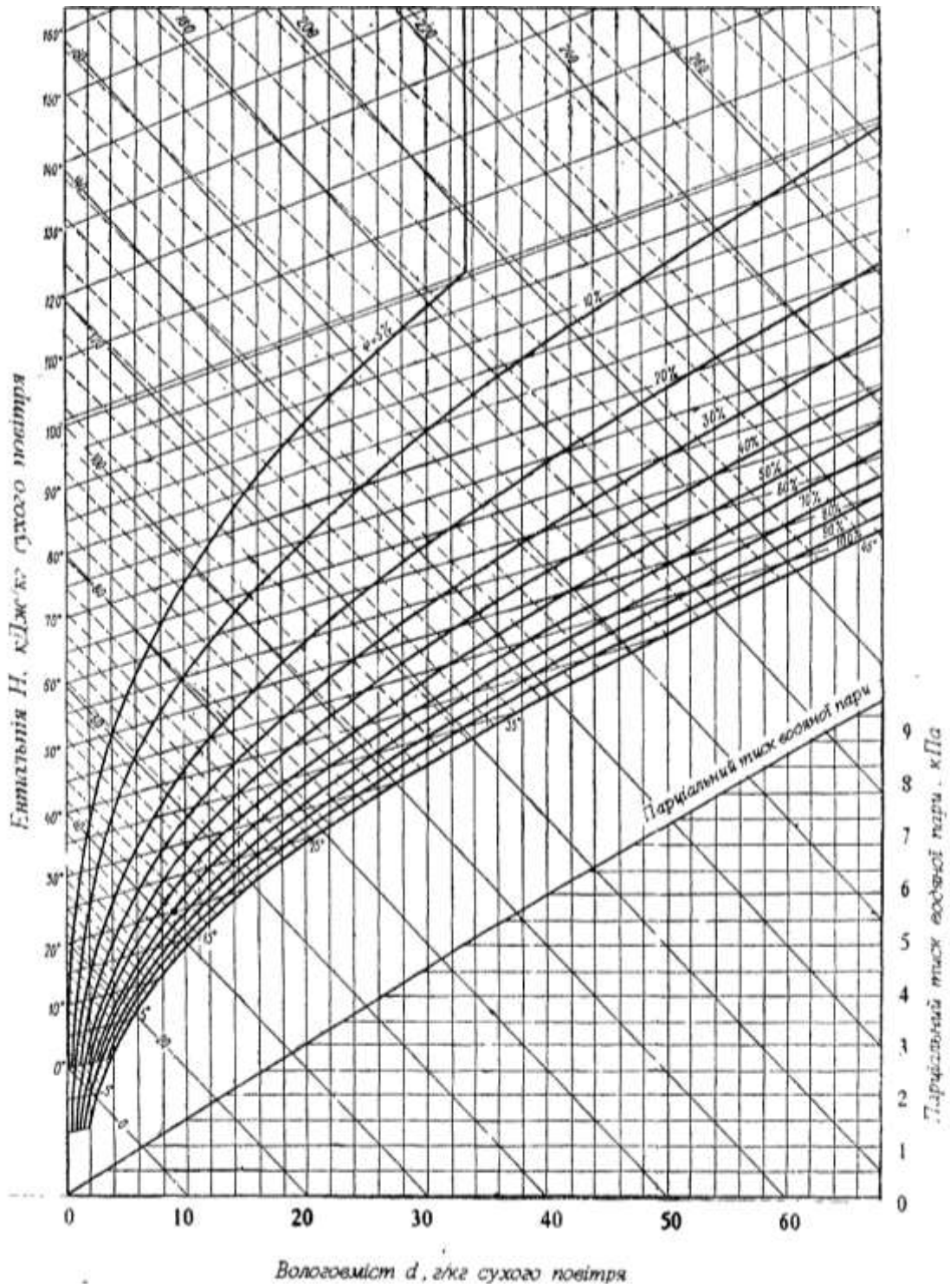


Рисунок 4.1 - H - d-діаграма вологого повітря

Параметри вологого повітря визначають за допомогою H-d діаграми та рівнянь (4.2-4.10). Точка, що відповідає цій умові, наприклад точка 1 на рисунк 4.2,

Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата

Використовуйте цю діаграму, щоб визначити наступні значення на кг сухого повітря:

- кількість тепла, витраченого на нагрівання вологого повітря в нагрівачі:

$$q_{вол.пов} = H_3 - H_1, \quad (4.11)$$

- кількість тепла, що відводиться від вологого повітря в охолоджувачі

$$q_{охл.пов} = H_1 - H_3, \quad (4.12)$$

- кількість конденсованої водяної пари становить

$$\Delta d = d_1 - d_3, \quad (4.13)$$

- теплота охолодження вологого повітря рівна:

$$q_{охл.вол.пов} = H_1 - H_3. \quad (4.14)$$

Необхідна теплова потужність системи кондиціонування визначається за такою формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (4.15)$$

де Q_1 – приплив тепла, викликаний різницею температур внутрішнього та зовнішнього повітря та сонячної радіації.

