

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ**

**КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

**Кваліфікаційна робота**  
перший бакалаврський  
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз роботи і шляхи підвищення ефективності промислового  
чиллера з повітряним конденсатором

Виконав: студент 5 курсу, групи ТЕ-17-1бз  
спеціальності теплоенергетика  
(код і назва спеціальності)  
освітньої програми теплоенергетика  
(код і назва освітньої програми)  
спеціалізації

---

(код і назва спеціалізації)

Мельник Олександр Олександрович  
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Радченко В.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис,  
ініціали та прізвище)

Рецензент проф., д.т.н. Чейлитко А.О.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис,  
ініціали та прізвище)

Запоріжжя  
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Рівень вищої освіти бакалаврський

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код та назва)

Освітня програма Теплоенергетика

(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Мельник Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Аналіз роботи і шляхи підвищення ефективності промислового чиллера з повітряним конденсатором керівник роботи Радченко Віталій Васильович к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «17» січня 2022 року № 91-с

Строк подання студентом роботи: 01 травня 2022 р.

2. Вихідні дані до роботи: Кінцева температура охолоджувальної рідини, початкова температура рідини, об'ємна витрата охолоджувальної рідини.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Етапи енергетичного аудиту підприємства. Розрахунок потужності чиллера. Зниження уставки температури конденсації до мінімального паспортного значення. Аналіз якості регулювання чиллерів. Впровадження системи енергетичного менеджменту. Основні шкідливі і небезпечні фактори при експлуатації чиллерів. Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів. Розрахунок захисного занулення.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Переваги чиллерів. Витрата холодоносія по отриманим значенням уставки частотного регулювання. Регресійний аналіз споживання електроенергії в цеху при різних уставках тиску конденсації. Аналіз роботи і шляхи підвищення ефективності промислового чиллера з

повітряним конденсатором. Залежність добового споживання у п'ятому цеху в 2020 р. (без врахування липня) від зовнішньої температури

#### 5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<b>1</b>	<b>Радченко В.В.</b>		
<b>2</b>	<b>Радченко В.В.</b>		
<b>3</b>	<b>Радченко В.В.</b>		

Дата видачі завдання 02 травня 2022 р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<b>1</b>	<b>Аудит системи виробництва, розподілу та споживання технологічного холоду</b>		
<b>2</b>	<b>Аналіз роботи і шляхи підвищення ефективності промислового чиллера з повітряним конденсатором</b>		
<b>3</b>	<b>Охорона праці та техногенна безпека</b>		
<b>4</b>	<b>Оформлення пояснювальної записки</b>		
<b>5</b>	<b>Підготовка презентації</b>		

Студент \_\_\_\_\_

Мельник О.О.

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_

Радченко В.В.

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

Чижев С.Є.

## РЕФЕРАТ

Мельник О.О. Аналіз роботи і шляхи підвищення ефективності промислового чиллера з повітряним конденсатором

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник к.т.н., доц. Радченко В.В. Запорізький національний університет. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2022.

Як відомо, в побутовій сфері ми постійно стикаємося з чиллерами, причому навіть не здогадуємося про це. У великих офісних приміщеннях, лабораторіях, торгових центрах і, звичайно ж, на масштабних підприємствах не вигідно встановлювати окремі кондиціонери. Цей варіант досить витратний і, варто зауважити, малоефективний. Якщо мова йде про охолодження великих площ, то єдино правильним вибором стануть промислові чиллери.

Їх завданням є зниження температури повітря або води. У внутрішніх приміщеннях вони представлені спеціальними установками, які називаються фанкойлами. Зовні агрегати схожі на класичні блоки спліт-систем. А ось принцип дії у цієї техніки зовсім інший. Адже замість фреону в трубах циркулює повітря або вода. При цьому зручність і комфорт використання таких систем знаходиться на більш високому рівні, ніж у інших сучасних кліматичних приладів. Унікальність агрегатів полягає у тому, що працювати вони можуть як самостійно, так і в загальній системі кондиціонування. Принцип роботи - зниження температури за рахунок поглинання надлишку тепла. Вартість приладів і подальшої установки цілком доступна.

Ключові слова: холодопостачання, теплова схема, тепловий насос, теплообмінний апарат, охолодження, вентиляція

## ЗМІСТ

1 АУДИТ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА, РОЗПОДІЛУ ТА СПОЖИВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХОЛОДУ .....	7
1.1 Етапи енергетичного аудиту підприємства .....	7
1.2 Чиллер та тепловий насос .....	11
1.3 Розрахунок потужності чиллера .....	17
1.4 Зниження уставки температури конденсації до мінімального паспортного значення.....	20
2 АНАЛІЗ РОБОТИ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ЧИЛЛЕРА З ПОВІТРЯНИМ КОНДЕНСАТОРОМ.....	26
2.1 Аналіз якості регулювання чиллерів .....	26
2.2 Впровадження системи енергетичного менеджменту .....	39
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	48
3.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори при експлуатації чиллерів .....	48
3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів .....	49
3.3 Електробезпека .....	50
3.4 Виробнича санітарія .....	52
3.5 Засоби індивідуального захисту.....	54
3.6 Заходи щодо пожежної безпеки .....	55
3.7 Розрахунок захисного занулення .....	57
ВИСНОВОК.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

## ВСТУП

Даний дипломний проект є результатом виконання третього (останнього) етапу роботи «Аудит системи виробництва, розподілу та споживання технологічного холоду фармакологічного заводу і відповідає технічному завданню. На цьому етапі вирішувались задача фінансової оцінки заходів, що були запропоновані по результатам виконання перших двох етапів і узгоджені під час проведення презентації першого дипломний проекту.

До заходів, що будуть мати суттєвий вплив на енергоспоживання системи холодопостачання заводу і мають прийнятні фінансові показники, відносяться:

- Зниження уставки температури конденсації до мінімального паспортного значення (економію по підприємству можна оцінити близько 1,8 млн грн на рік). Цей захід не потребує капітальних витрат.
- Впровадження каскадного регулювання на першій ділянці цеху №5, яке дозволить зекономити близько 548,1 тис. грн. Строк окупності менше, ніж півроку.
- Зменшення енергоспоживання за рахунок налагодження роботи машин шляхом технічного обслуговування. Чиста економія складе близько 550 тис. грн на рік.
- Важливим заходом ми також вважаємо удосконалення системи енергоменеджменту «Фармакологічного заводу» сертифіковано як підприємство, де впроваджено систему енергетичного менеджменту ISO 50001, але методи, передбачені цією системою, використовуються тільки в мінімальному розмірі, і функціонування системи ЕМ потребує розвинення. Нами дано рекомендації по удосконаленню цієї системи. Світовий досвід свідчить, що практичне використання системи енергоменеджменту електричної енергії дає не менше 5% економії споживання.

# **1 АУДИТ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА, РОЗПОДІЛУ ТА СПОЖИВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХОЛОДУ**

## **1.1 Етапи енергетичного аудиту підприємства**

I етап. Одержання інформації про об'єкт енергоаудиту.

Збір первинних даних про витрати палива, води й електроенергії за попередній і поточний роки. Це дає можливість судити про напрямки у використанні палива й енергії, визначити тенденції у використанні паливно-енергетичних ресурсів, що є базою для визначення техніко-економічних показників об'єкту в цілому.

Аналіз структури енергоспоживання. Це дозволяє визначити структуру енерговикористання на об'єкті. Аналіз структури дозволяє сформулювати стратегію енерговикористання на перспективу.

Аналіз структури витрат на енергію.

Аналіз частки витрат різних видів енергії в загальних витратах дозволяє намітити попередній напрямок енергетичного аудиту, звернувши увагу на види енергії з найбільшою часткою витрат.

Визначення витрати енергоносіїв на одиницю продукції, що випускається підприємством та окремими підрозділами. Це дозволяє оцінити питому витрату енергії основного й допоміжного виробництв на одиницю продукції, що випускається, у порівнянні з аналогічними передовими виробництвами, дозволяє оцінити частку вартості енергоносіїв у собівартості продукції.

II етап. Вивчення паливно-енергетичних потоків на об'єкті в цілому та в окремих підрозділах.

Вивчення технологічної схеми основного виробництва.

До складу схеми входить послідовність окремих технологічних операцій, їх взаємозв'язок для одержання основної й допоміжної продукції. Схема необхідна для подальшого обліку енергії та оцінки правильності прийнятих технологічних операцій.

Складання схеми споживання енергетичних ресурсів об'єктом.

На технологічну схему наносяться місця споживання й передачі паливно-енергетичних ресурсів.

Складання карти використання енергетичних ресурсів.

Карта використання енергетичних ресурсів являє собою нанесений на план об'єкта у відповідному масштабі рівень споживання різних видів енергії окремими підрозділами. Це дозволяє оцінити транспортні потоки різних видів енергії й визначити найбільш енергоємні підрозділи.

Складання балансу підприємства з окремих видів енергоресурсів. Баланс з окремих енергоресурсів об'єкту дозволяє в цілому оцінити ефективність використання різних енергоносіїв, звернути увагу на окремі споживачі енергії для поглибленого їх дослідження.

Складання паливно-енергетичного балансу підприємства. Паливно-енергетичний баланс об'єкту є основою для оцінки правильності вибору енергоносіїв та прогнозу оцінки їх споживання.

Виявлення найенергоємніших споживачів і збирання даних по них. Визначення найенергоємніших споживачів об'єкту, для яких встановлюються вихідні дані каталожного характеру, схеми енерговикористання, а також визначаються за допомогою відповідних вимірювань режимні параметри їх роботи для подальшої оцінки ефективності використання енергоносіїв.

Визначення питомих норм споживання енергії окремими споживачами. Питомі норми споживання енергії окремими споживачами і об'єкту в цілому дають можливість порівняння з аналогічними нормами високопродуктивних виробництв, а також виявити окремих споживачів з низькими нормами для подальшого обстеження.

Складання енергетичного балансу для окремих енергоємних споживачів. Енергетичний баланс окремих енергоємних споживачів дозволяє оцінити ефективність використання різних видів енергії, виявити ділянки її нераціонального використання, намітити шляхи економії.



III етап. Аналіз ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів об'єктом.

Аналіз ефективності використання окремих технологічних процесів. На підставі аналізу роблять висновок про правильність прийнятих в умовах діючого об'єкту окремих технологічних рішень або про заміну деяких з них на прогресивні, при цьому визначаються витрати на зміну технології та обґрунтовується висновок про доцільність інвестицій.

Аналіз ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів підрозділами об'єкту. На підставі аналізу робиться висновок про доцільність використання того або іншого енергоносія на різних рівнях технологічного процесу в підрозділах об'єкту. У випадку заміни енергоносія наводиться відповідне техніко-економічне обґрунтування. Особлива увага повинна бути приділена питанням транспортування енергоносіїв в умовах об'єкту. Це стосується в першу чергу мережі теплопостачання й пневматичної мережі. Також повинна бути приділена увага специфічним питанням, наприклад, обґрунтування використання того або іншого тарифу на електроенергію в умовах об'єкту.

Аналіз енерговикористання окремими споживачами. Цей підрозділ має значний обсяг, тому більшість організацій, які проводять енергетичний аудит, обмежуються лише розглядом даного питання. Як наслідок, воно розглядається не всебічно, а за обмеженого часу енергоаудиту приймаються до розгляду лише ті споживачі енергії, які дають очевидний ефект.

Визначення технологічно припустимих втрат палива й енергії.

Визначення пріоритетів для поглибленого енергетичного аудиту. На окремих об'єктах мають місце специфічні енергоспоживачі, ефективність роботи яких складно визначити без додаткового енергетичного аудиту. Додатковий енергетичний аудит включає спеціальні обстеження з використанням спеціального вимірювального обладнання або проведення наукових досліджень. До специфічних енергоспоживачів, належать холодильні, компресорні установки, електричні печі нагрівання й т. ін.

Дослідницькі розробки проводяться до вирішення специфічних питань, вказаних у договорі на енергетичний аудит.

IV етап. Поглиблений енергетичний аудит окремих технологічних процесів і енергоспоживачів.

Проведення додаткових вимірювань проміжних параметрів і визначення робочих режимів.

Виявлення ефективності роботи споживачів.

Вирішення специфічних питань (за домовленістю з керівництвом).

V етап. Підведення підсумків енергетичного аудиту.

Розроблення енергозберігаючих заходів.

Техніко-економічний аналіз ефективності впровадження заходів.

Порівняльний аналіз отриманих результатів.

Вибір нових пріоритетів і постановка завдань на подальше зниження енергоемності продукції та споживання енергоресурсів.

Складання звіту з енергетичного аудиту. Існує безліч чинників, які визначають важливість і доцільність проведення енергетичного обстеження і пояснюють, чому енергокористувач може довіряти його результатам. Найважливішим аспектом проведення енергоаудиту є додаткова вигода, оскільки дослідження проводиться кваліфікованим фахівцем, а не випадковим працівником компанії. Найчастіше більшою довірою у керівників користуються рекомендації професійного консультанта, а не поради персоналу. Енергокористувач отримує звіт з енергоаудиту й може самостійно вирішувати такі проблеми: – визначати, як споживається енергія всередині об'єкту, формулювати пріоритети в переліку енергозберігаючих рекомендацій. – порівнювати енергоспоживання на даному об'єкті з величинами споживання енергії на інших аналогічних об'єктах, визначаючи в такий спосіб об'єкт як «поганий» або «добрий» споживач енергії. – показувати необхідність інвестицій для придбання й освоєння нового, економічнішого обладнання. – обґрунтовувати запропонований проект, який не був би затверджений без підтримки зовнішнього консультанта.

## 1.2 Чиллер та тепловий насос

Одним із найбільш затребуваних на сьогоднішній день видів техніки для подачі тепла, здатних працювати як у режимі охолодження, так і в режимі нагрівання, є чилер – тепловий насос. Ця назва носить холодильна установка, здатна перемикатися між режимами роботи, залежно від того, що потрібно приміщенню: охолодження або опалення.

