

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

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження можливості підвищення ефективності електроспоживання
киснево-компресорним цехом ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1411з
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Сидорак М. С.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Башлій С.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Артемчук В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень _____
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва) _____
Спеціалізація _____
(код та назва) _____
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко

« 01 » грудня 2022 року

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

Сидорак Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Дослідження можливості підвищення ефективності
електроспоживання киснево-компресорним цехом

ПАТ «Запоріжсталь»

керівник роботи Башлій Сергій Вікторович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 598 - с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2022 р.

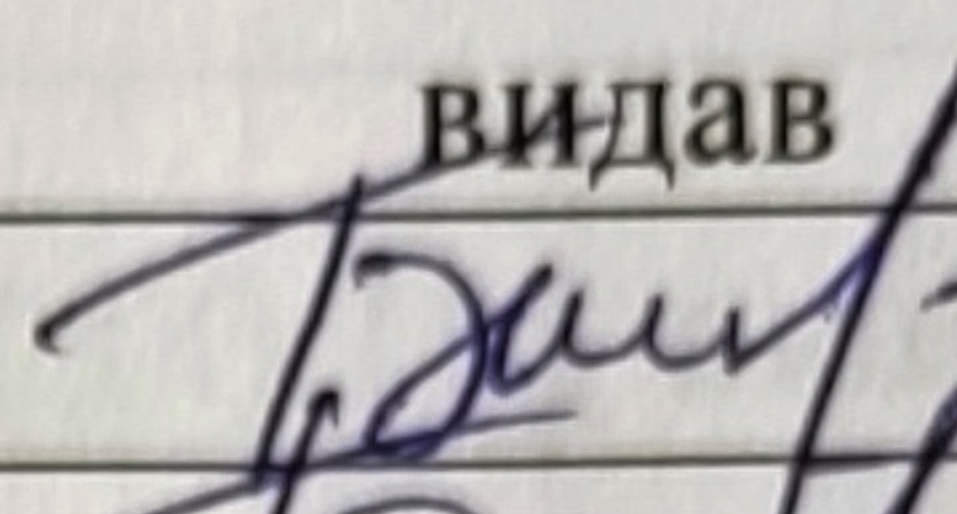
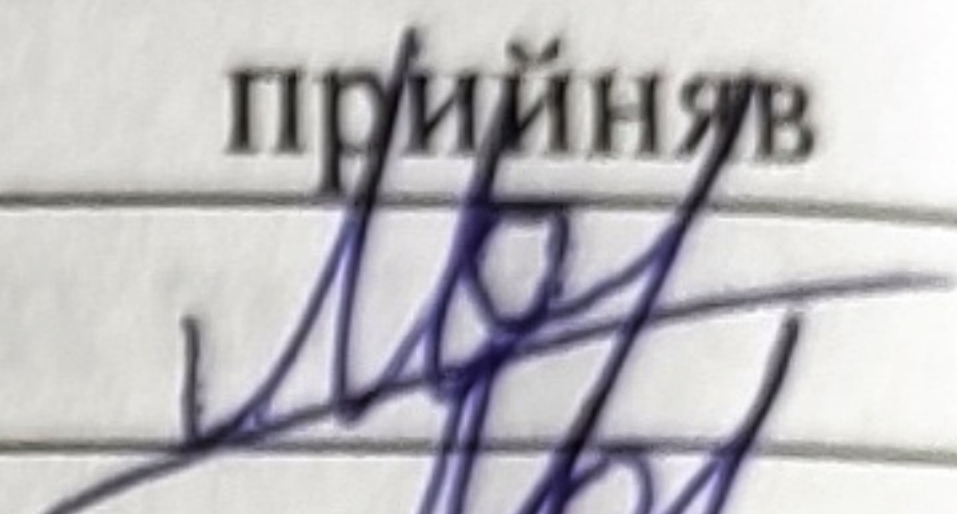
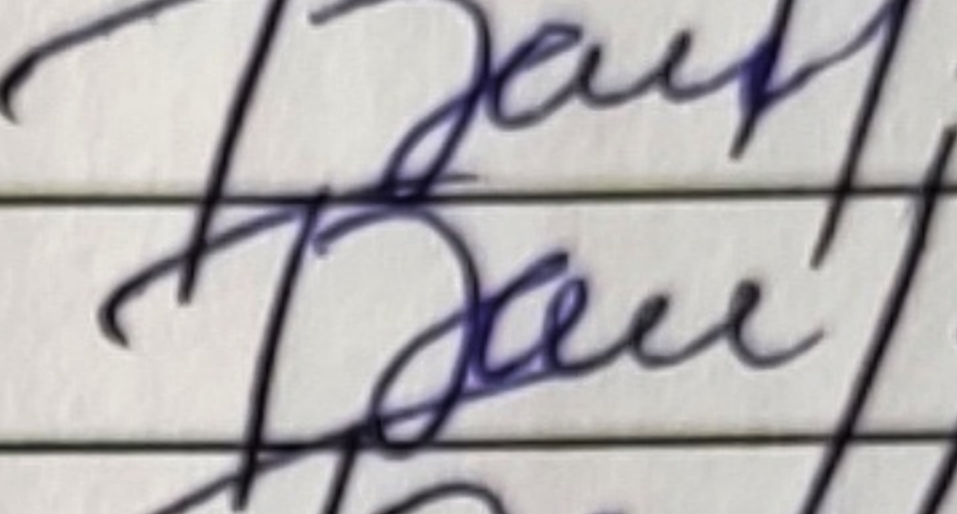
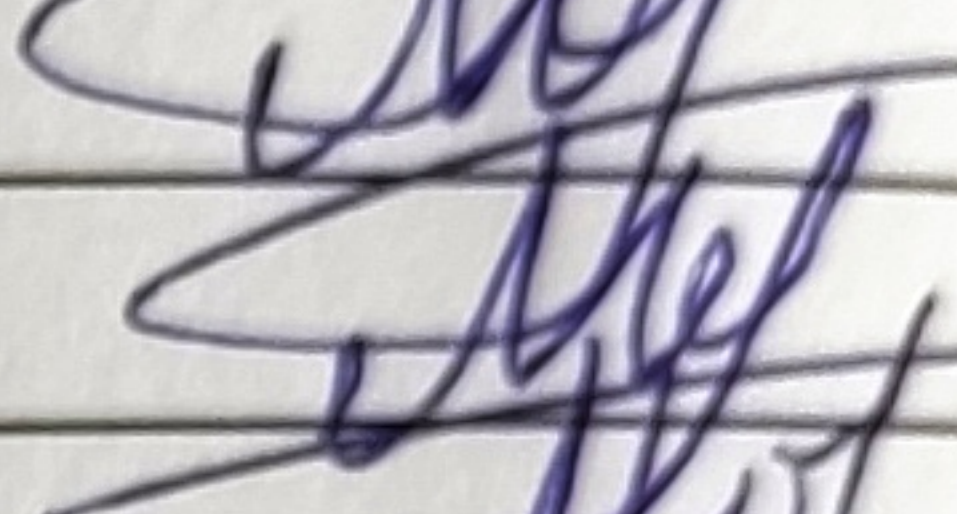
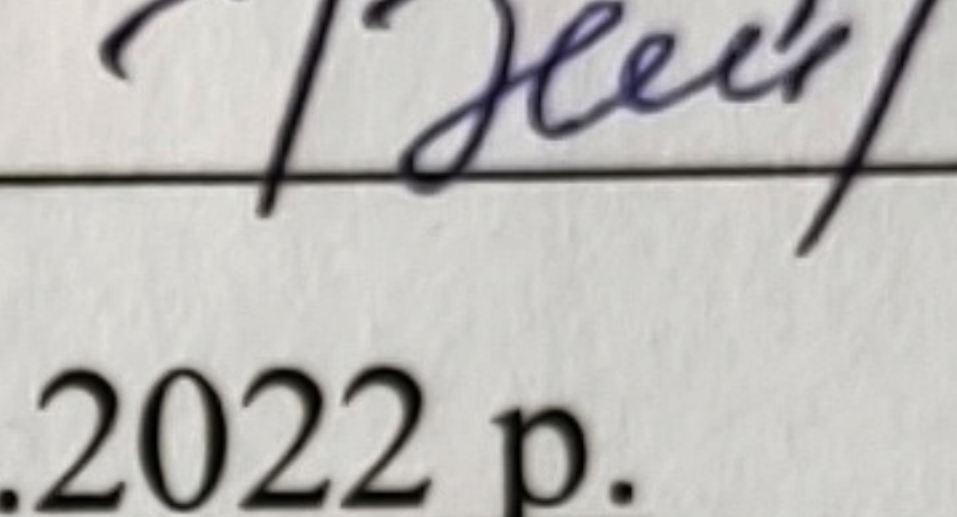
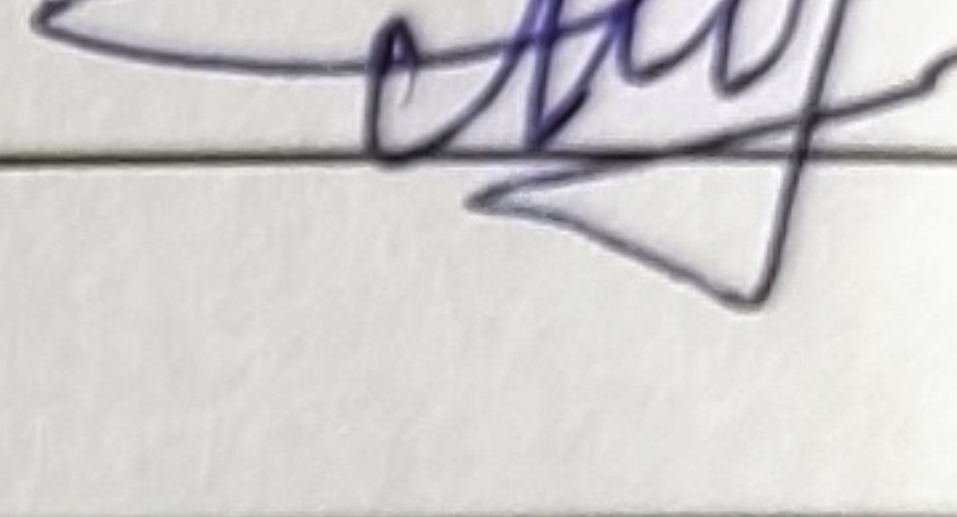
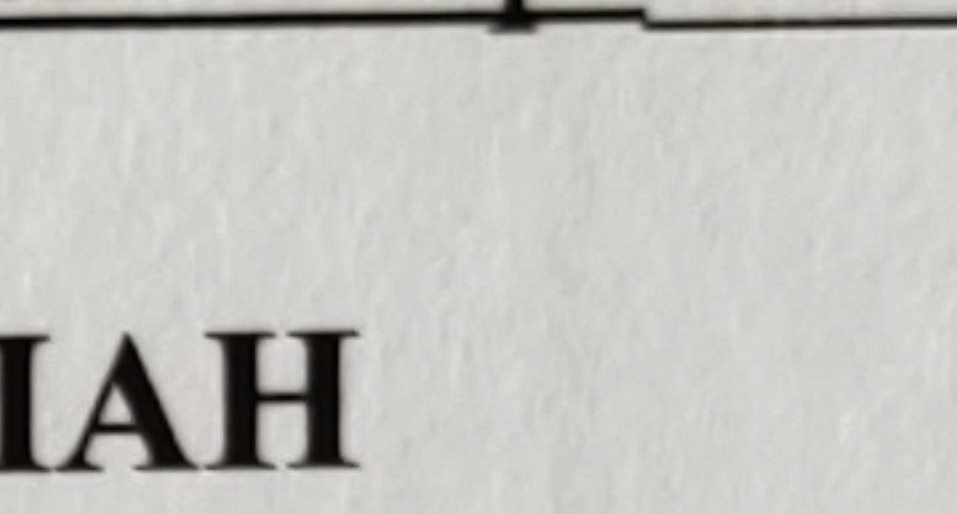
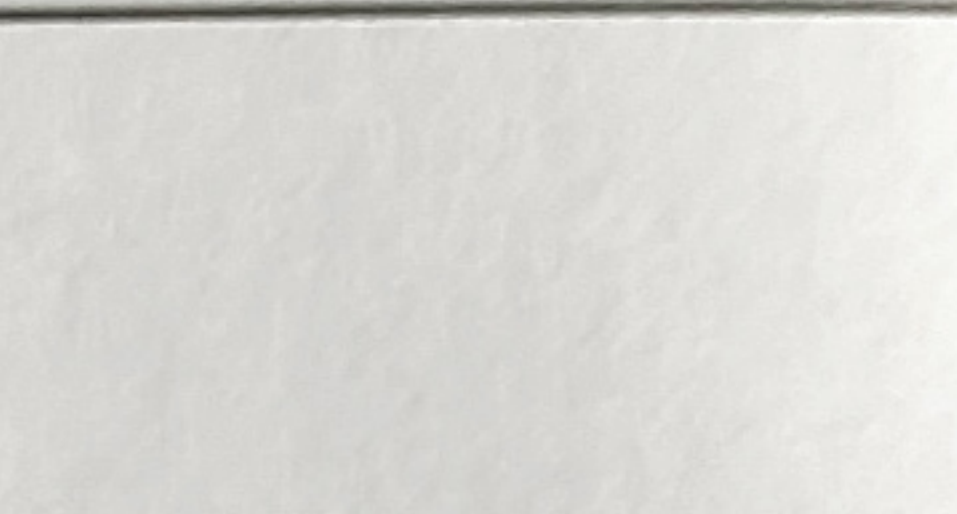
3 Вихідні дані до роботи: Мережі електропостачання напругою 6 - 10 кВ; питомі
витрати електроенергії на основні види продукції; загальне питоме
електроенергоспоживання; перелік компресорного обладнання цеху