Вони розраховуються за такою формулою:

$$Q_1 = V \cdot q_{num}, \quad (4.16)$$

де $V = S \cdot h$ - об'єм кондиціонованого приміщення; V – прийmemo 50м³;

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		57

S - площа кондиціонованого приміщення;

h - висота кондиціонованого приміщення ;

q_{num} - питома теплове навантаження, рахуватиметься: 30-35 Вт/м³ - якщо немає сонця в кондиціонованому приміщенні; 35 Вт/м³ - опосередковане значення; 35-40 Вт/м³ – приймаємо значення, якщо вікна знаходяться з сонячної (південної) сторони;

$$Q_1 = 50 \cdot 35 = 1750 \text{ Вт} = 1.75 \text{ кВт},$$

де Q_2 - теплопритоки від побутової та комп'ютерної техніки,

0.3 кВт - від комп'ютера;

0.2 кВт - від телевізора.

Для інших пристроїв можна припустити, що 30% споживаної потужності виділяється у вигляді тепла.

де Q_3 - теплопритоки, що виникають від присутніх людей у приміщенні.

Зазвичай, для розрахунків теплопритоків Q_3 приймається, що одна доросла людина випромінює кількість тепла:

- 0,1 кВт – у стані спокою;

- 0,13 кВт - при плавному рухові;

- 0,2 кВт - при значному фізичному навантаженні.

Діапазон потужності кондиціонера повинен знаходитися в діапазоні $Q_{потуж}$ - від -5 % до +15 % розрахункової потужності Q .

$$Q = 1,75 + 0,5 + 0,43 = 2,68 \text{ кВт}.$$

Таким чином, продуктивність кондиціонера повинна бути між наступними значеннями.

$$Q_{потуж.max} = (1,05 \dots 1,15) \cdot 2,68 = 2,814 \dots 3,082 \text{ кВт}.$$

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Споживана потужність кондиціонера вираховується за формулою:

$$Q_{el} = U \cdot I , \quad (4.17)$$

де I - сила струму кондиціонера, А;

U - напруга у електричній мережі, В.

Ці електричні показники вимірювали за допомогою вимірювального приладу «Алвін». Крім того, можна знайти показники, передбачені технічними характеристиками вимірювального приладу.

Експлуатаційну оцінку побутових кондиціонерів можна провести шляхом визначення коефіцієнтів ефективності COP та EER.

Коли кондиціонер працює в режимі обігріву, цей коефіцієнт називається COP (коефіцієнт ефективної дії) і значить відношення потужності обігріву до споживаної потужності з мережі.

$$COP = Q_{тепл} / N_{спож} . \quad (4.18)$$

При роботі в режимі охолодження використовується інший параметр енергоефективності: EER (Energy Efficiency Ratio). Коефіцієнт E.E.R. відповідає відношенню потужності охолодження до загального споживання електроенергії.

$$EER = Q_{холод} / N_{спож} . \quad (4.19)$$

Кондиціонери з вищим EER заощаджують більше енергії та є більш енергоефективними. Чим вищий EER (COP), тим ефективніша система. EER — це міжнародно визнаний показник, який можуть зрозуміти професіонали з усіх країн і континентів. Він заснований на EER, і виключно на основі цього система кондиціонування класифікується в клас енергоефективності.

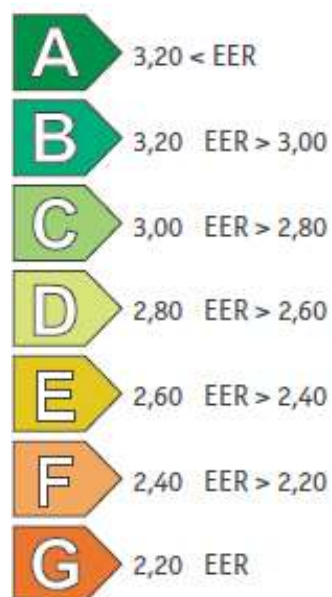
Згідно з чинною Директивою Європейського Співтовариства, усі побутові кондиціонери вимагають обов'язкового маркування класу енергоефективності.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Це зроблено для того, щоб покупці могли отримати об'єктивну інформацію про пристрій і вибрати найбільш енергоефективний і екологічний кондиціонер. Існує сім класів енергоефективності від А до G.