Тепловий насос — це пристрій для перенесення теплової енергії від джерела до споживача. На відміну від мимовільної передачі тепла, яка завжди походить від гарячого тіла до холодного, тепловий насос переносить тепло у зворотному напрямку. Для роботи тепловому насосу потрібне зовнішнє джерело енергії.

Приблизно 75% опалювальної енергії можна зібрати безкоштовно із природи: ґрунту, води, повітря й тільки 25% енергії необхідно затратити для роботи самого теплового насоса.

Економія:

- висока енергетична ефективність: 2/3 енергії отримуємо із землі, води або повітря
- ефективний тепловий насос може скоротити затрати на опалення до 75%
- мінімальні експлуатаційні витрати в порівнянні з іншими опалювальними системами

Комфорт

- комбіноване виробництво тепла та холоду в одній установці
- повністю автоматична робота системи, яка не потребує постійної присутності людини
- малі габарити та вага

Надійність - тривалий термін служби без капітального ремонту (20...30 років).

Захист навколишнього середовища - екологічно чиста технологія та відсутні викиди в атмосферу шкідливих речовин.

Джерела тепла:

1) Ґрунт – це найбільш універсальне джерело розсіяного тепла. На глибині 5-7 м температура практично постійна протягом всього року. Для більшої території України вона складає 8-12°C. Використовується два види теплообмінників: ґрунтовий колектор та ґрунтовий зонд.

2) Вода. Джерелом тепла в даному типі теплових насосів можуть бути поверхневі (ріки, озера) або ґрунтові води (свердловини), а також скидна вода технологічних установок. Самі насоси майже не відрізняються від тих, які працюють на земляному контурі. Але завдяки вищій температурі теплоносія взимку річна ефективність застосування пристроїв типу «вода-вода» виявляється найвищою.

3) Повітря. По універсальності вживання в вітчизняних умовах теплонасосні системи повітря-вода займають поки що друге місце. І сам повітряний тепловий насос дешевший, і труб (з незмінними земляними роботами) не вимагається. Недолік в теплонасосі повітря-вода один, але істотний: з морозного повітря багато тепла не відбереш. Стабільно, хоча і із зменшеною потужністю, дані енергозберігаючі технології працюють до мінус 15-20 °С, а потім потрібно вмикати інший теплогенератор.

Більшість сучасних чилерів можуть порадувати своїх користувачів не лише теплим повітрям чи водою, а й такими показниками якості:

- високою ефективністю роботи;
- зручністю налаштування та контролю роботи;
- швидкою окупністю;
- доступною вартістю монтажу та обслуговування обладнання.

Тепловий насос типу чиллер працює за принципом компресійного охолодження, як і більшість обладнання подібного напрямку. Зазвичай цей агрегат призначений для того, щоб конденсувати холодоагент, охолодити його та знизити тиск у системі. Залежно від конструкції чиллера, він може

або спрямовувати до приміщення холод, або тепло – все залежить від спрямованості циклу роботи та потреб користувача.

Залежно від цього, з урахуванням чого працює тепловий агрегат, виділяють кілька його видів. Який саме вибрати - залежить від ваших потреб: якщо ви сумніваєтеся в тому, що той чи інший варіант обладнання підходить для ваших потреб, обов'язково отримайте консультацію перед встановленням теплового насоса.

Найбільш популярними на сьогоднішній день є три типи теплових насосів:

повітря-вода. Такий варіант чиллера ідеально підійде для роботи за температури від  $+35^{\circ}\text{C}$  до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Зовнішній блок теплового обладнання ставиться на відкритому повітрі або у приміщенні, внутрішні розставляються у будівлі за попередньо створеною схемою. Модель «повітря-вода» підходить для опалення, кондиціонерів як елемент системи підготовки води для лазні, сауни;

соляний розчин-вода. Подібна теплова установка – ефективне рішення, якщо потрібне приготування великої кількості гарячої або теплої води (наприклад, для обслуговування басейну). Діапазон температури теплоносія – від  $-5$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ ;

вода-вода. Системи подібного роду зазвичай використовують як джерело тепла ґрунтову воду. Теплові схеми такого формату ставляться для опалення чи пасивного охолодження. Обладнання споживає мало енергії за цикл, але потребує ретельного аналізу місця встановлення та пошуку ґрунтових вод у достатньому обсязі.

Крім представленої класифікації існує ще одна, в якій чилери поділяються на теплові машини сорбційні та струменеві, теплоелектричні насоси, парокомпресійні установки тощо.

Вибір найбільш відповідного варіанта теплової системи повинен ґрунтуватися на тому, для чого вам потрібен чиллер, які завдання він вирішуватиме, і наскільки великі обсяги повітря або води потрібно

охолоджувати або нагрівати. Розрахунок може виконати досвідчений спеціаліст: зверніться за консультацією до нашої компанії, якщо вам потрібна допомога у виборі теплової установки.

Тепловий насос є замкнутою системою, де тепло може переміщатися в прямому або зворотному напрямку. Який напрямок обраний, залежить від потреб користувача: цикли опалення та охолодження ідентичні всім, крім порядку, в якому холодоагент під тиском проходить всі елементи системи. Як джерело живлення виступає підключення обладнання до електромережі.

Сам собою чиллер для подачі теплої води чи повітря складається з кількох основних частин. Головними елементами є конденсатор, компресор та випарник. Допоміжний – дросельний клапан. Як холодоагент у переважній кількості систем використовується фреон.

Схема роботи описана нижче. Холодоагент під тиском циркулює в замкнутому контурі, переміщаючись між компресором і випарником.

У зовнішньому теплообміннику холодоагент випаровується при низькій температурі та тиску. У цей час він охолоджується та забирає тепло. Компресор теплового насоса стискає холодоагент, передаючи його на внутрішній блок. Холодоагент, проходячи через сопло розширювача, конденсується на стінках, передаючи свою температуру конденсатору. Далі знову рідкий холодоагент знову потрапляє в теплообмінник і починає випаровуватися. Цикл переміщення холодоагенту насосом та зміни тиску повторюється стільки разів, скільки необхідно для отримання потрібної температури води або зовнішнього середовища.

Теплові насоси використовують у різних галузях промисловості. Найчастіше їх можна зустріти на наступних підприємствах:

- харчові, де чиллери купуються для організації теплих та холодних цехів;
- машинобудівні заводи;
- хімічна промисловість;
- фармацевтичне провадження;

- поліграфічні послуги.

Скрізь, де потрібна тепла чи охолоджена вода чи повітря у великих кількостях, можна використовувати чилери. Це універсальні агрегати високої ефективності та надійності.

Теплові насоси – це дуже потрібні системи, які встановлюються фактично на всіх виробничих підприємствах. Переваги чилерів значні, а показники ефективності перевершують багато інших типів устаткування.

Найбільш показовими перевагами чиллерів називають:

- довговічність. У середньому агрегати такого плану служать від 20 років, що дозволяє прогнозувати витрати на системи опалення та їх обслуговування у довготривалому періоді;
- економічність під час використання. Вартість експлуатації подібного агрегату приблизно співставна з роботою на газовому тепловому обладнанні, яке вважається одним із найдешевших варіантів;
- безпеку та екологічність усієї теплової схеми, за винятком особливостей холодоагенту. Але, враховуючи прагнення передових компаній до підвищення екологічності виробництва, багато фірм пропонують чилери на основі безпечних для природи холодоагентів. Вони не такі ефективні, як класика, але стабільні та надійні;
- можливість використання теплового насоса і для обігріву, і отримання тепла. При цьому для цієї мети не потрібне монтаж додаткового обладнання або ускладнення системи кондиціонування;
- порівняно низький рівень шуму під час виробництва тепла. Хоча в більшості випадків чилери ставляться на вулиці, вони можуть експлуатуватися і в умовах приміщення, не заважаючи при цьому роботі підприємства. Такі рішення зазвичай притаманні виробничих цехів;
- проста установка та подальше обслуговування всієї теплової схеми. Хоча техніку бажано монтувати під керівництвом спеціаліста, в порівнянні з іншими системами опалення, установка чиллера не така складна;

- нескладна схема управління та налаштування. Параметри вироблення теплової енергії або роботи насоса можна вказати на програмованих контролерах, які підтримуватимуть необхідні показники самостійно. У сучасних системах опалення також використовують віддалений контроль за роботою обладнання. Техніка передає в мережу інформацію про температуру, ефективність роботи, час експлуатації, виявлені помилки та інші дані.

Промислові чиллери використовуються там, де потрібно швидко і якісно охолодити будь-який носій. Установка дозволяє зробити це максимально ефективно, причому з мінімальними енерговитратами. Саме тому застосування таких пристроїв в промисловості вже є практично першим правилом економичності. Варто звернути увагу на те, що є такі процеси виробництва, яким необхідна охолоджена рідина. Наприклад, при виготовленні пластмаси. Під час їх роботи дуже важливо дотримуватися певних температурних умов. І ось саме в таких ситуаціях допоможе промисловий чиллер для охолодження води.

Як правило, він встановлюється на морських судах, в шахтах, птахофабриках. Найбільш часто прилади використовуються в транспортній, хімічній, атомній, металургійній та іншій промисловості. Завдяки тому, що обслуговування чілерів не витратний, цю техніку встановлюють в готелях, ресторанах, великих торгових центрах.

Чиллер для промислового холоду має ряд переваг. При ознайомленні з його критеріями кожна людина зможе зрозуміти, наскільки ефективна ця установка. Отже, перерахуємо деякі переваги чілерів. Перш за все, це економічність. Як ми вже говорили вище, при роботі пристрою енерговитрати будуть мінімальними. Також варто звернути увагу на високу надійність системи. Якщо вчасно проводити обслуговування, то така установка здатна пропрацювати без поломок досить тривалий термін. Компактність і висока функціональність - головні переваги чілерів. Але при



всіх перевагах, є один суттєвий недолік в приладах такого типу - відсутність мобільності.

За своїми параметрами промислові чиллери перевершують навіть поширені сьогодні спліт-системи, оскільки володіють більш якісними характеристиками на всіх етапах установки і експлуатації. Цей прилад являє собою пристрій, що складається з насоса і ємності, де безпосередньо знаходиться охолоджувач. Все чиллери оснащені температурними датчиками. Управління приладами здійснюється за рахунок програм. Постійного контролю не потрібно.

Основна установка розташовується, як правило, на даху будівлі. Тому безпека перебуває на високому рівні. Для розведення застосовуються звичайні труби і арматура. Таке рішення робить чиллери набагато більш вигідними при установці. Завдяки високій потужності, навіть дуже просторе приміщення або будинок можуть обслуговуватися одним чиллером.

Одним з найбільш важливих питань для компаній і приватних осіб, які експлуатують пристрої, є ремонт. Як і будь-яке інше подібне обладнання, чиллери теж потрібно обслуговувати. Однак на відміну від кондиціонерів і спліт-систем, ця техніка набагато складніша. Тому звичайний майстер може з нею не впоратися.

Ремонт промислових чиллерів проводиться, як правило, на місці монтажу. А причина полягає в тому, що демонтувати всю установку часом просто неможливо. Особливо якщо мова йде про великому будинку, у якого охолоджувач розташований на даху. Фахівці приїжджають на місце і проводять технічну діагностику. Після цього починається ремонт, а необхідні деталі доставляються на місце роботи.

### **1.3 Розрахунок потужності чиллера**

Холодопродуктивність будь-якої установки охолодження рідини (чиллера) сильно залежить від температури, до якої необхідно охолодити рідину. Чим вище кінцева температура рідини, тим вище

холодопродуктивність чиллера. Це обумовлено тим, що фреон (холодоагент) здатний відбирати більше тепла у рідини, при більш високій температурі кипіння.

Для розрахунку необхідної холодопродуктивності чиллера потрібні наступні параметри:

- об'ємна витрата охолоджувальної рідини,  $G$  (м<sup>3</sup>/год);
- необхідна температура (кінцева температура) охолоджувальної рідини,  $T_k$  (°C);
- температура вхідної (початкова температура) рідини,  $T_n$  (°C).

Розрахунок необхідної холодопродуктивності чиллера для охолодження води

$$Q \text{ (кВт)} = G (T_n - T_k) \cdot 1,163 \quad (1)$$

Розрахунок необхідної холодопродуктивності чиллера для охолодження будь-якої рідини

$$Q \text{ (кВт)} = G \cdot (T_n - T_k) \cdot C_p \cdot \rho / 3600 \quad (2)$$

де  $C_p$  – питома теплоємність охолоджувальної рідини, кДж/(кг·°C),

$\rho$  – щільність охолоджувальної рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Потрібно охолоджувати воду з температури  $T_n = +12$  °C до температури  $T_k = +7$  °C. Витрата води дорівнює  $G=3000$  л/год (3 м<sup>3</sup>/год).

Згідно формули (1) необхідна холодопродуктивність чиллера, кВт

$$Q_o = G \times (T_n - T_k) \times 1,163 = 3 \times (12 - 7) \times 1,163 = 17,45$$

Потрібно охолоджувати 30% водний розчин пропіленгліколю з температури  $T_n = +0$  °C до температури  $T_k = -5$  °C. Витрата розчину дорівнює  $G= 5\ 000$  л/год (5 м<sup>3</sup>/год).

Згідно формули (2) необхідна холодопродуктивність чиллера

$$Q \text{ (кВт)} = 5 \cdot (0 - (-5)) \cdot 3,85 \cdot 1038 / 3600 = 27,75 \text{ кВт},$$

де  $C_p = 3,85 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$  – питома теплоємність 30% водного розчину пропіленгліколю;

$\rho = 1038 \text{ кг/м}^3$  – щільність 30% водного розчину пропіленгліколю.

Є ємність (бак) об'ємом  $V=6000$  л, в яку заливають воду з температурою  $T_n = +25^\circ\text{C}$  протягом 4 годин необхідно охолодити воду до температури  $T_k = +10^\circ\text{C}$ .

Визначаємо потрібну потужність за формулою (1).