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1) Аналіз технології виробництва стиснутого повітря в умовах
киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь» 2) Дослідження методів
підвищення енергоефективності виробництва стиснутого повітря 3) Техніко-
економічне обґрунтування впровадження заходів з енергозбереження в ККЦ
ПАТ «Запоріжсталь» 4) Охорона праці та техногенна безпека

5 Перелік графічного матеріалу 1) Споживання енергоресурсів киснево-
компресорним цехом пат «запоріжсталь» 2) План цеху 3) Технологічна схема
виробництва стиснутого повітря 4) пПовітряний турбокомпресор з системою

охолодження» 5) Принципова схема глибокої осушки стиснутого повітря застосуванням адсорбційних осушувачів та попередньої ступені осушки на базі ОСВ 6) Математична модель для розрахунку ККД електромеханічної системи 7) Економічні показники впровадження заходів

6 Консультанти розділів роботи

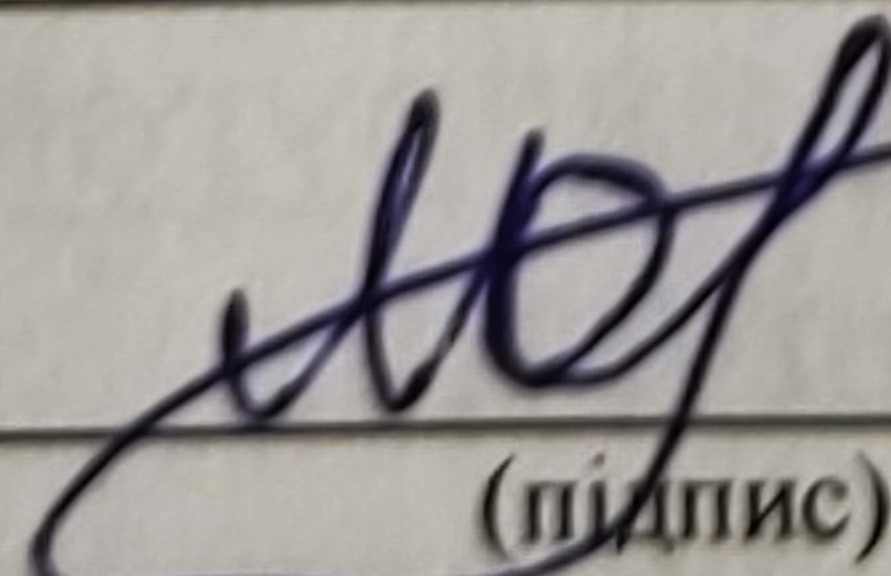
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 4	Башлій С.В., к.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології виробництва стиснутого повітря в умовах киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь»	30.09.2022	
2	Дослідження методів підвищення енергоефективності виробництва стиснутого повітря	30.10.2022	
3	Техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з енергозбереження в ККЦ ПАТ «Запоріжсталь»	19.11.2022	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2022	

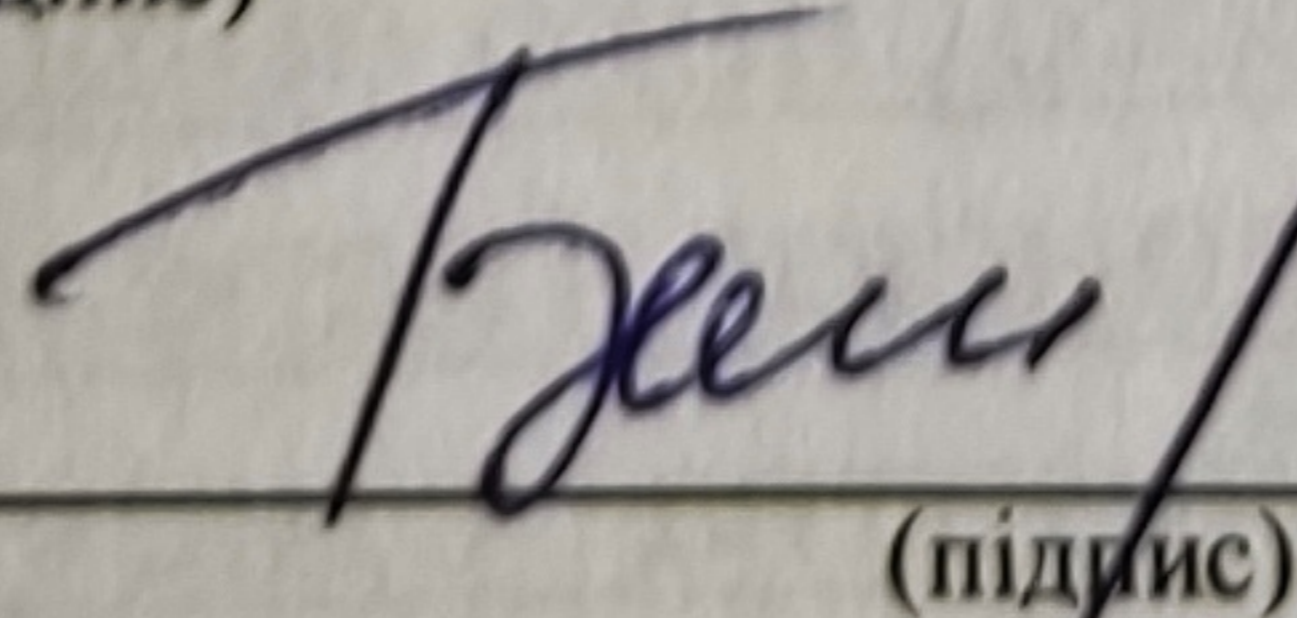
Студент


(підпис)

М. С. Сидорак

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

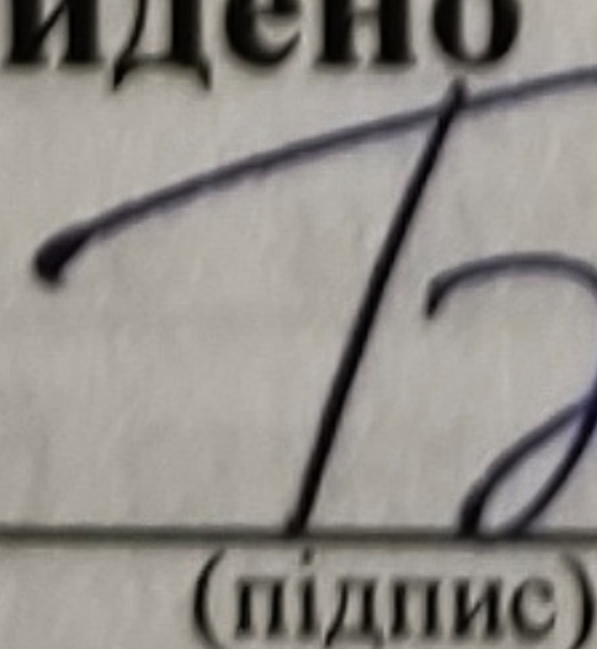

(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Сидорак М. С. Дослідження можливості підвищення ефективності електроспоживання киснево-компресорним цехом ПАТ «Запоріжсталь».