Пристрої класу А є найбільш енергоефективними; пристрої класу А є найбільш енергоефективними. Найнижчий ККД мають прилади класу G (рисунок 4.4).

Енергоефективність в режимі охолодження (EER)



Енергоефективність в режимі нагрівання (COP)

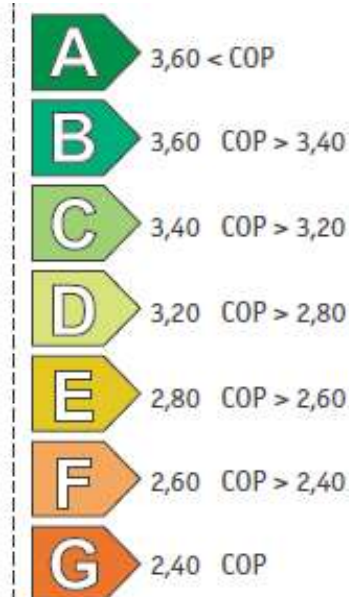


Рисунок 4.4 – Класифікація кондиціонерів за енергоефективністю

Зауважте, що у всіх кондиціонерах коефіцієнт CS завжди трохи вищий за коефіцієнт EER. Це пояснюється тим, що під час роботи компресор виділяє тепло, і частина цього тепла передається фреону, який циркулює між внутрішнім і зовнішнім блоками кондиціонера.

З вищесказаного бачимо, що кондиціонером ефективно не тільки охолоджувати, але й обігрівати приміщення.

Набагато економічніше використовувати побутові обігрівачі, що працюють від мережі кондиціонування повітря, оскільки їх ККД близький до 1, більш ніж на третину нижче ККД кондиціонерів. Тому ефективність значно знижується. Однак кондиціонер повністю не замінює опалення і працює цілий рік. Опа-

лення кондиціонером можливе тільки в міжсезоння, тобто навесні та восени.

При низькій зовнішній температурі більшість побутових кондиціонерів мають середню зовнішню температуру до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ для інверторів, інверторів), тому виробники категорично не рекомендують їх експлуатацію. Порушення умов гарантії рано чи пізно призведе до серйозного зносу і виходу компресора з ладу.

Для роботи при більш низьких зовнішніх температурах в системах кондиціонування встановлюються так звані «низькотемпературні зимові комплекти». Це передбачає нагрівання картера компресора, щоб запобігти загусанню масла, яке в ньому міститься. Він також включає електричний кабель, який нагріває дренажну трубу та прикріплюється до зовнішньої сторони дренажної труби, щоб запобігти утворенню крижаної пробки, і мікропроцесорний контролер. Зменшіть роботу вентилятора до 1, щоб запобігти сильному переохолодженню та замерзанню теплообмінника.

Енергоспоживання вашого кондиціонера допоможе вам визначити, чи можна підключити кондиціонер до звичайної електричної розетки, чи вам потрібно провести окремий кабель до електричної панелі. У сучасних будинках дроти і розетки розраховані на силу струму до 16 А, але в старих будинках максимальний струм не повинен перевищувати 10 А. Для безпечної роботи споживана спліт-системою потужність повинна бути на 30% менше максимально допустимого значення, яке знаходиться у межах 1,5...2,4 кВт. Слід звернути увагу, що при такому енергоспоживанні потужність охолодження кондиціонера коливатиметься від 4,5 до 9 кВт).

4.2.2 Обробка та аналіз результатів випробовування теплофізичних та електричних параметрів побутових кондиціонерів

Виходячи з паспортних даних використовуваного в проектуваному стенді кондиціонера LG і вихідних даних температурно-вологісних характеристик пе-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		61

редбачуваного житлового приміщення можна визначити наступні дані: Результати, необхідні для дослідження кондиціонування повітря, отримані з джерела [17].

Загальні дані:

- об'єм кімнатного кондиціонера - 50 м³
- режим роботи кондиціонера - охолодження (холод), Опалення (тепло);
- температура повітря в приміщенні при включеному кондиціонері – 27°C в режимі охолодження та 12°C в режимі обігріву
- температура повітря встановлюється через панель управління – 19°C в режимі охолодження С, 22°C в режимі опалення
- зовнішня температура – 35°C в режимі охолодження, 7°C в режимі опалення
- швидкісні характеристики вентилятора внутрішнього блоку.