- перепад температур охолоджувальної рідини  $\Delta T_{ж} = T_n - T_k = 25 - 10 = 15^\circ\text{C}$ ;
- витрата води  $G = V/4$  години  $= 6/4 = 1,5 \text{ м}^3/\text{год}$
- холодопродуктивність

$$Q \text{ (кВт)} = G \cdot (T_n - T_k) \cdot 1,163 = 1,5 \cdot 15 \cdot 1,163 = 26,2 \text{ кВт}.$$

Для екструдера або термопластавтомата (ТПА). Потрібно охолодження екструдера (термопластавтомата, міксеру гарячого змішування) системою оборотного водопостачання. В якості холодоносія використовується вода з температурою  $+15^\circ\text{C}$ . Витрата ПВХ становить  $150 \text{ кг/год}$ . Охолодження з ПВХ  $+180^\circ\text{C}$  до  $+40^\circ\text{C}$ .

Необхідна холодопродуктивність:

$$Q \text{ (кВт)} = (m \text{ (кг/год)} \times C_p \text{ (Дж/кг}\cdot\text{°C)} \cdot T) / 3600;$$

$$Q \text{ (кВт)} = (150 \text{ (кг/год)} \times 2,14 \text{ (кДж/кг}\cdot\text{°C)} \times 140 \text{ °C}) / 3600 = 12,5 \text{ кВт}.$$

Необхідна холодопродуктивність чиллера дорівнює  $12,5 \text{ кВт}$ .

#### **1.4 Зниження уставки температури конденсації до мінімального паспортного значення**

Одним з найважливіших заходів з енергозбереження в холодильних установках є зниження тиску конденсації до мінімально можливого рівня. Цей практично безвитратний захід може дати суттєву економію електричної енергії, а отже, і грошових витрат.

Наприклад, автор відомої книги [1] пише: «Чим більше збільшується тиск нагнітання, тим більше зростає сила струму, споживана електродвигуном компресора з мережі (розрахунки показують, що приріст тиска нагнітання на величину, еквівалентну підвищенню температури конденсації на 1 К, відповідає зростанню споживаної електроенергії на 3%)».

Величину такої економії можна розрахувати шляхом визначення КОП для різних тисків нагнітання і порівнявши знайдені значення.

На «Фармакологічного заводу» в системі охолодження використовують уставки тиску конденсації, що приводять до температур від 40 °С до 45 °С, в той час як в технічних даних виробника часто вказано, що цю температуру можна понижувати до 32 °С, а в деяких установках до 30 °С.

На наш погляд, нема практичних перешкод для зниження уставки температури конденсації до значення 32 °С. Відзначимо, що для забезпечення необхідного перепаду температур в конденсаторі температура конденсації фреону повинна бути на 12 – 15 °С вища, ніж температура оточуючого повітря. При підвищенні температури зовнішнього повітря автоматично буде зростати температура (і тиск) конденсації. Тому при зниженні уставки температури конденсації економія може бути отримана тільки при зовнішніх температурах нижчих ніж 28 °С (виходячи з того, що існуючі уставки тиску приводять до температури 42 °С і перепаду 14 °С).

В таблиці 1.1 представлено розрахунок річної економії за рахунок зниження уставки температури конденсації з 42 °С до 32 °С на холодильній машині №1 цеху №3. Як бачимо, ця економія складе 75 тис. кВт·год, або 241

тис. грн. Відсоток економії від річних витрат можна оцінити в 18,7%.

Нами проведено вибірку чиллерів, на яких ми проводили заміри при температурі зовнішнього повітря нижче 26 °С і де було зафіксовано температуру конденсації вище 42 °С (тобто ті, де причина високої температури конденсації полягає в завищеній уставці). Ці чиллери наведені в таблиці 1.2.

В цьому списку ми бачимо майже всі потужні машини системи холодопостачання фармакологічного заводу. Щоб не завищити цифру економії, прийmemo що відсоток машин, де можна отримати економію, складе 40%. Також, враховуючі можливі технічні труднощі зі здійсненням чіткого регулювання, прийmemo що реальний процент економії, що можна отримати, буде на 30% менше, ніж розрахований, тобто 13% від річного споживання електричної енергії холодильною машиною. Таким чином, загальна економія складе, тис. кВт·год

$$E_{\text{конд}} = 11200 \cdot 0,13 \cdot 0,4 = 582,4$$

У грошовому виразі це складе 1 820 тис. грн. Цей захід не потребує капітальних витрат.

Таблиця 1.1 – Розрахунок річної економії за рахунок зниження уставки температури конденсації

Показник	Січ нь	Лют ий	Березе нь	Квіте нь	Траве нь	Черве нь	Липе нь	Серпе нь	Вересе нь	Жовт ень	Листо пад	Груде нь	За рік/ сред ня
Температура зовнішнього середовища, $t_{з.с.}$ , °C	-5,4	-4,4	0,5	8,5	15,3	18,5	20,4	19,3	14,5	8,2	1,8	-2,9	
Фактична робота компресора													
$t_{\text{факт конд}}$ , °C	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,50
СОР фактичний	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
Питома витрата енергії компресором, кДж/кг	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04	35,04
Робота компресора при зниженій температурі конденсації													
$t_{\text{сер конд}}$ , °C	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	35	37,5	35	32,5	32,5	32,5	32,5	33,33
Різниця температур	37,9	36,9	32	24	17,2	16,5	17,1	15,7	18	24,3	30,7	35,4	

$t_{\text{сер конд}} - t_{3,с}$														
СОР по $t_{3,с}$ ,	6,07	5,94	5,94	5,94	5,94	5,55	5,1	5,55	5,94	5,94	5,94	5,94	5,82	
Питома витрата енергії компресором, кДж/кг	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,44	31,34	29,44	27,5	27,5	27,5	27,5	28,14	
Економія (з урахуванням навантаження на вентилятори)	20,4 %	20,4 %	20,4%	20,4%	20,4%	15,2%	10,0 %	15,2%	20,4%	20,4%	20,4%	20,4%	18,7%	
Фактична місячна витрата електроенергії, кВт·год	23 400	28 920	31 31 205	45 159	57 326	42 769	66 118	27 308	15 38 622	27 352	15 14 197	15 637	422 013	
Потенційна економія, кВт·год	4 784	5 912	6 379	6 370	9 266	8 771	4 225	10 067	7 895	5 591	2 902	3 197	75 358	
Потенційна економія, тис. грн	15,88	19,63	21,18	21,15	30,76	29,12	14,03	33,42	26,21	18,56	9,64	10,61	250,2	

Таблиця 1.2 – Холодильні машини з завищеною температурою конденсації

Цех дільниця	ХМ
ВКЯ	CLINT CHA/K/ST242-P-NG
ВКЯ	TETRIS W LC 24.2
ДПД ВТТ	Omega V Echos 45.2 LC
ДСтаТЛ (ВС)	Omega V 2001 44.2 LC
Цех №1.1	CIAT LWN 1800 Z №1
Цех №1.1	SEVESO CLIMA 450 №3
Цех №3.1	Omega V Echos 62.2 LC
Цех №3.2	Omega V Echos 62.2 LC
Цех №3.4	TETRIS/ST 3P S -47.6
Цех №4.5	Omega V Echos 27.1 LC №1
Цех №4.5	Omega V Echos 27.1 LC №2
Цех №5.1	Omega V Echos 83.2 LC №2
Цех №5.1	Omega V Echos 83.2 LC №4
Цех №5.1	Omega V Echos 83.2 LC №6
Цех №5.1	Omega V Echos 83.2 LC №8

Для підтвердження розрахункових цифр економії нами було запропоновано провести експеримент, у якому декілька чиллерів будуть працювати на зниженій уставці тиску конденсації. Такий експеримент проводився також для підтвердження того, що це не призведе до аварійних ситуацій.

Персоналом фармакологічного заводу було вибрано для експерименту першу дільницю цеху №5, де протягом 6 діб працювали 2 машини CW 06 і CW 08, причому 3 доби з уставкою 8 бар (відповідно 35,5 °C) і 3 доби з уставкою 7 бар (31,3 °C). Нажаль, вже після закінчення експерименту з'ясувалось, що фактичний тиск конденсації суттєво відрізняється від уставки, тому що він залежить також від встановленого



значення «розбіжності тиску», яке дорівнювало 4 барам ( тобто, фактично тиск міг бути на 3 – 4 бара вищим за уставку). Це в значній мірі знижує цінність отриманих результатів, але навіть при таких умовах ефективність зниження уставки було підтверджено. На рисунку 1.1 зображено регресійний аналіз погодинного споживання електричної енергії від значення градусо-годин за ці 6 діб: точки зеленого кольору відповідають роботі машин при значенні уставки 7 бар, синього кольору – 8 бар. Очевидно, що витрати електричної енергії при уставці 7 бар менші, чисельно це зниження в середньому складає 7,5 %, тобто 1,75% на кожен градус зниження температури, що відповідає уставці тиску конденсації. І хоча це нижче літературних і розрахункових даних відсотку зниження (3 %) і трохи менше, прийнятих нами при розрахунку економії (2 %), але, без сумніву, при зниженні значення «розбіжності тиску» економія буде більшою. Таким чином, можна вважати, що проведений експеримент підтвердив літературні і розрахункові дані.

Відмітимо також, що під час роботи при зниженій уставці не виникло ніяких технічних проблем в роботі холодильних машин.

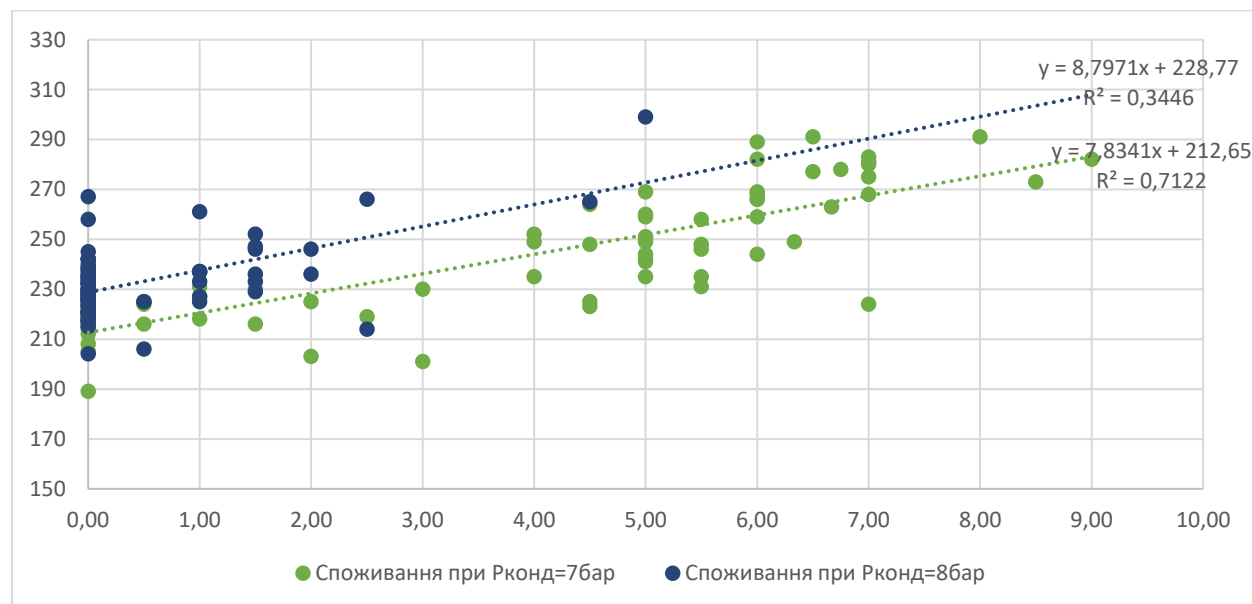


Рисунок 1.1 – Регресійний аналіз споживання електроенергії в цеху при різних уставках тиску конденсації

## 2 АНАЛІЗ РОБОТИ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ЧИЛЛЕРА З ПОВІТРЯНИМ КОНДЕНСАТОРОМ

### 2.1 Аналіз якості регулювання чиллерів

В системі холодопостачання «Фармакогічний завод» використано різні компресори: гвинтові, спіральні, поршневі. Регулювання використовується: двопозиційне (працює-не працює - спіральні компресори); ступеневе; плавне (в багатьох випадках це ступеневе з великою кількістю ступенів) Способи регулювання теж різні:

- За допомогою зовнішніх пристроїв шляхом байпасування стисненого холодоагенту у всмоктувальну лінію (для цього гвинтовий компресор має в своїй конструкції пристрій для регулювання продуктивності: допоміжну байпасну лінію між головним всмоктуючим і нагнітальним патрубком)

- За допомогою внутрішніх пристроїв шляхом пересування золотника для зменшення ефективною довжини гвинта.