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник С.В. Башлій. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2022.

Метою роботи є пошук, аналіз та дослідження методів та можливостей з підвищення енергетичної ефективності виробництва стиснутого повітря шляхом впровадження новітніх наукових технологій та вдосконалення вже існуючих енергозберігаючих систем.

В роботі проаналізовано можливі шляхи підвищення енергетичної ефективності виробництва стиснутого повітря на підприємстві, проведено розрахунки показників ефективності проекту та всебічний аналіз проектів і прийняття на його основі обґрунтованих рішень щодо доцільності впровадження заходів.

Ключові слова: СТИСНУТЕ ПОВІТРЯ, ТУРБОКОМПРЕСОР, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА, ТИСК, ПНЕВМОМЕРЕЖА, ПНЕВОПРИЙМАЧІ, ТЕМПЕРАТУРА

ABSTRACT

Sydorak M. S. Research on the possibility of increasing the efficiency of electricity consumption by the oxygen-compressor workshop of PJSC "Zaporizhstal".

Qualification graduation work for the degree of master's degree in the specialty 141 - Electricity, electrical engineering and electromechanics, supervisor S.V. Bashley. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology. Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2022.

The purpose of the work is the search, analysis and research of methods and opportunities for increasing the energy efficiency of compressed air production by introducing the latest scientific technologies and improving existing energy-saving systems.

The paper analyzed possible ways of increasing the energy efficiency of compressed air production at the enterprise, calculated project efficiency indicators and comprehensive analysis of projects and made informed decisions on the feasibility of implementing measures based on it.

Keywords: COMPRESSED AIR, TURBOCOMPRESSOR, ENERGY EFFICIENCY, ELECTRIC ENERGY, ELECTRIC DRIVE REGULATION, PRESSURE, PNEUMATIC NETWORK, PNEUMATIC RECEIVERS, TEMPERATURE

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз технології виробництва стиснутого повітря в умовах киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь».....	11
1.1 Аналіз стану енергоефективності підприємства.....	11
1.2 Загальна характеристика енергоспоживання киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь».....	19
1.3 Огляд сучасного стану керування енергоспоживанням системи повітропостачання цеху	33
1.4 Обладнання та продукція киснево-компресорного цеху	38
2. Дослідження методів підвищення енергоефективності виробництва стиснутого повітря	49
2.1. Загальна інформація про виробництво стиснутого повітря.....	49
2.2. Централізація та децентралізація систем виробництва стиснутого повітря	55
2.3. Способи охолодження та осушення повітря	57
2.4. Застосування гідромуфт для регулювання відцентрованих компресорів.....	61
2.5. Автоматичне частотне регулювання електропривода турбокомпресора.....	65
2.6. Вдосконалення способів управління електропривода компресора.....	68
3 Техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з енергозбереження в ККЦ ПАТ «Запоріжсталь».....	80
3.1 Визначення загальних показників витрат.....	81
3.2 Розрахунок економічного ефекту від заміни повітряохолоджувачів.....	82
3.3 Економічна доцільність підігріву мережевої води парових котлів.....	85
3.3.1 Розрахунок капітальних вкладень.....	85
3.3.2 Визначення техніко-економічних показників впровадження підігрівачів.....	86

3.4 Загальні показники впровадження запропонованих заходів в умовах ККЦ ПАТ «Запоріжсталь».....	87
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	89
4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища.....	89
4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії.....	90
4.2.1 Природне і штучне освітлення.....	92
4.2.2 Санітарно - побутові приміщення.....	94
4.2.3 Шум і вібрація.....	95
4.3 Заходи з поліпшення умов праці.....	95
4.4 Електробезпека.....	96
4.5 Засоби індивідуального захисту.....	98
4.6 Пожежна безпека.....	99
4.7 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки.....	100
Висновки.....	106
Перелік посилань.....	109

ВСТУП

Проблема енергозбереження останніми роками є одним з найважливіших завдань, що стоять перед сучасним підприємством. В умовах ринкової економіки кожна зайва кіловат-година електроенергії лягає на собівартість продукції і врешті решт призводить до зниження її конкурентоспроможності.

У наш час практично всі споживачі електроенергії в промисловості нарощують зусилля, направлені на зменшення виробничих витрат, щоб бути більш конкурентоздатними в своєму сегменті ринку. А оскільки майже 90% промислових підприємств використовують в своїх технологічних процесах стиснуте повітря (що зручно, безпечно і дозволяє понизити витрати на виробництво), варто звернути увагу на економію енергії, що витрачається при роботі компресорів.

Більшість традиційно вживаних систем підготовки і транспортування стиснутого повітря вкрай неефективні — їх загальний ККД не перевищує 20%. Відповідно, підвищення ефективності цих систем дозволить досягти істотної економії енергоресурсів. Витоки повітря, неправильно вибраний робочий тиск, перешкоди потоку повітря можуть понизити ККД на 50% і більше та значно понизити витрату та тиск повітря в пневмомагістралях.

Стиснуте повітря використовується майже у всіх галузях народного виробництва. Його отримання, на яке витрачається близько 10% загального споживання, є одним з основних споживачів електричної енергії. При цьому втрати стиснутого повітря на шляху від джерела до кінцевого споживача можуть досягати 25-30%.

Широкому застосуванню стиснутого повітря, як енергоносія, сприяють його позитивні якості: пружність; швидка передача тиску; прозорість; нездатність до конденсації (в умовах навколишнього середовища); нешкідливість; висока транспортабельність; необмежений запас у природі.

Головна перевага стиснутого повітря як енергоносія – це можливість використання технологічних, малогабаритних та легких пневмоінструментів та пристроїв з високою питомою потужністю.

За транспортабельності повітря поступається тільки електриці і набагато перевершує пар, тому що має малі теплові втрати через відсутність конденсації в трубопроводах.

Але поряд з позитивними якостями і зручністю у використанні стиснуте повітря як енергоносіє має і недоліки: великі втрати через різні витоки (можуть досягати 10-40%); висока собівартість стиснутого повітря через велику енергоємність його виробництва.

Значна частина електроенергії, що підводиться до компресора, безповоротно перетворюється в тепло.

Компресорні установки є винятково енергоємними й неощадливими споживачами. Витрата електроенергії на виробництво стиснутого повітря на багатьох машинобудівних підприємствах становить 20-30%, а на деяких доходять до 50-70% загальної кількості енергії, що витрачає підприємство. Економічність роботи компресорних установок залежить від багатьох факторів, серед яких особливе місце посідає управління продуктивністю компресора. Основними причинами низьких енергетичних показників компресорної установки є непродуктивні втрати повітря, нераціональні режими охолодження компресорів при виробництві стиснутого повітря, нераціональне використання або не використання енергії тепла, яке відводиться від компресорних установок.

Звичайні компресори не можуть точно відслідковувати коливання потреби в стиснутому повітрі.