Характеристики кріплення системи кондиціонування випробуваних настінних спліт-систем наведено в таблиці 4.3.

Реєстровані параметри на стенді:

- холодо- та теплопродуктивність, Вт;
- споживана потужність з мережі у режимах охолодження і нагрівання, Вт;
- сила струму в режимах охолодження і нагрівання, А;
- температура повітря в приміщенні, °С;
- температура повітря на виході із внутрішнього блоку, °С;
- тиск холодоагенту у системі холодильного агрегата, МПа

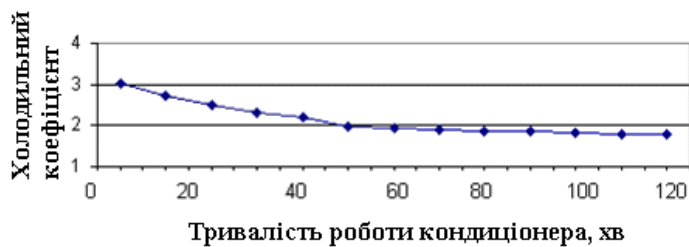
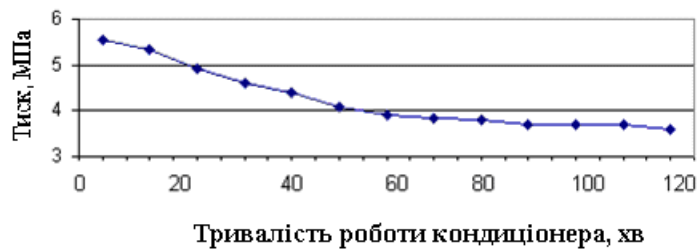
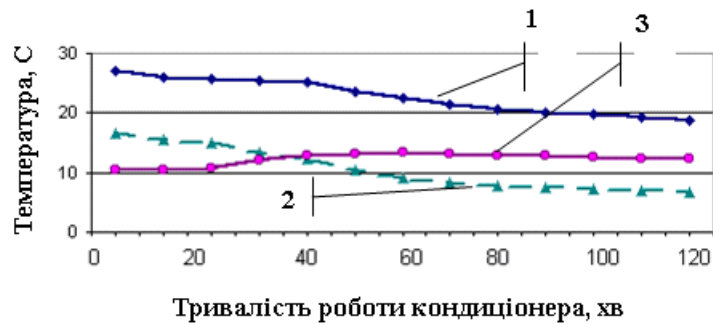
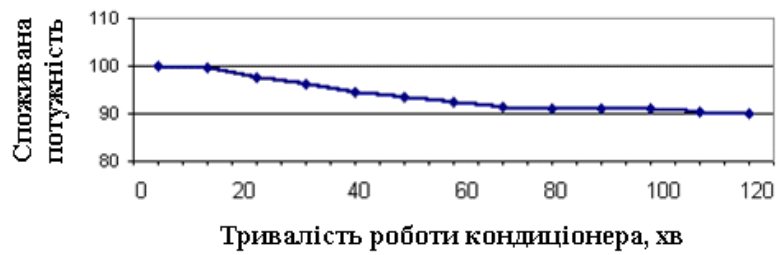
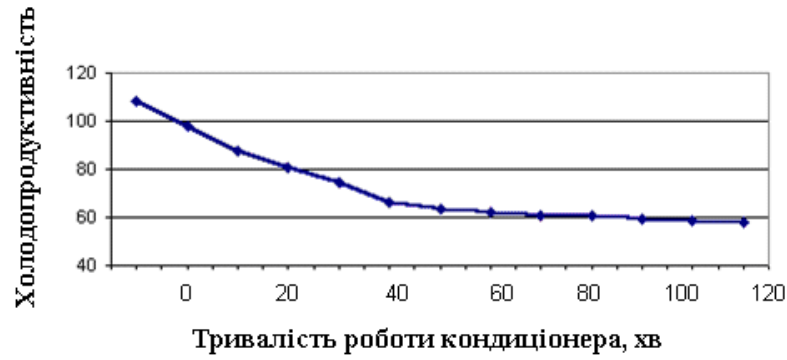
Результати випробувань

Результати випробувань при роботі побутового кондиціонера у режимі охолодження – показані у таблиці 4.3 та проілюстровані рисунком 4.5. Результати випробувань при роботі кондиціонера в режимі нагрівання – у таблиці 4.4 та рисунку 4.6. Графіки залежностей показані у графічній частині магістерської роботи МРМА 23.00.00.000 РР.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 4.3 - Результати випробувань при роботі кондиціонера в режимі охолодження