Відмітимо, що обидва ці способи регулювання пов'язані з втратами енергії. Це підтверджено замірами, здійсненими нами 1.07 на чилері BlueBox Omega V Echos 83.2 LC №8 в цеху №5. Результати цих замірів представлено у таблиці 2.1 та на рис. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати замірів споживання токів компресором холодильної машини BlueBox Omega V Echos 83.2 LC №8

Завантаження компресора	1 контур	2 контур
25	156	
50	169	
58	171	
67	174	
75	170	
84		170
92		168
100		180

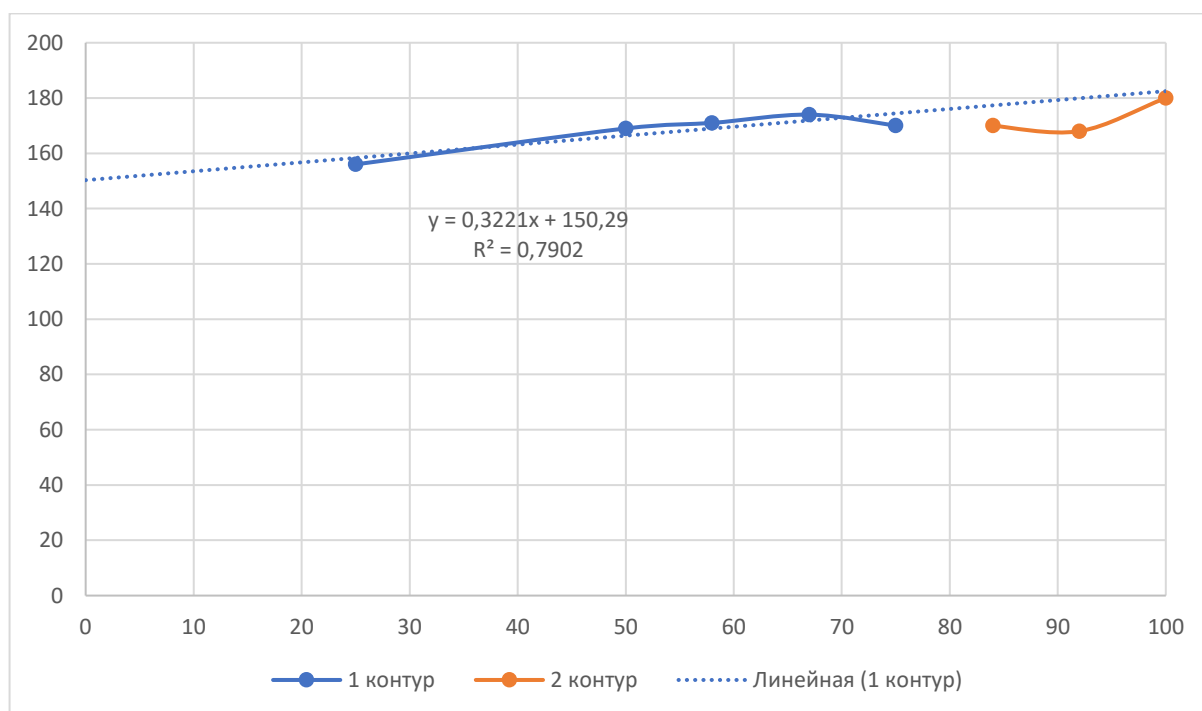


Рисунок 2.1 – Результати замірів споживання токів компресором холодильної машини BlueBox Omega V Echos 83.2 LC №8

Це підтверджує літературні дані, зображені на рис. 2.2

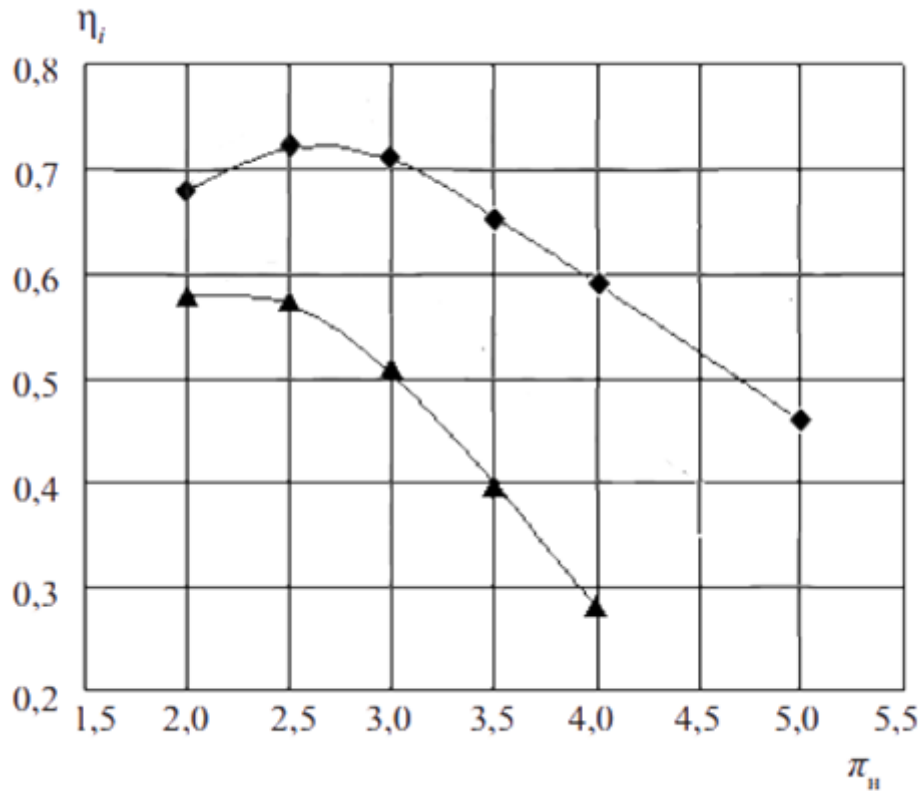


Рисунок 2.2 – Залежність індикаторного ККД гвинтового компресору від зовнішнього ступеня стиснення: ромб –  $V_{ti}/V_t=1,0$  трикутник –  $V_{ti}/V_t = 0,5$

Аналізуючи дані замірів можемо зробити висновок, що при окремому регулюванні кожного компресора неминучі марні втрати енергії. Їх можна запобігти встановленням компресорів з частотним регулюванням (високовитратний захід), або впровадженням каскадного регулювання на тих ділянках, де декілька машин працюють на один колектор.

Для кращого розуміння проблем, що існують на «Фармакогічний завод» з регулюванням, проаналізуємо енергоспоживання першої ділянки цеху № 5 – самої потужної ділянки заводу, загальною холодильною потужністю 2870 кВт.

За даними підприємства в залежності від температури зовнішнього повітря змінюється кількість працюючих машин і відсоток навантаження циркуляційних насосів:

$t_{\text{зов.сер.}} < 15^{\circ}\text{C}$ : Робота циркуляційних насосів контуру споживачів: CW21 = 0%, CW22 = 0%, CW23 = 50%, CW24 = 50%. Відключаються вручну дві ХМ з чотирьох і два насоси.

$t_{\text{зов.сер.}} > 16^{\circ}\text{C}$ : Робота циркуляційних насосів контуру споживачів: CW21 = 75%, CW22 = 70%, CW23 = 82% CW24 = 50%.

Насоси, які забезпечують циркуляцію заохолодженої води через випарники холодильних машин (CW02, CW04, CW06, CW08), працюють з уставкою на частотних регуляторах 80% та підтримують постійну витрату.

Таким чином, при температурі зовнішнього повітря вище  $16^{\circ}\text{C}$  повинні працювати усі чотири холодильні машини. При зниженні температури зовнішнього повітря менше  $15^{\circ}\text{C}$  дві з чотирьох машин повинні відключатись.

Такий алгоритм керування є далеким від досконалості, але, внаслідок ручного керування, і він порушується. Протягом місяця з 11 січня 2021 року по 9 лютого 2021 р.р. в роботі знаходились 3 машини, хоча це був самий холодний період року – середня температура –  $4,9^{\circ}\text{C}$ , максимальна  $+7,6^{\circ}\text{C}$ . Середньодобові витрати електричної енергії в цей період дорівнюють 5469 кВт·год. Порівнявши цю величину з середньодобовими витратами електричної енергії в грудні 2020 р. (4953 кВт·год), коли працювали 2 машини, а середня температура цього періоду була вищою ( $-0,8^{\circ}\text{C}$ ), бачимо, що перевитрати електричної енергії склали більше 500 кВт·год на добу (близько 15 тис. кВт·год за цей місяць).

Нами 01.07 було проведено заміри токів машин цеху №5 (дільниця 1) при різних навантаженнях компресорів. Результати представлено на рисунку 5.1. З цього рисунку видно, що зниження споживання електричної енергії при зниженні холодильного навантаження незначне, тобто компресор споживає майже однакову кількість енергії на всіх режимах. Це підтверджує висновок, що існуюча схема регулювання неекономічна.

До цього додамо, що гранична температура для включення двох машин 15 °С не відповідає точці зламу споживання електричної енергії яка, як видно на рисунку 5.3, дорівнює 9 °С (тобто температура, нижче якої холодна вода витрачається практично тільки на потреби технології). Цей фактор також вказує на необхідність більш досконалого регулювання.

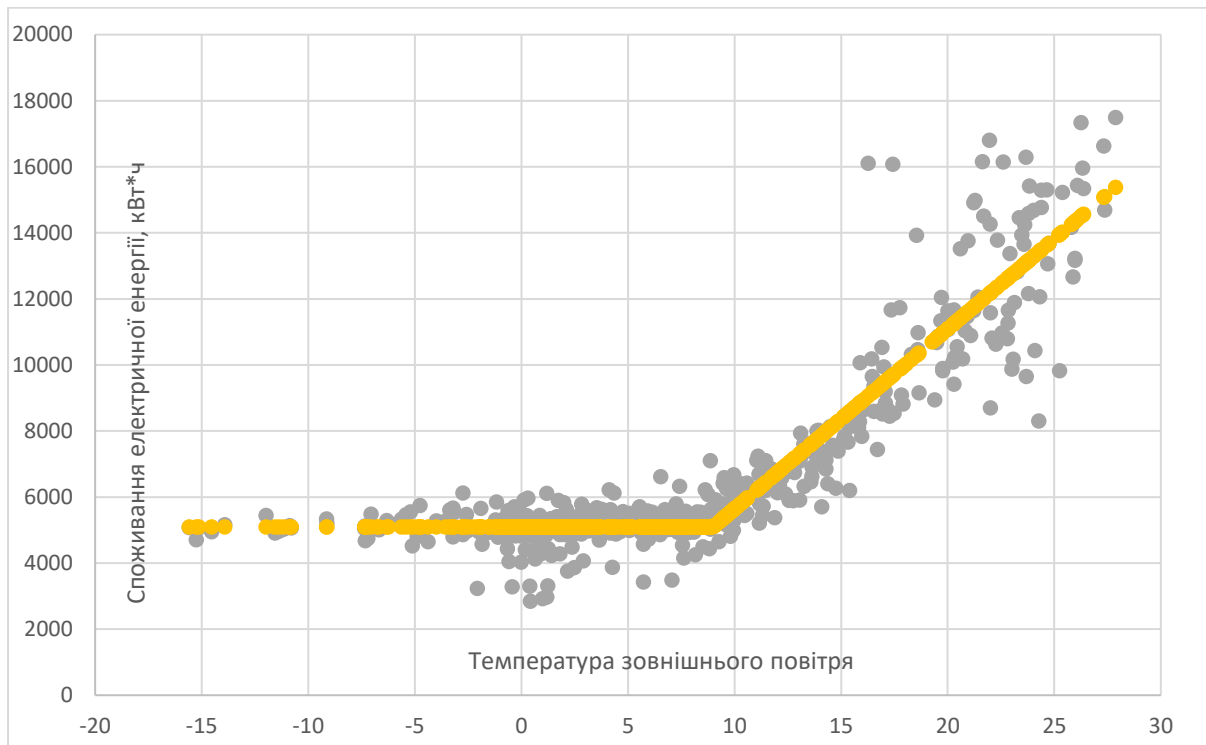


Рисунок 2.3 - Залежність добового споживання у п'ятому цеху в 2020 р. (без врахування липня) від зовнішньої температури

Визначивши температуру, при якій фактично розпочинається кондиціонування приміщень, а саме 9 °С, ми можемо провести регресійний аналіз енергоспоживання різних ділянок. Такий аналіз є базою енергетичного менеджменту згідно ISO 50001.

Для системи холодопостачання регресійний аналіз базується на залежності витрат електричної енергії від числа градусодіб. Числом градусодіб будемо вважати різницю між середньою зовнішньою температурою і базовою температурою початку кондиціонування, яку ми

перед цим визначили: 9 °С.

На рисунку 2.4 представлена така залежність для першої ділянки цеху №5.

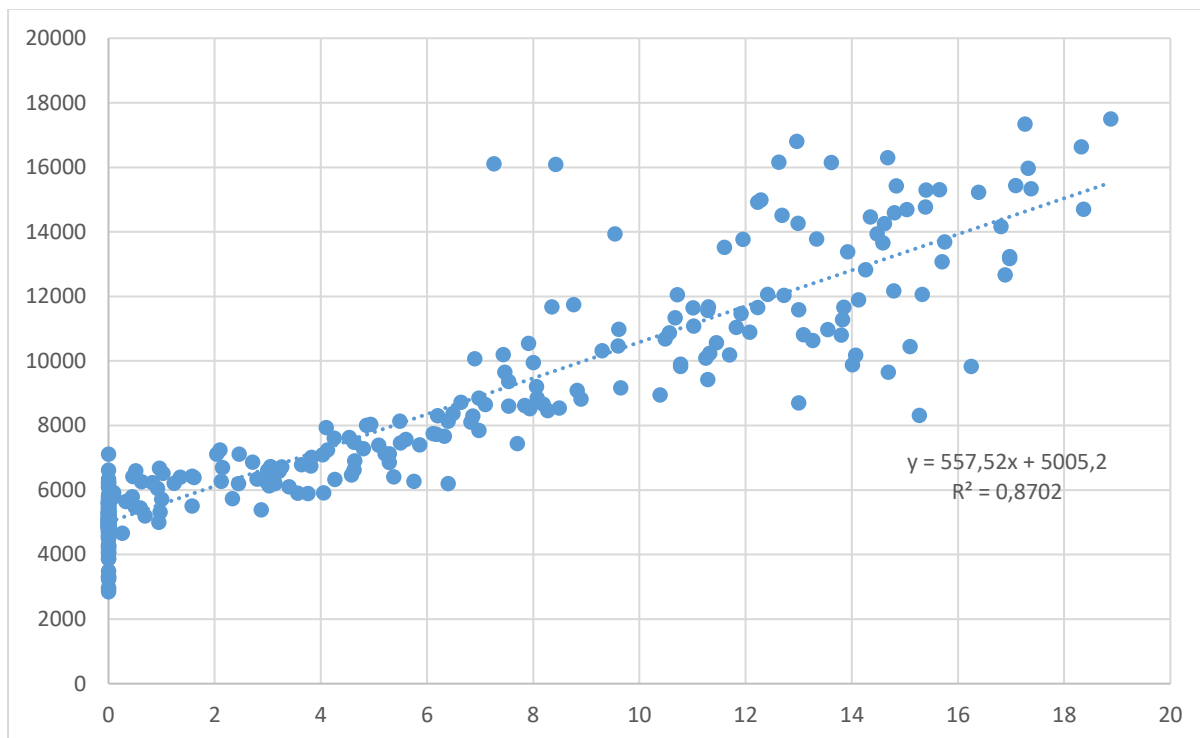


Рисунок 2.4 – Регресійний аналіз споживання електроенергії цеху №5 першої ділянки

Для кращого розуміння регресійного аналізу розглянемо детально отриману залежність

$$y = 557,52x + 5005,2$$

Як відомо, постійна величина показує витрату енергії, що не залежить від змінної величини (в даному випадку змінною є число градусодіб). Таким чином 5005,2 кВт·год витрачається кожен добу незалежно від погодних умов, навіть в самий холодний період. Цю величину доцільно вважати за витрати на технологію, в тому числі на процес дистиляції. Коефіцієнт при змінній величині (557,52) означає

витрати енергії на кожну одиницю градусодіб. Це означає, наприклад, що при середній температурі зовнішнього повітря за добу 24 °C перший доданок рівняння регресії складає, кВт·год

$$557,52 \cdot (24 - 9) = 8362,8$$

Це значення доцільно вважати витратами за добу на кондиціонування, тобто на ту складову витрат, що пов'язана з зовнішньою температурою.