Розроблено компресори зі змінною швидкістю приводу, продуктивність яких може точно збігатися з витратою стиснутого повітря. Такі компресори здатні точно відслідковувати коливання витрат, змінюючи швидкість обертання приводного електродвигуна. Це головна особливість таких компресорів. Вони

зменшують до мінімуму споживання енергії за рахунок того, що повністю припиняють споживати електроенергію під час розвантаження. Це економить до 35% електроенергії, що означає економію до 22% всіх витрат за термін служби компресора. Використання стандартних двигунів змінного струму обмежує робочі можливості компресора. Компресори зі змінною швидкістю приводу відрізняє можливість працювати в широкому діапазоні продуктивностей і повна відсутність режиму холостого ходу або розвантаження.

Сучасними способами регулювання швидкості обертання синхронного двигуна є частотне регулювання кутової швидкості синхронного двигуна та вентильним двигуном. Частотний перетворювач змінює швидкість обертання електродвигуна і автоматично забезпечує споживача стиснутим повітрям заданого тиску, в необхідній кількості без утворення надлишків, що зменшує енергоспоживання.

На основі аналізу компресорної установки, основними способами підвищення ефективності компресорної установки є: завдання мінімального робочого тиску; децентралізація компресорної системи за допомогою багатофункціональних компресорів; встановлення додаткового блоку рекуперації; зниження споживання електроенергії; управління продуктивністю компресора. Серед них управління продуктивністю компресора є найбільш ефективним способом підвищення ефективності виробництва стиснутого повітря.

Вартість виробництва стиснутого повітря складається з вартості обладнання, вартості проведення технічного обслуговування та витрат за споживання енергоресурсів. Доля енерговитрат складає приблизно 70%. З урахуванням зростання тарифів найгострішим питанням для підприємств стає питання підвищення енергоефективності.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ В УМОВАХ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

1.1 Аналіз стану енергоефективності підприємства

Виробництво стиснутого повітря в металургійній галузі виконує свою саму древню функцію - бере участь у технологічних процесах як реагент, що містить кисень. Головна функція стиснутого повітря в металургії - дуття, тобто подача стиснутого повітря у всілякі виробничі агрегати - домни, мартени, конвертери. Дуття є необхідним чинником технологічних процесів у цих агрегатах, тому що без повітря, а точніше без кисню, немає горіння

Стиснуте повітря настільки широко використовується в промисловості, що будь-який перелік його використання буде неповним. Жодне промислове або одиничне виробництво не може обійтися без стиснутого повітря; жодна лікарня, готель, електростанція або корабель не можуть функціонувати без нього. Він використовується в гірничодобувній промисловості, лабораторіях, аеропортах і портах. Стиснуте повітря необхідне як для виробництва харчових продуктів, так і для виробництва цементу, скла, паперу й тканин, у лісопереробній і фармацевтичній промисловості.

Застосування стиснутого повітря дозволило механізувати й інтенсифікувати ряд технологічних процесів у промисловості. Широкому використанню стиснутого повітря як енергоносія сприяли його особливі властивості: пружність, прозорість, нешкідливість, негорючість, нездатність до конденсації, швидка передача тиску й необмежений запас у природі. Однак виробництво стиснутого повітря дорогий процес, тому що він вимагає великої кількості електричної енергії на привід компресорів. На ряді підприємств витрата електричної енергії на вироблення стиснутого повітря досягає 20...30% від загальної кількості споживаної електричної енергії.

Стиснуте повітря використовують: всі типи машин і пристроїв мають пневматичний привід і керування. Пневматичний інструмент використовується для розтягання, розпилення, полірування й заточування, для штампування, продувки, очищення, свердління й переміщення. Незліченні хімічні, технічні й фізичні процеси й технології управляються з використанням стиснутого повітря.

Стиснуте повітря - це стисле атмосферне повітря. Атмосферне повітря - це повітря, яким ми дихаємо. Це суміш різних газів: 78% азот, 21% кисень й 1% інші гази.

Стан газу описується трьома параметрами: тиск p температура T питомий обсяг V питомий обсяг

Повітря середнього тиску необхідний для пуску основних або допоміжних суднових дизельних двигунів, генераторів на дизельних електростанціях. Стислий до 30-40 бар повітря використовується в промисловості, наприклад, для випробування виробів на герметичність і міцність, а також для виробництва полімерної тари (тобто в ПЕТ індустрії).

Високий тиск необхідно в більшості областей використання для зберігання більших обсягів стиснутого повітря в максимально малих ємностях. Наприклад, для одержання й зберігання атмосферного повітря в посудинах під тиском 225 й 330 бар, які використовують аквалангісти, професійні водолази, рятувальники й пожежні.

Застосування стиснутого повітря високого тиску в сполученні з високою температурою створює оптимальні умови при фарбуванні виробів зі свинцю утримуючими фарбами. У металургії при видаленні окалини стиснуте повітря управляє струменем води під високим тиском. У гідрометалургії стиснуте повітря застосовується в автоклавному виробництві нікелю, вольфраму.

Компресори високого тиску застосовуються при розвідці, освоєнні, експлуатації й обслуговуванні родовищ, при будівництві нових і модернізації існуючих об'єктів нафтової й газової промисловості, при навчанні технічного

персоналу по експлуатації трубопровідних систем. Стиснуте повітря застосовується для продувки й осушки трубопроводів, при ремонтних роботах на діючих, а також при зварювальних роботах на нових трубопроводах, коли необхідно забезпечити герметичність швів.

На розподільних трансформаторних підстанціях компресори високого тиску (100-420 бар) використовується для активації електричних перемикачів, за допомогою яких регулюється подача електроенергії, переданої з підстанції кінцевим споживачам. Сухе стиснуте повітря використовується для ізоляції силових перемикачів від навколишнього повітря високої вологості. Стиснуте повітря за частки секунди гасить високовольтну дугу у високовольтних розмикачах.

В основному для повітряної компресії застосовуються центробіжні багатоступінчасті компресори із проміжним охолодженням повітря між щаблями типу К-1700, К-1500, К-500, К-250.

Не меншу роль грає стиснене повітря при виплавці сталі. У мартенівські печах якщо процес виплавки чавуну - відбудовний, то виплавка сталі із чавуну й металевого лома - окисний процес. При виплавці сталі віддаляються домішки - вуглець, кремній, марганець, які окисляються.

Стиснене повітря, вироблений у киснево-компресорному цеху використовується на технологічні потреби в мартенівські (25-70%), прокатних (15-35%) і доменних цехах (5-15%). Витрата стисненого повітря в доменних цехах значно перевищує витрата повітря в яких-небудь інших виробництвах. Так, для одержання 1т чавуну необхідно близько 3000 м³ повітря при нормальних умовах. Для дуття в доменні печі необхідне повітря тиском 0,3-0,4 МПа.