Характеристики	Вимірювання калориметричних та енергетичних характеристик з врахуванням тимчасового фактора												
	00 хв	10 хв	20 хв	30 хв	40 хв	50 хв	60 хв	70 хв	80 хв	90 хв	100 хв	110 хв	120 хв
Холодопродуктивність, % від паспортних значень	108,2	97,7	87,3	80,5	74,5	66,4	63,6	62,3	60,9	60,5	59,5	58,6	58,2
Споживана потужність, % від паспортних значень	99,9	99,6	97,5	96,2	94,5	93,4	92,4	91,5	91,1	91,0	91,0	90,5	89,9
Робоча сила струму, % від паспортних значень	97,4	97,4	94,9	94,9	93,3	92,3	91,8	89,7	89,7	89,7	89,7	89,7	89,7
Температура повітря в приміщенні, °C	27,0	26,0	25,6	25,5	25,0	23,5	22,6	21,4	20,7	20,2	19,6	19,2	18,8
Температура повітря на виході з внутрішнього блоку, °C	16,65	15,51	14,93	13,46	12,20	10,37	9,18	8,28	7,75	7,43	7,16	6,85	6,60
Різниця температури повітря на вході та виході з блоку, °C	10,35	10,52	10,76	12,06	12,88	13,21	13,42	13,19	12,96	12,77	12,53	12,35	12,24
Тиск холодоагенту в системі (всмокування), кгс/см ²	5,53	5,33	4,93	4,61	4,38	4,09	3,90	3,84	3,80	3,70	3,70	3,70	3,61
Холодильний коефіцієнт	3,02	2,73	2,49	2,33	2,19	1,98	1,92	1,89	1,86	1,85	1,82	1,80	1,79



1 – температура повітря в досліджуваному приміщенні; 2 – температура повітря на виході із внутрішнього блока кондиціонера; 3 – різниця температури повітря на вході та на виході з кондиціонера

Рисунок 4.5 – Характеристики роботи кондиціонера в режимі роботи

«охолодження»

Під час роботи кондиціонера на етапі виведення температури повітря в приміщенні від фактичного значення до значення, заданого споживачем, відбуваються значні зміни параметрів роботи кондиціонера.

Робота кондиціонера в режимі охолодження з моменту ввімкнення до досягнення заданої температури та автоматичної зупинки характеризується наступним чином.

– - період роботи повітря Кондиціонер змінює температуру повітря в приміщенні від фактичної температури до заданого значення.

– - швидкість зниження температури повітря в приміщенні залежить як від розмірів приміщення, так і від параметрів кондиціонера.

– - за фактичних умов випробувань час, який знадобився для зниження температури з 27 °С до 19 °С, становив 120 хвилин.

– фактична охолоджувальна потужність кондиціонера зменшується від максимального значення, коли кондиціонер увімкнено (108% від прохідного значення), до мінімального значення, коли кондиціонер увімкнено (58% від прохідного значення) він автоматично вимкнеться.

– поточне енергоспоживання та робоча потужність зменшуються від максимального значення (~100% від перехідного значення), коли кондиціонер увімкнено.

– тиск холодоагенту (на всмоктуванні) падає з 5,5 кгс/см², коли кондиціонер увімкнено, до 3,6 кгс/см², коли кондиціонер автоматично вимикається.

– коефіцієнт охолодження (W/W) зменшується з 3,0, коли кондиціонер увімкнено, до 1,8, коли кондиціонер автоматично вимикається.

Робота режиму обігріву кондиціонера з моменту включення кондиціонера до досягнення заданої температури і автоматичної зупинки характеризується наступним чином:

– - тривалість періоду робочих операцій кондиціонера для підвищення

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		65

температури повітря в кімнаті від фактичної до заданої.

– швидкість підвищення температури повітря в приміщенні залежить як від розмірів приміщення, так і від параметрів повітря.

– у фактичних умовах тестування тривалість підвищення температури з 12 °С до 22 °С становила 60 хвилин.

– фактична теплова ефективність кондиціонера знижується від максимального значення, коли кондиціонер увімкнено (103% від прохідного значення), до мінімального значення, коли кондиціонер увімкнено (88% від прохідного значення).

– споживання електроенергії та енергоспоживання зростає від мінімального значення (приблизно 80% значення шляху) до максимального значення (приблизно 90% значення шляху), коли кондиціонер увімкнено.