Як відомо, дуже важливим є значення коефіцієнта регресії  $R^2$ . З одного боку, близькість  $R^2$  до 1,0 вказує на те, що змінна величина, а саме градусодоби, вибрана вірно, і дійсно витрата електроенергії лінійно залежить від градусодіб. З другого боку значення  $R^2$  показує якість регулювання. Теоретично, при абсолютно досконалому регулюванні, всі крапки повинні лежати на регресійній лінії, а  $R^2 = 1,0$ . На практиці завжди є відхилення від регресійної лінії, і чим більший розкид точок, тим більші недоліки в регулюванні. Значення  $R^2 = 0,87$  показує, що є достатнє регулювання, але великий розкид точок при значенні градусодіб більшому ніж 12 (тобто при зовнішній температурі  $> 21$  °C) вказує на наявні недоліки регулювання.

Значного зниження витрат енергії можна досягти на цій ділянці при організації каскадного регулювання, тобто коли тільки одна машина (точніше один контур) працює не на повне навантаження, всі інші зі 100% навантаженням. Система автоматики сама буде визначати скільки потрібно тримати машин в роботі: одну, дві, чи три, або чотири. До того ж не буде ситуації, яку ми часто спостерігали, коли декілька машин працюють на неповному завантаженні, тобто з чималими втратами енергії.

Аналіз витрат енергії в залежності від кількості працюючих машин представлено на рисунку 5.7. Тут відкладено на осях зовнішню



температуру, споживання електричної енергії, а також кількість працюючих машин (для відповідності масштабів кількість машин помножено на 10). Неважко побачити, що в ті періоди, коли працюють зайві машини, витрата електричної енергії більша, навіть тоді, коли зовнішня температура низька.



Рисунок 2.5 - Залежність споживання електричної енергії від кількості працюючих машин та температури зовнішнього повітря на першій ділянці цеху №5, з 01.12.20 по 30.03.21

Ще одна проблема, яку виявлено при аналізі системи керування ділянки №1 цеху 5, це невідповідність керування насосами з проектом, що призводить до роботи контуру вихолодженої води за межами проектних параметрів і до перевитрати електричної енергії.

Згідно з проектом частотне регулювання передбачено як на насосах контуру від гребінки до споживачів холоду (CW21, CW22, CW23, CW24), так і на насосах контуру генерації холоду – від холодильних машин до гребінки (CW02, CW04, CW06, CW08). Таким регулюванням

підтримується нерозривність середовища, при цьому витрата води в випарнику за інструкцією виробника передбачена змінною:

Робота циклу генерації в цеху №5 на практиці основана на постійній витраті води через випарник на кожній машині (на всіх частотних регуляторах виставлена незмінна частота 40 Гц). Для підтримки нерозривності середовища частина холодної води по перемичці перетікає з прямого колектору до зворотного.

Нами зняті покази частоти регуляторів на шафах керування всіма насосами 08.06; 01.07 і 02.07. Результати представлено в таблиці 5.2.

Таблиця 2.2 – Витрата холодоносія по отриманим значенням уставки частотного регулювання

Насоси	Паспортна витрата т/год	08.06.2021				01.07.2021				02.07.2021			
		Частота Гц	% від макс.	Фактична витрата, т/год	Струм А	Частота Гц	% від макс.	Фактична витрата, т/год	Струм А	Частота Гц	% від макс.	Фактична витрата, т/год	Струм А
<b>Контур генерації</b>													
CW02	160	40	80	128	13,7	40	80	128	13,6	40	80	128	13,6
CW04	160	40	80	128	13,9	40	80	128	13,9	40	80	128	13,8
CW06	160	40	80	128	13,9	40	80	128	13,9	40	80	128	13,9
CW08	160	40	80	128	13,6	40	80	128	13,7	40	80	128	13,7
<i>Сумма</i>				512				512				512	
<b>Контур споживання</b>													
CW21	160	35	70	112	16,9	25	50	80	10,6	35	70	112	16,9
CW22	160	40	80	128	18,1	20	40	64	8,9	32,7	65,4	104,64	14,3
CW23	160	41	82	131,2	20,8	30	60	96	14,2	41	82	131,2	20,3
CW24	160	25	50	80	10,3	15	30	48	6,14	25	50	80	10,4
<i>Сумма</i>				451,2				288				427,84	
Різниця т/год	60,8				224				84,16				
Доля, %	11,88%				43,75%				16,44%				

Виходячи з того, що витрата води в частотно-регульованому насосі пропорційна частоті обертання двигуна насоса, не важко розрахувати сумарний вхідний потік до прямого колектору і сумарний вихідний потік (див. таблицю 2.2). Таким чином, різниця між вхідним потоком і вихідним становить від 12 % до 44 %. Вся ця зайва заохолоджена вода прямує з прямого колектору в зворотний і, після змішування з водою, що повернулася від споживачів, йде знову на холодильну машину. Внаслідок цього перепад температур води на випарнику часто дорівнює 2 (а інколи не перевищує 1 °С), що менше мінімального за інструкцією.

Це призводить не тільки до перевитрати енергії насосами, які частку води просто «ганяють по колу», але й до безперервної роботи всіх компресорів включених холодильних машин, які при роботі за проектом повинні відключатись при низькому навантаженні. Нами була зафіксована робота компресорів при навантаженні 8 %, що не відповідає паспорту машини.

Нижче наведені графіки регресійного аналізу ще для трьох дільницях підприємства (рисунки 2.3 – 2.5).

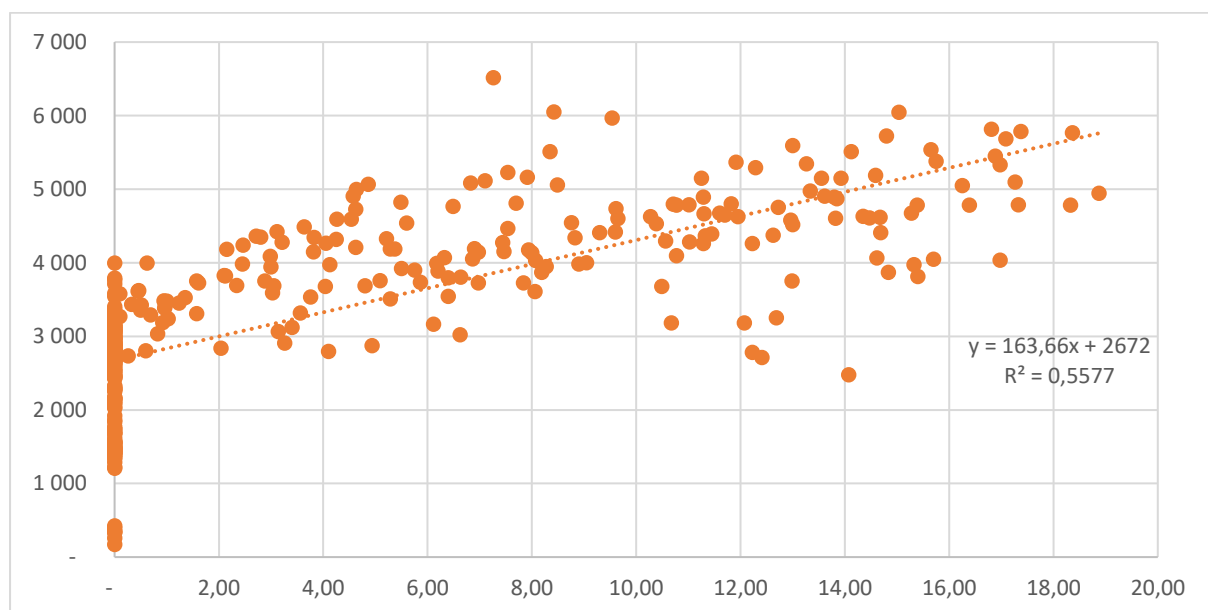


Рисунок 2.6 – Регресійний аналіз споживання електроенергії цеху

## №1 першої дільниці

На рисунку 2.4 представлено регресійний аналіз споживання електроенергії першої дільниці цеху №1. Відмітимо великий розкид точок при всіх значеннях градусодіб, особливо при низькій зовнішній температурі. Значення  $R^2 = 0,5577$ . На цій дільниці великий вплив на розкид точок може оказувати дистиляційна установка, робота якої розглянута нами окремо.

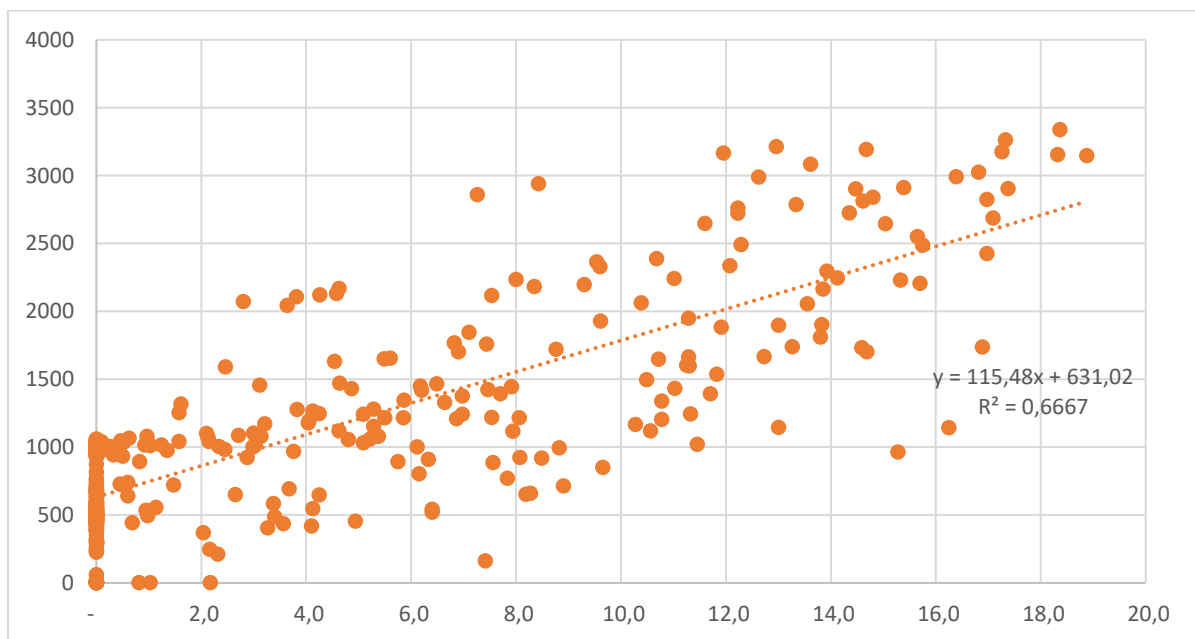


Рисунок 2.7 – Регресійний аналіз споживання електроенергії цеху №3, першої дільниці

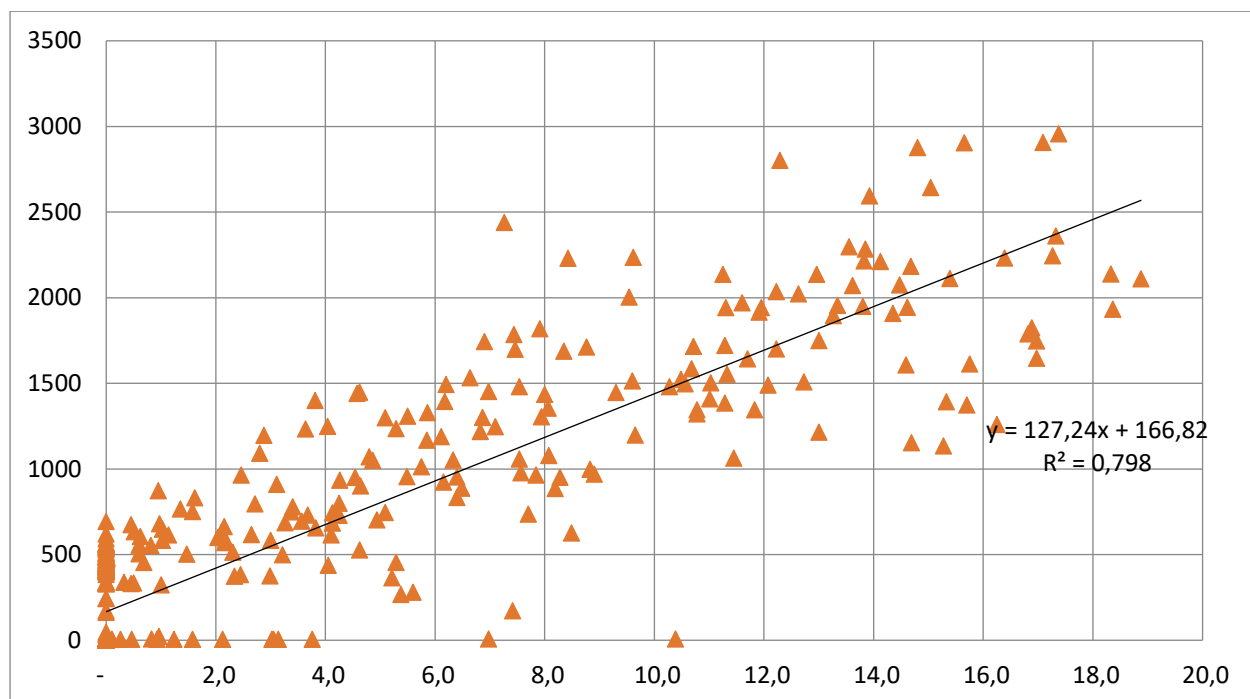


Рисунок 2.8 – Регресійний аналіз споживання електроенергії цеху №3, другої дільниці

На рисунках 2.5, 2.6 представлено регресійний аналіз споживання електроенергії двох дільниць цеху №3. Відмітимо, що на цих дільницях доля змінного навантаження більша, ніж в розглянутих вище цехах №1 і №5. Це вказує на те навантаження цеху №3 в більшій мірі залежно від зовнішньої температури, тобто більша доля навантаження системи кондиціонування.