Проаналізуємо споживання стисненого повітря на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» на рисунку 1.1

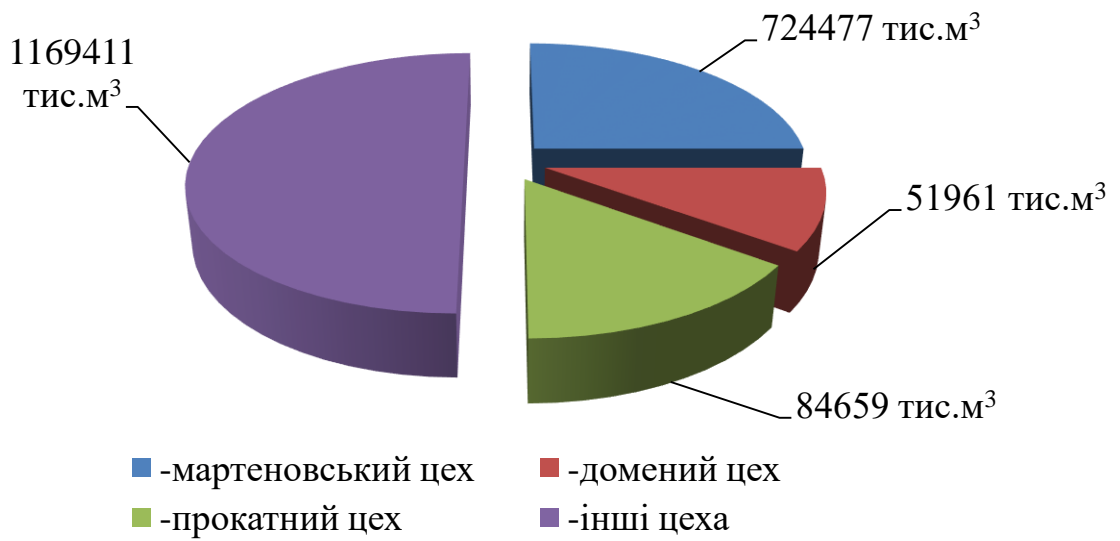


Рисунок 1.1-Споживання стисненого повітря в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

На рисунку 1.2 досліджуємо споживання електроенергії на ПАТ «Запоріжсталь»

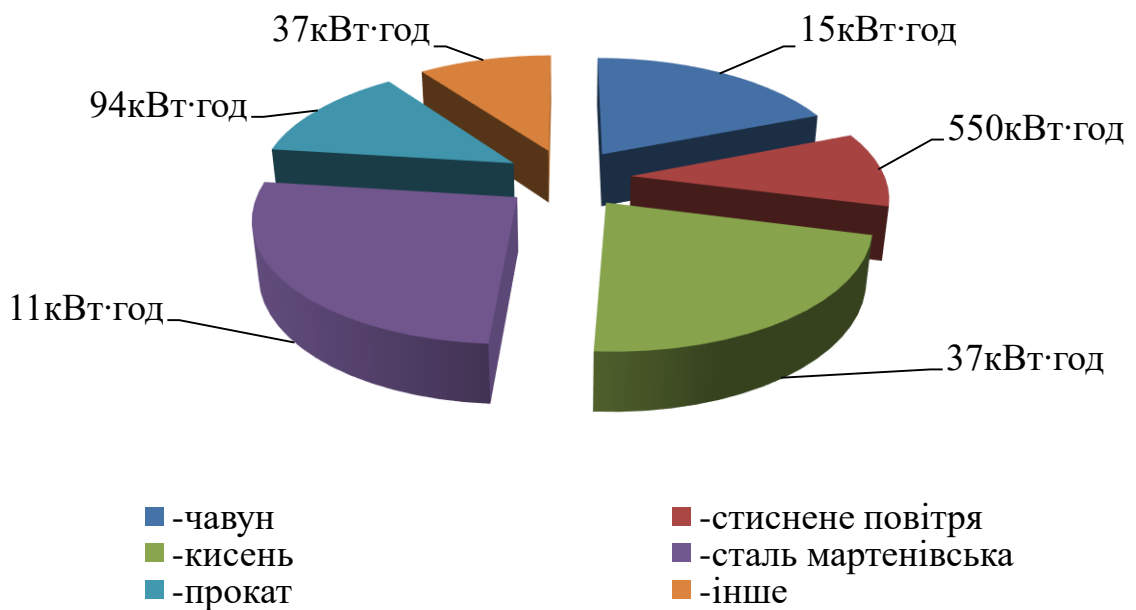


Рисунок 1.2 - Споживання електроенергії на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь»

Дослідження витрат електроенергії на одиницю продукцію підприємства приведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1-Питомі витрати електроенергії на основні види продукції підприємства «Запоріжсталь»

Продукція	Одиниця виміру	Величина
Чавун	кВт·год/т	15
Сталь мартенівська	кВт·год/т	11
Прокат	кВт·год/т	94
Кисень	кВт·год/тис. м ³	490
Стиснуте повітря	кВт·год/тис. м ³	550
Інше	кВт·год/т	37

Стиснене повітря до споживачів транспортують за допомогою розвитий мережі повітропроводів, з повітродувної й компресорної станцій роздільно. Повітропроводи до доменної печі теплоізолювані, тому що температура повітря після стиску підвищується до 200⁰С.

Для спалювання палива у випалювальних, нагрівальних і термічних печах використовують стиснене повітря тиском 0,003-0,01 МПа, подаваний відцентровими нагнітачами (вентиляторами), установлюваними в безпосередній близькості від споживача.

Загальна вимога для стисненого повітря - відсутність механічних домішок, вологи, пар масла. Одержання стисненого повітря вимагає значних витрат (так, вартість доменного дуття - 30% вартості чавуну).

СПП промислового підприємства строго відповідає даному вище визначенню системи, включаючи основні її елементи: компресорну станцію, комунікації стисненого повітря й розподільні пристрої споживача. Вона призначена для централізованого забезпечення різноманітних промислових споживачів стисненим повітрям необхідних параметрів (тиск, температура, витрата, вологість) відповідно до заданого графіка споживання. СПП містить у собі компресорні й повітродувні станції, трубопровідний і балонний транспорт

для подачі стисненого повітря до споживачів і розподільні пристрої стисненого повітря самого споживача.

Компресорна станція для виробництва стисненого повітря включають у свій склад пристрою для забору повітря, очищення його від пилу, компресори й приводні двигуни, теплообмінники охолодження, допоміжне устаткування, призначене для додаткової обробки повітря. Залежно від необхідних споживачам витрати повітря і його тиску станції обладнуються відцентровими компресорами з надлишковим тиском стисненого повітря 0,35-0,9 МПа й одиничною продуктивністю 250-7000 м³/хв або поршневіми - відповідно з тиском 3-20 МПа й одиничною продуктивністю не більше 100 м³/хв.

Частка витрати первинної енергії для виробництва стисненого повітря на різні потреби коливається від 5 до 30% від загального енергоспоживання на виробництво кінцевого технологічного продукту.

Велике значення стисненого повітря як енергоносія визначається ще й тим, що від надійності систем повітропостачання залежить і надійність, а в ряді випадків і безпека здійснення технологічного процесу. Припинення подачі повітря в більшості випадків веде до великої аварії на підприємстві.