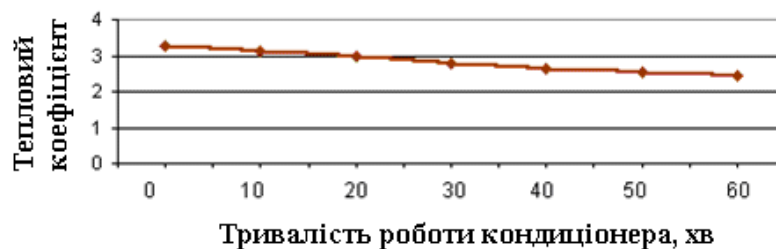
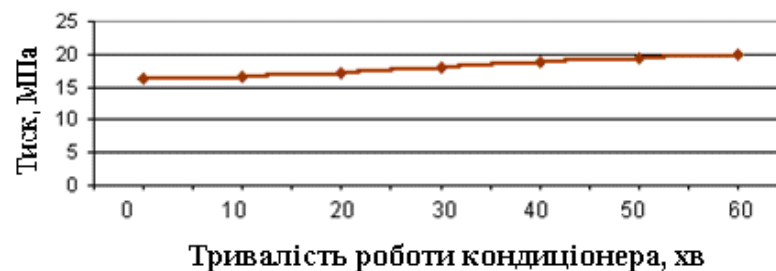
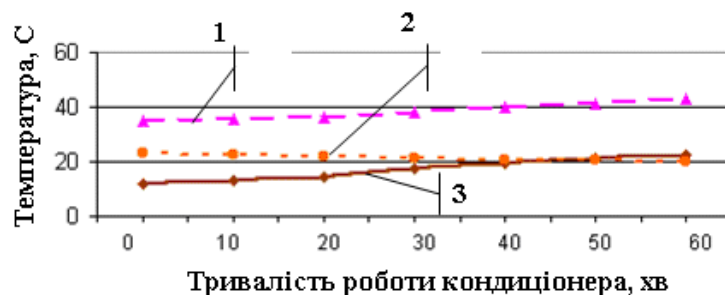
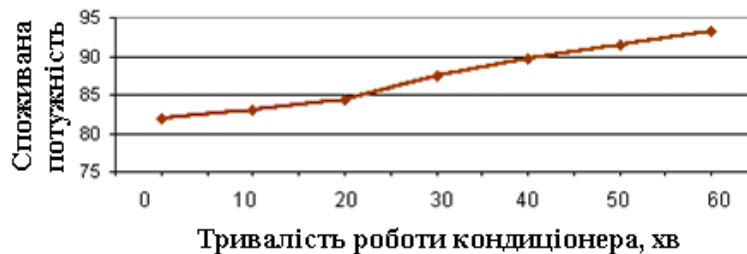
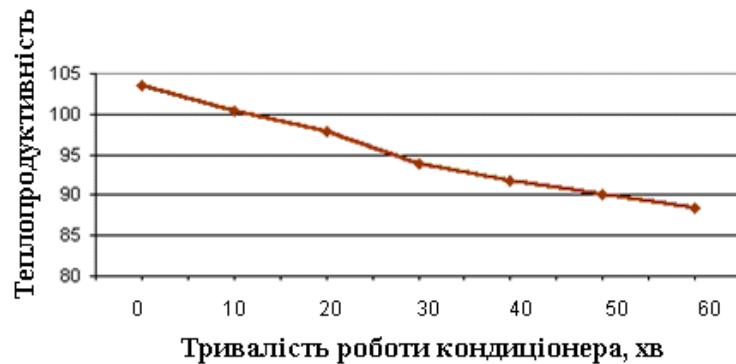
– тиск холодоагенту (під час викиду) зростає з 16,2 кгс/см² при включенні кондиціонера до 19,9 кгс/см² при автоматичному відключенні кондиціонера.

– коефіцієнт нагріву (Вт/Вт) зменшується з 3,3, коли кондиціонер увімкнено, до 2,5, коли кондиціонер автоматично вимикається.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Таблиця 4.4 - Р Результати випробувань при роботі кондиціонера в режимі нагрівання

Характеристики	Вимірювання калориметричних та енергетичних характеристик з врахуванням тимчасового фактора						
	00-хв	10-хв	20-хв	30-хв	40-хв	50-хв	60-хв
Теплопродуктивність, % від паспортних значень	103,5	100,4	97,8	93,9	91,7	90,0	88,3
Споживана потужність, % від паспортних значень	82,0	83,1	84,4	87,4	89,6	91,5	93,3
Робоча сила струму, % від паспортних значень	77,8	79,3	81,1	83,8	85,8	87,3	89,9
Температура повітря в приміщенні, °C	11,99	13,25	14,50	17,30	19,34	21,06	22,78
Температура повітря на виході з внутрішнього блоку, °C	34,91	35,63	36,35	38,36	40,01	41,43	42,85
Різниця температури повітря на вході та виході з блоку, °C	22,92	22,38	21,85	21,06	20,67	20,37	20,07
Тиск холодоагенту в системі (всмоктування), кгс/см ²	16,21	16,68	17,15	18,06	18,74	19,30	19,86
Опалювальний коефіцієнт, Вт/Вт	3,26	3,12	3,00	2,78	2,65	2,54	2,45