Як вже вказувалось вище, регресійний аналіз, хоча і використовується в енергоаудиті, в більшій мірі використовується в системах енергетичного менеджменту, якого він є базою. При такому значному споживанню електричної енергії як на «фармакогічний завод» впровадження системи енергоменеджменту є необхідним.

## 2.2 Впровадження системи енергетичного менеджменту

Ефективне використання енергії – це використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення технологічних процесів на виробництві. Процес енергоспоживання на промислових підприємствах можна представити як окремий бізнес-процес з ресурсами на вході (компоненти енергоскладової) і кінцевим продуктом на виході (енергоскладової в собівартості продукції).

Енергетичний менеджмент – це інструмент для досягнення ефективного використання енергоресурсів. Цей термін об'єднує комплекс організаційно-технічних, інформаційно-аналітичних та нормативно-правових заходів, спрямованих на ефективне виробництво і раціональне споживання паливно-енергетичних ресурсів. Головне завдання енергетичного менеджменту – формування збалансованих зв'язок «запит енергії – пропозиція енергії» відповідно до потреб економіки на макро- та мікрорівнях. В основі практичної реалізації функцій енергетичного менеджменту з управління енергетичними потоками лежить інформаційний банк даних про динаміку енергетичних потоків на промисловому підприємстві.

Аналіз зібраної інформації на основі структурних моделей виробництва дає змогу зробити обґрунтовані висновки щодо енерготехнологічної і економічної ефективності роботи промислового підприємства і, якщо це необхідно, ухвалити рішення про модернізацію досліджуваного технологічного процесу. Таким чином, наука управління енергетичними потоками, тобто енергетичного менеджменту, набуває першочергового значення.

*Механізми та принципи впровадження систем енергетичного менеджменту та встановлює вимоги до:*

- 1) Етапів впровадження систем енергетичного менеджменту;

2) Організаційної структури та механізмів впровадження систем енергетичного менеджменту;

3) Енергетичної політики та забезпечення її реалізації органами впровадження систем енергетичного менеджменту;

4) Енергетичного планування, що здійснюється органами впровадження систем енергетичного менеджменту ;

5) Процедур реалізації обов'язкових повноважень щодо енергетичного планування, функціонування (поточного управління) систем енергетичного менеджменту;

6) Моніторингу та оцінки показників діяльності та забезпечення поліпшення систем енергетичного менеджменту;

7) Формування, ведення та оприлюднення національної бази даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель бюджетних установ, обміну інформацією з іншими електронними системами.

*Терміни які використовуються у визначенні енергетичний менеджмент:*

1. Відповідальний за систему енергетичного менеджменту – відповідальна за впровадження і функціонування систем енергетичного менеджменту посадова особа з числа керівників (їх заступників) органу впровадження систем енергетичного менеджменту, визначена відповідно до пункту 6 цього Порядку;

2. Декларація енергетичної політики - документ, що визначає наміри органу впровадження систем енергетичного менеджменту щодо впровадження, забезпечення подальшого функціонування та розвитку систем енергетичного менеджменту, індикативні цілі органу впровадження систем енергетичного менеджменту та перелік ключових заходів щодо їх досягнення;



3. Енергетичний моніторинг (далі - енергомоніторинг) - система збору, накопичення, обробки та відображення даних щодо обсягів споживання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг будівлями;
4. Енерго-менеджер - особа, яка реалізує повноваження щодо енергетичного планування, функціонування систем енергетичного менеджменту, відповідальна за організацію ефективного використання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг;
5. Інвентарний список будівель органів виконавчої влади - структурований набір даних, що формується на основі відомостей щодо енергетичних та експлуатаційних характеристик опалюваних і кондиціонованих будівель, до якого включаються відомості про будівлі, які перебувають у державній власності та в яких розміщується Секретаріат Кабінету Міністрів України та апарати центральних органів виконавчої влади, та опалювану площу будівлі або частини будівлі/приміщення, в якій розміщено Секретаріат Кабінету Міністрів України та апарати центральних органів виконавчої влади, що становить більш як 250 кв. метрів, та не включаються відомості про будівлі, які віднесені до об'єктів культурної спадщини або використовуються під час богослужінь, релігійних обрядів і церемоній; органів військового управління, з'єднань, військових частин, вищих військових навчальних закладів, військових навчальних підрозділів закладів вищої освіти, установ та організацій;
6. Національна база даних енергетичних та експлуатаційних характеристик будівель бюджетних установ (далі - база даних будівель) - відомості у складі реєстру будівельної діяльності Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва щодо експлуатаційних, енергетичних характеристик, даних енергомоніторингу та інших відомостей, які характеризують рівень енергетичної ефективності будівель;

7. Органи впровадження систем енергетичного менеджменту - міністерства, інші центральні органи виконавчої влади, інші органи державної влади, юрисдикція яких поширюється на всю територію України, Рада міністрів Автономної Республіки Крим, органи виконавчої влади Автономної Республіки Крим, обласні, Київська та Севастопольська міські, районні, районні у м. Києві держадміністрації, підприємства, установи та організації, що належать до сфери управління органів державної влади;

8. Підрядна організація з енергетичного менеджменту - визначений відповідно до цього Порядку суб'єкт господарювання, відповідальний за впровадження та функціонування енергомоніторингу та систем енергетичного менеджменту;

9. Система енергетичного менеджменту- система управління, що визначає енергетичну політику, цілі, енергетичні завдання та управлінські рішення, спрямовані на їх досягнення, передбачає інформаційні, організаційні, кадрові, фінансові та технічні заходи щодо планування і управління ефективністю споживання енергетичних ресурсів;

10. Система автоматизованого збору інформації про споживання енергії - електронна система, здатна реєструвати та зберігати параметри температури та характеристики ресурсів, що подаються в мережу, або споживання ресурсів з мережі, дозволяючи передавати і приймати дані в інформаційних, моніторингових і контрольних цілях за допомогою засобів електронного зв'язку, що збираються для цілей енергетичного менеджменту.

Енергетичний ресурс – носій енергії, яка використовується або може бути використана під час здійснення господарської та іншої діяльності. В ході такої діяльності вартість енергетичного ресурсу стає складовою собівартості продукції. Оскільки вартість продукції є основою для забезпечення конкурентоспроможності продукції, вона буде впливати на

ефективність діяльності промислового підприємства на ринку, особливо в умовах жорсткої конкуренції. Таким чином, ефективне використання енергії стає одним з головних питань, вирішення якого потребує особливої уваги з боку керівництва підприємств, зокрема промислових, технологічні процеси яких зазвичай є енергомісткими.

Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження недостатньо лише вживати відповідних заходів, потрібно також систематично здійснювати управління енергоспоживанням, основна задача якого полягає у зниженні витрат на енергоресурси за необхідної їх кількості та якості. Як відомо із зарубіжної практики, з цією метою на будь-якому промисловому підприємстві створюється система енергетичного менеджменту, основною метою функціонування якої є систематичне, цілеспрямоване підвищення енергетичної ефективності господарювання за одночасного раціонального використання всіх інших ресурсів [2]. Для досягнення ефективного зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів промислові підприємства повинні приділяти особливу увагу заходам з підвищення енергетичної ефективності їх використання. На відміну від енергозбереження, спрямованого головним чином на зменшення енергоспоживання, енергоефективність – це ефективне використання енергії.

Ефективне використання енергії – це використання меншої кількості енергії для забезпечення того ж рівня енергетичного забезпечення технологічних процесів на виробництві. Енергетика є системою утворюючою, базовою галуззю, основою національної економіки, найважливішим чинником її розвитку. Від сталої роботи та розвитку паливно-енергетичного комплексу сьогодні залежить доля реформ і майбутнього розвитку будь-якої країни, зокрема України. Енергоємність валового внутрішнього продукту (ВВП) це відношення загальної кількості

*Системи енергетичного менеджменту запроваджуються з метою забезпечення в органах впровадження систем енергетичного менеджменту:*

- 1) ефективного споживання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг;
- 2) раціонального використання коштів на оплату енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг, впровадження заходів з енергоефективності та інших витрат;
- 3) підвищення рівня енергетичної ефективності у будівлях та зменшення викидів CO<sub>2</sub>;
- 4) створення та функціонування механізмів матеріального стимулювання працівників до ефективного використання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг;
- 5) своєчасної сертифікації енергетичної ефективності будівель;
- 6) забезпечення показової ролі центральних органів виконавчої влади у підвищенні енергетичної ефективності будівель .

Досягнення мети впровадження систем енергетичного менеджменту здійснюється органами впровадження систем енергетичного менеджменту, зокрема, шляхом впровадження в органах впровадження систем енергетичного менеджменту енергетичної політики та енергетичного планування.

Енергетична політика органу впровадження систем енергетичного менеджменту визначається у декларації енергетичної політики, яка, зокрема, визначає індикативні цілі систем енергетичного менеджменту.

Результатом функціонування механізму енергетичного планування є, зокрема, план діяльності систем енергетичного менеджменту, яким визначаються операційні цілі систем енергетичного менеджменту, спрямовані на досягнення індикативних цілей систем енергетичного менеджменту, та інші необхідні відомості.

У включених до інвентарного списку будівель органів виконавчої влади будівлях органи впровадження систем енергетичного менеджменту першочергово впроваджують системи енергетичного менеджменту для забезпечення показової ролі центральних органів виконавчої влади у підвищенні енергетичної ефективності будівель.

*Організаційна структура та механізми впровадження систем енергетичного менеджменту*

Під час проектування організаційної структури систем енергетичного менеджменту кількість штатних одиниць структурного підрозділу енергетичного менеджменту визначається з урахуванням передбачення мінімум однієї штатної одиниці на 50 будівель, які перебувають у володінні та/або користуванні (господарському віданні, оперативному управлінні) або належать до сфери управління органу впровадження систем енергетичного менеджменту.

У разі коли для забезпечення функціонування систем енергетичного менеджменту достатньо однієї штатної одиниці, обов'язки такої штатної одиниці можуть бути покладені на працівника існуючого структурного підрозділу органу впровадження систем енергетичного менеджменту.

У разі коли для забезпечення функціонування систем енергетичного менеджменту необхідно більше однієї штатної одиниці, створюється окремий структурний підрозділ енергоменеджменту.

Відповідальні за системи енергетичного менеджменту в установах та організаціях, підпорядкованих іншому органу впровадження систем енергетичного менеджменту, та/або в установах та організаціях, що фінансуються таким органом, у разі зміни протягом року кількості об'єктів, обладнання або фізичних характеристик будівель подають відповідальному за систему енергетичного менеджменту головному розпоряднику бюджетних коштів обґрунтовані пропозиції щодо перегляду встановлених лімітів споживання енергії/енергетичних ресурсів і

комунальних послуг та пропозиції щодо впровадження енергоефективних заходів у межах бюджетних призначень, затверджених на їх фінансування.

Керівник структурного підрозділу енергоменеджменту безпосередньо підпорядковується відповідальному за систему енергетичного менеджменту.

Діяльність структурного підрозділу енергоменеджменту провадиться відповідно до затвердженого положення, яке повинне передбачати, зокрема, такі функції:

- 1) енергетичне планування;
- 2) здійснення енергомоніторингу в будівлях;
- 3) проведення поточного аналізу споживання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг за будівлями, виявлення причини відхилень від норми та їх усунення;
- 4) здійснення контролю за технічним станом будівель;
- 5) здійснення контролю за впровадженням енергоефективних заходів у будівлях;
- 6) забезпечення обміну інформацією та публікація інформації про споживання енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг;
- 7) розроблення пропозицій щодо впровадження енергоефективних заходів у будівлях на наступний рік;
- 8) визначення потенціалу економії енергії/енергетичних ресурсів та комунальних послуг у будівлях;
- 9) здійснення моніторингу, розрахунку і оцінки показників ефективності використання енергетичних ресурсів;
- 10) прогнозування споживання енергетичних ресурсів;
- 11) здійснення контролю за досягненням індикативних та операційних цілей систем енергетичного менеджменту;

12) підготовку і виконання передбачених законодавством процедур щодо забезпечення енергосервісу у відповідних будівлях (у разі наявності діючих енергосервісних договорів);

13) проведення публічних закупівель енергоспоживчої продукції (товарів) та послуг, пов'язаних із споживанням енергії з дотриманням критеріїв енергоефективності.

## **3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Для запобігання аварій та нещасних випадків, пов'язаних з експлуатацією устаткування, потрібне систематичне проведення комплексних заходів технічного і організаційного характеру.

### **3.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори при експлуатації чиллерів**

У системі чиллерів знаходиться теплообмінник, який слугує для передачі теплоти від одного теплоносія к іншому. Сучасні кожухотрубні теплообмінники, оснащені трубками, профільованими таким чином, щоб зростання гідравлічного опору ненабагато перевищувало зростання тепловіддачі внаслідок застосування турбулізаторів потоку. Це досягається накаткою на зовнішній поверхні труби кільцевих або гвинтоподібних канавок, внаслідок утворення яких на внутрішній поверхні труби утворюються плавно окреслені виступи невеликої висоти, інтенсифікують тепловіддачу в трубах.