У металургії зосереджені й самі великі компресорні агрегати як поршневі, так і турбокомпресори. Деякі з них, наприклад, КТК-25 та КТК-12,5, створені спеціально для доменних печей заводів чорної металургії. На підприємстві металургії найбільший відсоток турбокомпресорів із загальної кількості компресорних машин, а частка поршневих компресорів становить близько 20% й є тенденція до її зменшення.

Для СПС із турбокомпресорами роль ємностей, що акумулюють, виконують трубопроводи, діаметр і довжина яких досить великі. Найпоширеніша схема повітропостачання великих технологічних споживачів стисненого повітря (наприклад, доменних печей) показана на рисунку у нуоку 1.3 представлена схема план цеху.

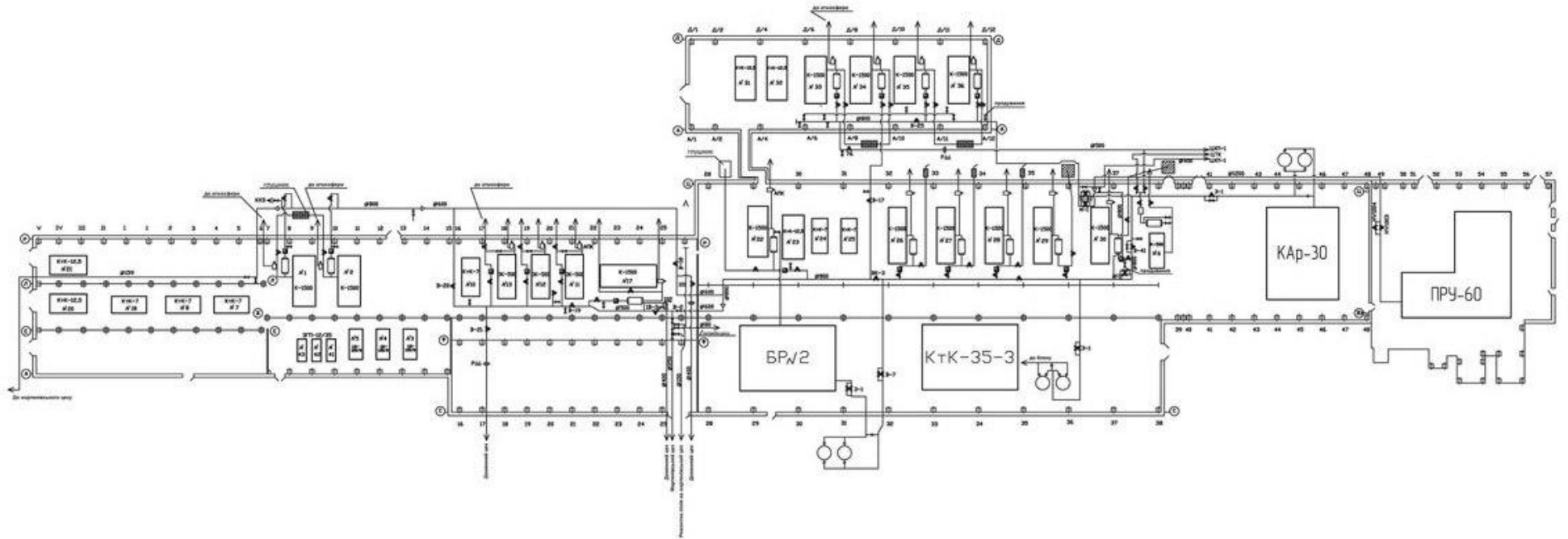


Рисунок 1.3- Схема киснево-компресорного цеху з повітряпроводом стиснутого повітря

Частка енергоспоживання на виробництво стисненого повітря на підприємствах становить 5-7% від загальної витрати енергії на виробництво основного продукту цеху, підприємства, а питомі витрати енергії на виробництво стисненого повітря становлять від 80 до 140 кВт·год/1000 м³ (залежно від типу компресорів, умов охолодження й експлуатації).

Витрата стисненого повітря на одиницю продукції для найбільш великих технологічних споживачів становить: для виробництва чавуну 800-1000 м³/т чавуни, мартенівської сталі 60-140 м³/т сталі, конвертерної сталі 30 м³/т сталі, електросталі 70 м³/т сталі, на прокатних станах 20 ÷ 50 м³/т проката. Більші кількості споживання стисненого повітря одиничним споживачам й індивідуальний технологічний режим споживання приводять до необхідності блокового компонування компресора й технологічного агрегату з індивідуальним регулюванням і розташуванням компресора в споживача.

Порівняно із чорною металургією по абсолютних масштабах споживання стисненого повітря на підприємствах кольорової металургії, хоча в цій галузі й відсутні такі великі одиничні споживачі, як доменні печі або конвертори. Цим порозумівається й велика розмаїтість застосовуваних для повітропостачання нагнітальних машин: відрізняються по продуктивності й тиску поршневих компресорів, турбокомпресорів й особливо повітродувок з тиском нагнітання від 0,15 до 0,25 МПа.

Також споживачі стисненого повітря зосереджені в ливарних і ковальських цехах. Велика розмаїтість дрібних споживачів, індивідуалізація режимів їхньої роботи визначає складні графіки повітряспоживання, що характеризуються значної добової й тижневої нерівномірність. Більші кількості стисненого повітря споживають повітрярозділовими установками (ПРУ). Цей тип споживача може розглядатися як відособлено, так й у якості під галузі.

Установки великої продуктивності й низького тиску з одиничним споживанням повітря (20000 ÷ 90000) м³/год обслуговуються турбокомпресорами К-1500-62-2, К-250-41-2, К-500-42-1. В установках

середньої й малої продуктивності тиск споживаного повітря може бути $3\div 20$ МПа, і для цих ПРУ використовуються поршневі, а останнім часом і гвинтовими компресорами.

Постачання споживачів на промислових підприємствах повітрям значною мірою здійснюється від локальних повітряподаючих установок і станцій. Загальна централізована система повітрязабезпечуючих застосовується тільки для деяких окремих параметрів, у першу чергу компресорного повітря. Звичайно промислове підприємство обладнане однієї або декількома компресорними станціями, які забезпечують всіх споживачів стисненого повітря тиском 4-7 атм. Повітря інших параметрів подається споживачам від місцевих установок. Подібна структура схеми повітропостачання викликана рядом міркувань. По-перше, більшість споживачів вимагає кожний своїх конкретних параметрів повітря. Забезпечити централізованим повітропостачанням весь набір цих параметрів досить складно. Переважна більшість металургійних споживачів, особливо великих, забезпечуються повітрям від власних установок. При цьому установка або станція може обслуговувати або окремий агрегат (наприклад, пекти), або групу агрегатів, в основному, однотипних.

1.2 Загальна характеристика енергоспоживання киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

Киснево-компресорний цех (ККЦ) є одним з найбільш енергоємних цехів ПАТ «Запоріжсталь».

Основною продукцією цеху в газоподібному вигляді є технічний кисень і чистий азот, в рідкому вигляді — аргон і частково кисень. Попутно з отриманням основних продуктів можливе отримання кріптонового концентрату і неону-гелієвої суміші.