1 – температура повітря в досліджуваному приміщенні; 2 – температура повітря на виході з внутрішнього блоку кондиціонера; 3 – різниця температури повітря на вході та на виході із кондиціонера

Рисунок 4.6 – Характеристики роботи кондиціонера в режимі роботи «нагрівання»

4.2.3 Практичне застосування та можливі шляхи вдосконалення стенда для дослідження побутових кондиціонерів

Суто інженерні принципи роботи стенда для дослідження побутових кондиціонерів включають:

- стенд розроблений для точного відтворення різних умов, в яких можуть експлуатуватися кондиціонери, включаючи температуру, вологість швидкість переміщення повітряних мас та інші зовнішні фактори;

- стенд забезпечує можливість проведення контрольованих тестів з варіюванням ключових параметрів, що дозволяє оцінити роботу кондиціонерів в різних умовах;

- стенд оснащений сенсорами та вимірювальними приладами для точного визначення основних параметрів роботи кондиціонерів, таких як ефективність охолодження, енергоспоживання, рівень шуму, рівень вологості, температурні параметри;

- стенд розроблений так, що його можна легко адаптувати для різних типів та моделей кондиціонерів, що робить його універсальним інструментом для досліджень.

- у конструкції стенда враховані всі необхідні стандарти безпеки та експлуатаційні норми, що забезпечує безпечне використання в лабораторних умовах;

- стенд може використовуватися не тільки для тестування ефективності кондиціонерів, але й для діагностики потенційних неполадок та аналізу їх причин;

Ці інженерні принципи роботи стенда забезпечують його високу функціональність та ефективність у дослідженні та аналізі різних аспектів роботи побутових кондиціонерів.

Враховуючи універсальність стенда його можна удосконалити та модер-

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		69

нізувати з врахуванням обладнання, що є на кафедрі машин і апаратів, електро-механічних та енергетичних систем. Метеостанція призначена для збору різних теплофізичних параметрів і має наступні датчики: датчик температури, датчик вологості, датчик атмосферного тиску, датчик швидкості та напрямку вітру, датчик кількості опадів. Дана система дозволяє отримувати та передавати інформацію з датчиків на сайт Weather Underground для обробки та подальшого прогнозування. Також на кафедрі є система, яка містить датчики і контролює освітленість різних поверхонь. Крім того кафедра має сонячну електростанцію потужністю 2,5 кВт з можливістю акумулювання електричної енергії.

Поєднання стенда для дослідження побутових кондиціонерів з існуючою метеостанцією та сонячними панелями може створити інноваційну та багатофункціональну дослідницьку платформу. Ось декілька способів реалізації такого поєднання:

1) Інтеграція з метеостанцією для дослідження зовнішніх умов: Дані з метеостанції, такі як температура, вологість, швидкість вітру, можуть використовуватися для оцінки реальної ефективності кондиціонерів в різних погодних умовах. Це дозволить вивчати, як зміни клімату впливають на роботу та енергоефективність кондиціонерів.

2) Використання сонячних панелей для живлення стенда: Стенд може бути живлений від сонячних панелей, що додасть елемент відновлюваної енергії до дослідження. Це дозволить оцінити потенціал використання сонячної енергії для живлення кондиціонерів, знижуючи вуглецевий слід та енергетичні витрати.

3) Аналіз взаємодії між сонячною активністю та енергоспоживанням: Дослідження може включати аналіз того, як зміна сонячної активності та інтенсивності світла впливає на енергоспоживання та ефективність кондиціонерів.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Висновок до четвертого розділу

Розроблено методику виконання експериментальних випробовувань побутових кондиціонерів на стенді. Здійснено обробку та аналіз отриманих результатів випробовування на стенді для дослідження побутових кондиціонерів.

Дано рекомендацію щодо практичного застосування розроблюваного стенда та шляхи його подальшої модернізації з використанням обладнання, яке існує на кафедрі МАЕЕС.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В даній магістерській роботі було здійснено огляд та аналіз літературних джерел щодо технологій та технічних рішень для дослідження побутових кондиціонерів.