Серйозною проблемою є корозія теплообмінників, яка забруднює водопровідну воду, що користуються споживачі та може нанести непоправну шкоду організму людини. Для захисту від корозії застосовується газотермічне напилення трубних дощок, труб пароперегрівачів. Це відноситься тільки до кожухотрубних теплообмінників, виготовлених з вуглецевої сталі.

Електрокотел, який працює під напругою 250-380 В є резервним джерелом у системі. Електричний струм та напруга під якою він знаходиться можуть служити небезпечним та шкідливим фактором для життя людини. Тому для попередження шкоди організму людини треба дотримуватись правил користування електричним устаткуванням.

У випарнику ТН циркулює хладагент (фреон) R12. Це безбарвний газ без запаху. Застосовується в холодильних установках і агрегатах



промислового і побутового призначення та промислових кондиціонерах. Також використовується як газовий діелектрик, пропілент (в суміші з фтортрихлорметаном), пароутворювач при отриманні пінопластів, розчинник, середа для хімічних процесів, реагент для хімічних синтезів, індикатор витоків при перевірці герметичності обладнання. Клас небезпеки 4. При зіткненні з полум'ям і гарячими поверхнями розкладається з утворенням високотоксичних продуктів. Негорючий газ. Флегматизує горіння вуглеводнів. Мінімальна горюча об'ємна концентрація при горінні вуглеводнів в повітрі 14.9%. Термічне розкладання при часі контакту 1-10с починається: в трубі зі сталі 12Х18Н10Т при 520 ° С, з нікелю Н-1 при 580 ° С; при часі контакту 4доби в присутності сталі, міді і масла ХФ12-18 при 120 ° С.

Не дивлячись на ефективну теплоізоляцію бака-акумулятора , трубопроводів гарячої води в приміщенні виділяється тепло ( $>23 \text{ Вт/м}^3$ ), що створює в теплий період роки в залі котельні підвищену температуру до ( $28 \div 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), що заважає віддачі тепла людським тілом при фізичній роботі в даному приміщенні.

### 3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Щоб уникнути виникнення аварійної ситуації при роботі, систему сонячних колекторів та гарячого водопостачання оснащують приладами контролю, захисту, сигналізації і блокувань. Для запобігання витoku фреону R12 через зварні і болтові з'єднання і запірну арматуру газопровід в зборі проходить випробування на відповідність вимогам правил безпеки в газовому господарстві України.

Трубопроводи гарячої води підлягають гідравлічним випробуванням в зібраному вигляді під тиском  $1,25 P_{\text{раб.}} = 12,5 \cdot 0,87 = 10,875 \text{ МПа}$ .

Шум, що створюється при роботі бака-акумулятората і допоміжного устаткування електрокотла, класифікується:

- за характером спектру – широко смуговий, тобто що має безперервний спектр шириною більше 1 октави;

- за тимчасовими характеристиками – постійний.

Гранично - допустимий рівень шуму при обслуговуванні обладнання складає 80 дБА.

Для захисту персоналу від поразки електричним струмом в мережі трифазної напруги застосовується захисне заземлення, опір якого не більше 4 Ом. Всі струмоведучі частини і дроти ізольовані. Опір ізоляції на ділянці не менше 500 кОм. Ізоляція устаткування (нового або встановленого після ремонту) перевіряється перед пуском. Приймається захисне блокування, тобто відключення електроланцюга при аварійній ситуації з повним часом спрацювання 0,2 секунди.

Для зменшення дії надмірних тепловиділень на людей, що працюють в котельному залі, особливо в теплу пору року, в приміщенні котельні застосовується загальнообмінна механічна припливна вентиляція по схемі «знизу-вгору», продуктивністю 7 об'ємів на годину.

### **3.3 Електробезпека**

Як засоби індивідуального захисту від поразки електричним струмом в електромережах з напругою до 1000 В використовують: діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, гумові килимки, ізольовані підставки. Для захисту людини від поразки електричним струмом використовують захисне заземлення. Котельня відноситься до 1 категорії по надійності електропостачання. Обладнання, яке може бути небезпечним для життя людини при неправильному його використанні - це електрокотел, що є резервним джерелом для підігріву води у ГВП,

підпиточний, циркуляційний насос, який прокачує рідину по системі. Також небезпечним джерелом можуть бути металеві труби, що з'єднують систему СК, які знаходяться на даху будинку.

Захист устаткування від короткого замикання здійснюється за допомогою автоматів, а від перенавантаження – тепловими реле. Система зовнішнього і внутрішнього освітлення живиться від внутрішніх мереж електропостачання.

По ступеню небезпеки поразки людей електричним струмом технічне приміщення, де встановлений електродотел, відноситься до приміщень з підвищеною небезпечністю.

Воно характеризується наявністю в ньому умов, що створюють підвищену небезпеку: можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій, що мають з'єднання із землею, технологічних апаратів, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Безпека електроустаткування забезпечується:

- ізоляцією струмоведучих частин і їх закриттям;
- блокуванням апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів АЕ 2000, заземленням корпусів електрообладнання і елементів установок, які можуть знаходитися під напругою.

Всі металеві частини електрообладнання, що не знаходяться під напругою, приєднуються до заземлюючого контуру. Як внутрішній контур заземлення використовуються металеві майданчики і сходи. Заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами електропроводки, опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів повинні бути чітко вказані положення «включено» і «відключено».

Спеціаліст, який обслуговує електроустановки, повинен мати кваліфікаційну групу не нижче 3-ої.

Йому слід чітко пам'ятати, що після зникнення напруги з обслуговуваної ними електроустановки, воно може бути подане знов без попередження, як в умовах нормальної експлуатації, так і в аварійних умовах. На місці роботи повинні бути відключені струмоведучі частини, на яких проводяться роботи, а також і ті, які можуть бути доступні дотику при виконанні роботи. Доступні дотику струмоведучі частини можна не відключати лише в тому випадку, якщо вони будуть захищені ізолюючими накладками. Відключення повинне проводитися так, щоб виділені для виконання роботи частини електроустановки були з усіх боків відокремлені від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, комутаційними апаратами або зняттям запобіжників. З фасадного і заднього боку щита шафи станції управління і шафи сигналізації повинні бути діелектричні гумові доріжки. Забороняється застосовувати невипробувані захисні засоби, термін чергового випробування яких закінчився.

На електроприводах, що мають автоматичне або дистанційне включення, повинен бути напис «Увага – включається автоматично!», «Увага – включається дистанційно!».

### **3.4 Виробнича санітарія**

#### **3.4.1 Природне і штучне освітлення**

Гігієнічні вимоги до виробничого освітлення, засновані на психофізичних особливостях сприйняття світла і його впливу на організм людини, можуть міститися в наступному:

- спектральний склад світла, яке створене штучно повинен наближатися до сонячного;

- рівень освітленості повинен бути достатнім і відповідати гігієнічним нормам, які враховують умови зорової роботи;

- повинні бути забезпечені рівномірність і стійкість рівня освітленості в приміщенні, щоб запобігти частій переадаптації і втоми очей.

Природне освітлення в цеху здійснюється через віконні отвори. У світлий час доби одночасно використовують природне і штучне світло, таким чином, в приміщенні передбачають поєднане освітлення.

Види електроосвітлення:

- у приміщеннях розподільних пристроїв і ГВП – робоче і переносне;

- на майданчиках обслуговування електродотла – робоче, переносне;

Напруга мережі освітлення  $\sim 220$  В, переносного  $\sim 12$  В  $\sim 36$  В.

Освітленість робочих поверхонь при штучному освітленні складає 200 лк. Як джерела світла при штучному освітленні використані наступні світильники:

- з лампами розжарювання марок Б 215-225-100, НСП11 $\times$ 100-23443;

- з люмінесцентними лампами марок ПСПО2-2 $\times$ 40 и ЛБ- 40-1.

Передбачено аварійне освітлення, яке включається у разі аварії і живиться від автономної електростанції потужністю 4 кВт. Під час обслуговування обладнання, яке знаходиться в окремому приміщенні, необхідно пильно слідкувати за дотриманням технологічних параметрів роботи установки. Розряд зорової роботи для цих умов приймаємо 4. Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості з урахуванням характеру зорової роботи і світлового клімату в районі розташування будівлі визначається по формулі %

$$E_n = e \cdot m \cdot c = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,855 \approx 0,9\%,$$

де  $e$  – коефіцієнт природної освітленості (к.е.о.),  $e=1\%$ ;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату (без урахування прямого сонячного світла), визначається залежно від району розташування будівлі,  $m=0,9$ ;

$c$  – коефіцієнт сонячності клімату (з урахуванням прямого сонячного світла),  $C=0,95$ .

### 3.4.2 Вентиляція

Роботи, що проводяться обслуговуючим персоналом в окремому приміщенні по енерговитратам можна віднести до другої категорії робіт, тобто фізична робота середньої тяжкості – пов'язана з ходьбою, така, що не вимагає перенесення тяжкості, або перенесенням невеликої тяжкості (до 10 кг).

У приміщеннях з надлишками явного тепла температура повітря допускається не більше ніж на 3 °С вище за середню зовнішню температуру найжаркішого місяця, але не більше 28 °С.

За допомогою вентиляції усувається шкідлива дія надмірного тепла на організм людини. Застосовується змішана (природна і механічна) загальнообмінна припливна вентиляція.

### 3.5 Засоби індивідуального захисту

Засоби захисту для інженерного технічного персоналу і робочих, що займаються експлуатацією і ремонтом тепловикористовуючих установок і теплових мереж наступні:

- захисні окуляри типу ЗП (закриті захисні окуляри з прямою вентиляцією), брезентові рукавиці типу Ми, Мп, Тп 100, протигази промислові, запобіжні пояси, страхуючі канати;
- тимчасові огорожі, попереджувальні плакати;

- гумові діелектричні рукавички (ТУ 38-10659-79), боти (ГОСТ 12.4.065-79), калоші, килимки, що ізолюють підставки.

Захисні засоби, що знаходяться в експлуатації і в запасі, зберігаються в умовах, що забезпечують їх справність і придатність до використання без попереднього відновного ремонту, тому захисні засоби повинні бути захищені від зволоження, забруднення і механічних пошкоджень.

### **3.6 Заходи щодо пожежної безпеки**

Технічне приміщення, де встановлений електродвигун, відноситься до категорії Г – непожежобезпечне. Причиною пожежі можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, плануванні комунікацій і приміщень; дефекти обладнання; порушення режимів технологічних процесів; неправильне проведення роботи; необережність і недбалість персоналу.

Комплекс протипожежних заходів включає:

- обмеження розповсюдження вогню при виникненні пожежі;
- попередження виникнення пожеж;
- евакуація людей з будівлі, що горить;
- забезпечення умов для швидкого гасіння пожеж.

У разі потреби евакуації людей з будівлі, що горить, передбачено 2 евакуаційних виходи. У разі виникнення пожежі для зовнішнього пожежогасіння використовується пожежний гідрант, а для внутрішнього – вогнегасники. В окремому приміщенні, де встановлений електродвигун, є один щит в комплексі з: пожежним рукавом, багрою, відром і вогнегасником типу ОУ-5. В операторській технічного приміщення є один вогнегасник типу ОПС-10 і один типу ОУ-5. Крім того, є по одному вогнегаснику типу ОУ-5 в кабінеті начальника технічного приміщення.

Вогнегасники типу ОУ-5 застосовуються при гасінні електроустаткування під напругою; ОПС-10 – у будь-якому випадку.

Також у технічному приміщенні існує система пожежної сигналізації і автоматики. Для пожежної сигналізації використовують теплові датчики.

Умови, що сприяють виникненню пожежонебезпечних ситуацій на об'єкті.

Завдання працівників охорони щодо їх профілактики.

#### 1. Причини пожеж:

а) наявність у запобіжних пристроях електричних установок завищеного перетину;

б) експлуатація електричних нагрівальних приладів, встановлених поблизу горючих матеріалів.

Застосування електричних нагрівальних приладів заборонено: у складських приміщеннях; у невстановлених місцях.

2. Куріння, розпалювання вогнищ, спалювання сміття і відходів виробництва:

а) спалювання сміття, сухої трави, відходів виробництва на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях не дозволяється.

Їх слід вивозити в певні місця утилізації.

Куріння заборонено (крім відведених місць) на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях.

При курінні в кабінетах і службових приміщеннях для збору недопалків необхідно мати попільнички або урни з негорючих матеріалів.

Застосування паяльних ламп і смолоскипів для відігрівання замерзлих трубопроводів в пожежонебезпечних приміщеннях і в будівлях зі спалимими конструкціями, в період знижених температур не дозволяється. Зварювальні і газорізальні роботи в пожежонебезпечних місцях повинні проводитися після очищення робочих місць від горючих



матеріалів у радіусі 5 метрів від зварювання; наявність первинних засобів пожежогасіння та наряду - допуску встановленого зразка. Після закінчення робіт за місцем їх ведення має бути встановлено спостереження.

Пожежна сигналізація буває автономного характеру або з виводом на пункт центрального спостереження. Як правило, датчики виявлення загорянь реагують на підвищення температури в захищеному приміщенні. При спрацьовуванні датчика звуко-світлове табло видає звукові або світлові сигнали. Почувши сигнал, потрібно з'ясувати причину його появи. Якщо він з'явився в результаті спалаху, то необхідно підняти тривогу, зателефонувати в пожежну охорону по телефону 101 і начальнику охорони. До прибуття пожежних підрозділів необхідно стримувати розвиток пожежі наявними засобами пожежогасіння - вогнегасниками, піском, відрами з водою та ін.

Будівля окремого технічного приміщення має захист від блискавки.

Дипломним проектом передбачено автоматичне відключення всіх систем при виникненні пожежі.

Витрата води на внутрішнє пожежогасіння прийнята два струмені по 2,5 л/с кожна.

Біля кожного пожежного щита слід встановити ящик з піском ємкістю не менше 0,5 м<sup>3</sup>.

### **3.7 Розрахунок захисного занулення**

Людина доторкнулася до фазного проводу трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю

Треба визначити струм  $I_h$ , який проходить через людину.

#### **3.7.1 Вихідні дані**

Дано:  $r_o = 4$  [Ом]

$R_h = 1000$  [Ом]

$$r_{зм.} = 50 \text{ [Ом]}$$

### 3.7.2 Розрахунок струму, що проходить через людину

Струм  $I_h$ , мА, який проходить через людину визначаємо по формулі

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_o} = \frac{220}{1000 + 4} = 220$$

Струм, що проходить через людину, доторкується до фази трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю в період нормальної її роботи, практично не змінюється зі зміною опору ізоляції та ємності проводів відносно землі, якщо зберігається умова, що повні провідності проводів відносно землі дуже малі в порівнянні з провідністю заземлення нейтралі.

При аварійному режимі, струм, що проходить через людину визначаємо за формулою

$$I_h = 220 \cdot \frac{50 + 4\sqrt{3}}{50 \cdot 4 + 1000 \cdot (50 + 4)} = 232$$

При опорі землі, який дорівнює 50 Ом, струм буде дорівнює 232 мА. При цьому опорі, струм, що проходить через людину, перевищує допустиме значення 100 мА і є смертельним.

Дотик людини до справного фазного проводу мережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійний період більш небезпечно, ніж при нормальному режимі.

Щорічно в багатьох країнах збитки від попадання блискавки у будівлі і споруди становить сотні мільйонів євро. Тільки високопрофесійній монтаж систем блискавкозахистом у відповідності з усіма технічними нормами зможе забезпечити повну надійність і безпеку.

Основним завдання систем блискавкозахисту є уловлювання всіх потрапляючих у будівлю блискавок. Роботу цієї системи можна розділити на три основні етапи: уловлювання блискавки в місці попадання, токовідведення у ґрунт і заземлення. При цьому дуже важливим є уникнення теплових механічних або електричних побічних ефектів, тому що це може привести до пошкоджень конструкції об'єкта, що захищається від виникнення небезпечності для життя людей.

Система блискавкозахисту складається з:

1. Зовнішнього блискавкозахисту.

- Блискавкоприймач.
- Струмовідвід.

2. Заземлення внутрішнього блискавкозахисту:

- Вирівнювач потенціалів у системі блискавкозахисту.
- Найменша допустима відстань.

Якщо значення струму однофазного короткого замикання,  $I_{кз}$  задовольняє значенню

$$I_{кз} \geq K \cdot I_{ном}$$

Для дійсного значення струму короткого замикання ( $I_{кз}$ ), в якому дійсні значення опорів трансформатора і петлі фаза-нуль  $Z_T$  і  $Z_n$  складається арифметично

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_T/3 + Z_n}$$

Опір петлі фаза-нуль  $Z_n$  складається з ряду послідовно включених опорів і дорівнює

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_{нз})^2 + (X_\phi + X_{нз} + X_n)^2}$$

Розрахункова формула має вигляд

$$\kappa I_{ном} \leq \frac{U_\phi}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_{нз})^2 + (X_\phi + X_{нз} + X_n)^2}}$$

Потужність трансформатора дорівнює 1000 [кВА]. Номінальна напруга обмоток вищої напруги дорівнює 10 [кВ]. По таблиці (Додаток № 2) [3] знаходимо для смуги перетином 50х4,

$$\text{при } \delta = 2,0 \left[ \frac{A}{\text{мм}^2} \right],$$

$$r_\omega = 1,24 \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right],$$

$$X_\omega = 0,74 \left[ \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \right],$$

де  $r_\omega$  - активний опір сталевих провідників. Тоді, активний опір смуги  $R_{нз}$ , Ом.

$$R_{нз} = r_\omega \cdot l = 1,24 \cdot 0,2 = 0,248$$

Лінія 380/220В з мідними проводами 3х90 [мм<sup>2</sup>] харчується від трансформатора, потужністю 1000 [кВ А].

Визначимо опір фазного і нульового захисного провідників  $R_\phi$ ,  $X_\phi$ ,  $R_{н.з}$ ,  $X_{н.з}$ ,  $X_n$  на ділянці лінії  $l = 200$  [м]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

Для міді  $\rho = 0,018$  [Ом мм<sup>2</sup> / м]

$$R_{\phi} = 0,018 \frac{200}{90} = 0,04$$

Оскільки фазний провід мідний, приймаємо  $X_{\phi} = 0$

$$X_{н.з.} = X_{\omega} \cdot l = 0,74 \cdot 0,2 = 0,148$$

де  $X_{н.з.}$  - внутрішній індуктивний опір смуги

Зовнішній індуктивний опір 1 км петлі фаза-нуль приймаємо  $X_{\Pi} = 0,6$  [Ом / км], значить,  $X_{\Pi} = 0,6 \times 0,2 = 0,12$  [Ом].

Знаходимо дійсні значення струму однофазного короткого замикання,  $I_{к.з.}$ , А, що проходить по петлі фаза-нуль при замиканні фази на корпус трансформатора

$$I_{к.з.} = \frac{220}{\frac{0,081}{3} + \sqrt{(0,04 + 0,248)^2 + (0 + 0,148 + 0,12)^2}} = \frac{220}{0,027 + 0,387} = \frac{220}{0,414} = 531$$

Оскільки дійсне (обчислене) значення струму однофазного КЗ (531 [А]) перевищує найменший допустимий за умовами спрацьовування захисту ток (400 [А]) нульовий захисний провідник обраний правильно, тобто вимикаюча здатність системи занулення забезпечена.

## ВИСНОВОК

Визнання енергії як одного з видів ресурсів, який вимагає такого ж менеджменту, як будь-який інший ресурс, є першим кроком до поліпшення енергоефективності та зниження енерговитрат на промислових підприємствах. Для досягнення реального поліпшення енергетичної ефективності промислового підприємства необхідно удосконалювати його систему управління. Тому для успішної реалізації стратегії України в напрямі скорочення до 2035 року енергоемності вітчизняної економіки на 30–35% необхідно створити досконалу систему управління енергоефективністю та енергозбереженням. Одним із інструментів вирішення цього завдання є впровадження системи енергетичного менеджменту на основі стандарту ISO 50001.

Для підтвердження розрахункових цифр економії нами було запропоновано провести експеримент, у якому декілька чиллерів будуть працювати на зниженій уставці тиску конденсації. Такий експеримент проводився також для підтвердження того, що це не призведе до аварійних ситуацій. При експерименті отримали результати замірів споживання токів компресором холодильної машини BlueBox Omega та режими для отримання максимального ККД.

У другому розділі проведено аналіз якості регулювання чиллерів. Зроблено регресійний аналіз споживання електроенергії двох дільниць цеху та визначено рівняння споживання. Зроблено висновок, що при такому значному споживанню електричної енергії як на «фармакогічний завод» впровадження системи енергоменеджменту є необхідним.

У третьому розділі розглянуті заходи з охорони праці. Розраховано нульовий захисний провідник, чим забезпечено вимикаючу здатність системи до занулення.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Носков А. Н., Зимков А. А. Тарасенков Д. С. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора // Вестник Международной академии холода. 2008. № 3. С. 10–13.
2. Саун И. А. Винтовые компрессоры. — Л.: Машиностроение, 1970. 400 с.
3. Носков А. Н., Зимков А. А. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора золотником и поворотными заслонками // Вестник Международной академии холода. 2008. № 3. С. 10–13.
4. Амосов П. Е., Бобриков Н. И., Шварц А. И., Верный А. Л. Винтовые компрессорные машины: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1977. 256 с.
5. Чейлитко А. О. Проектування та оптимізація систем теплопостачання : навч.-метод. посіб. для студ. ЗДІА наряду 144 «Теплоенергетика» денної і заочної форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 200 с.
6. А. О. Чейлитко. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепло масообміну : навч.-метод. посіб. для студ. ЗДІА спец. 144 «Теплоенергетика» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 146 с.
7. Ільїн С. В., Чейлитко А. О., Мних І. М.. Енергоаудит [Електронний ресурс] : навч.-метод. посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації центру безперервної освіти : навч.-метод. посібник /; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2018. - 130 с.
8. Банах В. А., Чейлитко А. О., Ільїн С. В., Гладишева Т. В. Інформаційні технології гідроелектростанцій. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 158

с.

9. Ільїн С. В., Банах В. А., Чейлитко А. О., Лимаренко О. М. Енергоєфективні технології будівництва : навч.-метод. посіб. для осіб, які проходять перепідготовку та соціальну адаптацію в рамках реалізації проекту «Норвегія–Україна», UKR-20/002 (NUPASS). Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 106 с.

10. Основи наукових досліджень в теплоенергетиці : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спец. 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Теплоенергетика» / А. О. Чейлитко, С. В. Ільїн, С. Є. Чижов, В. О. Кірюшков, О. В. Сидоренко. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 107 с.

11. Потапова Д. В., Носков А. Н. Анализ процесса нагнетания холодильного винтового компрессора на различных хладагентах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015, № 1.

12. Бухарин Н. Н. Моделирование характеристик центробежных компрессоров. Л.: Машиностроение. 1983. 214 С.

13. Рыков С. В., Кудрявцева И. В., Демина Л. Ю. Единое уравнение состояния R717, учитывающее особенности критической области // Вестник Международной академии холода. 2009. № 4. С. 29–32

14. Рыков С. В., Самолетов В. А., Рыков В. А. Линия насыщения аммиака // Вестник Международной академии холода. 2008. № 4. С. 20–21.

15. Тимофеев Б. Д., Николаев В. А., Нагула П. К. Модифицированные озонобезопасные смесевые хладагенты — заменители R22 // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 16–18.

16. Пособие для ремонтника. Справочное руководство ПО монтажу, эксплуатации, обслуживанию и ремонту современного оборудования холодильных установок и систем кондиционирования / Патрик Котзаглазиан, (перевод с франц., ПОД редакцией В.Б.



Сапожникова). - М.: Эдем, 2007. - 832 с.

17. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И., Верный А.Л. Винтовые компрессорные машины: Справочник. -Л.: Машиностроение, 1977. -256 с.

18. Андреев П.А. Винтовые компрессорные машины.-Л. : Судпромгиз, 1961.-251с.

19. Ануфриев А.В. Повышение эффективности регулирования производительности холодильного винтового компрессора: Дис. ... канд. техн. наук. -СПб., 2005. -135 с.

20. Зимков А.А. Перспективы применения различных способов регулирования производительности холодильных винтовых компрессоров // Актуальные вопросы техники пищевых производств. СПбГУНиПТ. – Деп. ВИНТИ № 546-В. 2007. -с.4.

21. Канышев Г.А. Современное состояние и тенденции развития винтовых холодильных компрессоров в СССР и за рубежом. Обзорная информация. -М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. -48 с.

22. Кореньков В.И., Немировский С.К. Термодинамический расчет винтовых маслозаполненных компрессоров // Процессы переноса в аппаратах энергохимических производств: Сб. науч. тр. ИТ СО АН СССР. -Новосибирск, 1985. -с. 83-88.

23. Мозенманн Д, Манн В., Ионов А.Г., Кан А.В. Повышение энергетической эффективности работы холодильных винтовых компрессоров // Холодильная техника. -1978. -№9. -с. 11-13.

24. Носков А.Н. Анализ конструктивных схем регулирования производительности и геометрической степени сжатия холодильного винтового компрессора // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф.: Холодильная техника России. Состояние и перспективы накануне XXI века. -С.-Пб., 1998. -с. 49-50.

25. Носков А.Н., Зимков А. А. Анализ схем регуляторов

производительности холодильного винтового компрессора // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Сб. научн. тр. III МНТК, – С.-Пб., 2007 г. – С. 101-107.

26. Носков А.Н., Зимков А. А. Регулирование геометрической степени сжатия при изменении производительности холодильного винтового компрессора. Сб. научн. тр. V МНТК «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке», – С.-Пб., 2011 г. – С. 51-52.

27. Носков А.Н. Регулирование геометрической степени сжатия винтового компрессора при изменении производительности // Компрессорная техника и пневматика. -1997. -Вып. 1-2. -с. 63-66

28. Носков А. Н., Зимков А.А. Расчет процесса всасывания маслозаполненного холодильного винтового компрессора: Научный журнал СПбГУНиПТ. Серия: Холодильная техника и кондиционирование (электронный журнал) ГОУ ВПО «Санкт петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». - №1. - март 2012. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals>

29. Носков А. Н., Зимков А.А. Расчет процесса сжатия маслозаполненного холодильного винтового компрессора: Научный журнал СПбГУНиПТ. Серия: Холодильная техника и кондиционирование (электронный журнал) ГОУ ВПО «Санкт петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». - №1. - март 2013. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals>

30. Носков А.Н., Зимков А.А., Зверев Д.В. Особенности расчета процесса нагнетания холодильного винтового компрессора // Труды IX МНТК Современные проблемы холодильной техники и технологий: Одесса, 2013. - с. 3.

31. Нуждин А.А., Васильев В.И. Регулирование производительности винтовых холодильных компрессоров. -М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. -36 с.

32. Сергеев М.Н. Методологічні аспекти енергозбереження і підвищення енергетичної ефективності промислових підприємств: [монографія] / М.Н. Сергеев. – Іжевськ: вид-во «Удмуртський університет», 2013. – 116 с.

33. Денисюк С.П. Теоретичні основи побудови систем енергетичного менеджменту в Україні / С.П. Денисюк, О.В. Бориченко // Енергетика. – 2015. – № 1. – С. 7–17. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete\\_2015\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_1_3).

34. ДСТУ 4472:2005 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги».

35. Осадчий О.О. Практика впровадження сучасних стандартів енергоменеджменту та підготовка до застосування ISO 50001 / А.А. Осадчий // Сертифікація. – 2012. – № 1. – С. 12–16.

36. Іншеков Є.М. Методологія ISO щодо розробки та розвитку стандартів з енергетичного менеджменту (серія стандартів ISO 50000) / Є.М. Іншеков, Д.Ю. Жуков // Енергетика. – 2014. – № 2. – С. 117–126.

37. Енергоменеджмент на Україні: початок нового шляху // Електрик: міжнародний електротехнічний журнал. – 2012. – № 1/2. – С. 36–38.