2. Визначено ключові досліджувані параметри на стенді, який проектується та параметрів, які визначаються аналітично для оцінки працездатності досліджуваних кондиціонерів.

3. На основі аналізу стендів було створено власну конструкцію стенда для дослідження електричних та теплофізичних параметрів побутових кондиціонерів, що має оптимальні конструктивні параметри та містить основні елементи, які контролюють дані параметри.

4. Для виготовлення стенда здійснено відповідні конструкторські розрахунки. Зокрема, розрахунок опорної рами стенда на стійкість (прогин) та розрахунок на зріз болтів кріплення кондиціонера до стенда.

5. Розроблено методику для виконання експериментальних випробовувань побутових кондиціонерів на стенді. Здійснено обробку та аналіз отриманих результатів випробовування на стенді для дослідження побутових кондиціонерів.

6. Дано рекомендацію щодо практичного застосування розроблюваного стенда та шляхи його подальшої модернізації з використанням обладнання, яке існує на кафедрі МАЕЕС.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Нікульшин В.Р., Височин В.В. Теплові насоси та кондиціонери. Техніка. Київ. 2014. Електронне видання. Код доступу <https://textbook.com.ua/tehnika/1473453333/s-1>
2. Д. П. Семенюк, О. В. Петренко. Холодильне обладнання. Київ: Світ книг. 2021. - 63 с.
3. Возняк О.Т. Теплогазопостачання та вентиляція. Львівська політехніка. 2018. -325 с.
4. W Peter Jones. Air Conditioning Engineering. Routledge. 2000. – 528 p.
5. Eric Kleinert HVAC And Refrigeration Preventive Maintenance. - McGrawHill. 2014. - 400 p.
6. Теплотехніка та енергетичні машини. Розрахунок системи кондиціонування: Розрахункова робота. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 56 с
7. Коляда В. В. Ремонт холодильників. «Солон-Р». 2000, №35. – 431с., іл.
8. Коляда В. В. Кондиціонери. СОЛОН-Пресс. 2002. - 240 с, іл.
9. Коляда В. В. Сучасні кондиціонери. Монтаж, експлуатація и ремонт. Солон-Прес, Ремонт и Сервіс XXI, 2010. - 176 с.
10. В.І. Назаров, В.И. Риженко. Побутові та автомобільні кондиціонери. Онікс, 2006. - 33 с.
11. Кашкаров А. П.. Установка, ремонт та обслуговування кондиціонерів. ДМК Прес. 2011. - 321 с.
12. Ананьєв В.А., Балусєва Л.Н., Гальперін А.Д., Городов А.К., Єремін М.Ю. Системи вентиляції та кондиціонування. Евроклімат, 2003. - 208 с.
13. Петко І.В., Бурмістенков О.П., Біла Т.Я., Скиба М.Є. Електропобутова техніка: підручник для студентів вищих навчальних закладів/ І.В. Петко,

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		73

О.П.Бурмістенков, Т.Я.Біла, М.Є.Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.

13. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу „Побутові машини та прилади. Воронін Г.Ф., Коротич О.О. Хмельницький. ТУП. 2000. - 35с.

14. Електропобутова техніка. Ч1. Холодильна побутова техніка та системи кондиціонування: лабораторний практикум для здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ упоряд.: О.О. Коротич, О.С.Поліщук, М.Є. Скиба. Хмельницький: ХНУ, 2021. 221 с.

15. Електронний On-Line на журнал С.О.К. (Сантехника, Отопление, Кондиционирование). Код доступу. http://www.c-o-k.ru/market_news.

16. Планета клімату. системи кондиціонування та вентиляції. Каталог продукції. Нові модульні теплові насоси та холодильні машини від компанії mitsubishi electric. Код доступу: <https://planetaklimata.com.ua/ua/news/?msg=3198&curPos=>

17. В.В. Ковтун, В.С. Павлов, О.А. Дорофеев. Опір матеріалів. Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2002. -280 с.

18. Зенкін А.С. Допуски и посадки в машинобудуванні: Довідник. – 2-ге вид. /А.С. Зенкін, І.В. Петко. – К.: Техніка, 1984.

19. Кваліфікаційна робота магістра: методичні вказівки для студентів спеціальностей «Галузеве машинобудування», «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» /М.Є.Скиба, О.С.Поліщук, С.Л.Горященко, П.С.Майдан, В.І.Онофрійчук. – Хмельницький: ХНУ, 2018. -33 с.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Додатки

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		75