Рідкий технічний кисень, аргон і азот перевозять в транспортних цистернах для рідкого кисню та азоту .

Крім вище зазначених продуктом виробництва цеху також є стиснене повітря, без застосування якого сьогодні не може обійтися жодне промислове підприємство, адже він є доступним і дешевим джерелом як сировинним, так і енергетичним.

Особливо широко стиснене повітря використовується в промисловості і будівництві. Джерелами стисненого повітря служать як невеликі мобільні установки, так і великі стаціонарні компресорні станції, пов'язані зі споживачами через мережу повітропроводів, що в сукупності утворює систему повітропостачання промислового підприємства. Системи повітропостачання призначені для вироблення стисненого повітря необхідних параметрів і безперебійного забезпечення ним технологічних потреб підприємства.

В залежності від профілю підприємства, виробництва стиснене повітря сьогодні використовується для:

- здійснення основних технологічних процесів;
- енергетичного застосування, пов'язаного з використанням повітря як окислювача при спалюванні різних палив або як теплоносія для нагріву чи охолодження газів і рідин;
- забезпечення роботи пневмоінструменту і пневмоприводів, живлення машин ливарних і ковальських виробництв, будівельних машин і механізмів, виконання обдувних, піскоструминних, фарбувальних та інших робіт на виробничих підприємствах різного профілю діяльності;
- забезпечення роботи технологічних комплексів і пристроїв;
- забезпечення роботи пневматичних систем, систем КВП і А та багато іншого в техніці.

В металургії повітря застосовується як реагент, що містить O_2 . Головна функція - дуття, тобто подача стисненого повітря в різні агрегати- домни, мартени, конвертори. Це вкрай необхідно для горіння у всіх металургійних процесах.

Загальна вимога для стисненого повітря - відсутність механічних домішок, вологи, пар масла. Очищення від механічних домішок здійснюється за допомогою фільтрів, а від вологи й пар масла - шляхом охолодження стисненого повітря. Однак при цьому не вся волога конденсується, і її наявність у трубопроводах може привести до утворення взимку крижаних пробок. Одержання стисненого повітря вимагає значних витрат (так, вартість доменного дуття - 30% вартості чавуну). СПС промислового підприємства строго відповідає даному вище визначенню системи, включаючи основні її елементи: генератор - компресорну станцію, комунікації стисненого повітря й розподільні пристрої споживача. Вона призначена для централізованого забезпечення різноманітних промислових споживачів стисненим повітрям необхідних параметрів (тиск, температура, витрата, вологість) відповідно до заданого графіка споживання. СПС містить у собі компресорні й повітродувні станції, трубопровідний і балонний транспорт для подачі стисненого повітря до споживачів і розподільні пристрої стисненого повітря самого споживача.

Стиснене повітря на промисловому підприємстві використовується по двох основних напрямках: технологічному і силовому.

В даний час в ККЦ розміщено 32 компресорів, де з них 17 повітряні турбокомпресори, 10 кисневих турбокомпресорів та 6 азотних компресорів. Які постачають повітря, а також інші рідкі гази до споживача на даний момент часу в цеху працюють 5 повітряних компресорів які забезпечують стисненим повітрям повітророзподільний блок ВРУ-60 та окремо інших споживачів спільного повітряпроводу заводу.(таблиці 1.2-1.3)

Компресорна станція для виробництва стисненого повітря включають у свій склад пристрою для забору повітря, очищення його від пилу, компресори й приводні двигуни, теплообмінники охолодження, допоміжне устаткування, призначене для додаткової обробки повітря. Технічну характеристику повітряного турбокомпресора наведено в таблиці 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 - Основні технічні характеристики компресора

Компресор Тип	Одиниця виміру	К-1500-62-2	К - 250 - 61 -5
Робітниче середовище	-	повітря	повітря
Продуктивність	м ³ /хв	1490	255
Тиск усмоктування	кПа	95,2	1
Тиск нагнітання	МПа	0,736	0,9
Початкова температура	°С	20	20
Температура на виході з компресора	°С	100	40
Споживана потужність	МВт	9,6	1,6-3,2
Частота обертання ротора компресора	об/хв.	14550	13095
Змащення підшипників	-	примусова циркуляційна	примусова циркуляційна

Проаналізуємо технічні характеристики кисневого компресора в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 - Основні технічні характеристики кисневого компресора

Компресор Тип	Одиниця виміру	КТК-12,5/35
Робоче середовище	-	кисень
Продуктивність	м ³ /хв	3,47 (208)
Тиск усмоктування	кПа	0,1 (1)
Тиск нагнітання	МПа	3,43 (35)
Початкова температура	°С	20
Температура на виході з компресора	°С	40
Споживана потужність	МВт	3150
Частота обертання ротора компресора	об/хв.	13800

Компресорна установка КТК-12,5/3,5 призначена для стиску газоподібного кисню на підприємствах металургійної й хімічної промисловості. Може бути використана в інших галузях народного господарства при роботі в умовах, що відповідають її характеристиці. Випускається у двох виконаннях: із приводними електродвигунами на напругу 6000 й 10000В.

Стиснене повітря до споживачів транспортують за допомогою розвитий мережі повітропроводів, з повітродувної й компресорної станцій роздільно. Повітропроводи до доменної печі теплоізолювані, тому що температура повітря після стиску підвищується до 200⁰С. Ці повітропроводи мають діаметри, що досягають 2500 мм.

Для спалювання палива у випалювальних, нагрівальних і термічних печах використовують стиснене повітря тиском 0,003-0,01 МПа, подаваний відцентровими нагнітачами (вентиляторами), установлюваними в безпосередній близькості від споживача. Велике значення стисненого повітря як енергоносія визначається ще й тим, що від надійності систем повітропостачання залежить і надійність, а в ряді випадків і безпека здійснення технологічного процесу.

Припинення подачі повітря в більшості випадків веде до великої аварії на підприємстві.

У металургії зосереджені й самі великі компресорні агрегати як поршневі, так і турбокомпресори. Деякі з них, наприклад, КТК-25 і КТК-12,5, створені спеціально для доменних печей заводів чорної металургії. На підприємстві металургії найбільший відсоток турбокомпресорів із загальної кількості компресорних машин, а частка поршневих компресорів становить близько 20% й є тенденція до її зменшення.

Також споживачі стисненого повітря зосереджені в ливарних і ковальських цехах. Велика розмаїтість дрібних споживачів, індивідуалізація режимів їхньої роботи визначає складні графіки повітрязабезпечення, що характеризуються значної добової й тижневої нерівномірності. Більшої

кількості стисненого повітря споживають повітрянорозділові установки (ПРУ). Цей тип споживача може розглядатися як обособлено, так й у якості під галузі.

Особливість споживання повітрянорозділовими станціями визначається специфікою самих ПРУ, експлуатаційні режими яких важко піддаються регулюванню. Тому графіки навантажень повітряних компресорів для БРЕШУ постійні. Параметри стисненого повітря як вихідної сировини для повітрянорозділових установок різноманітні й також визначаються типом установок.

Постачання споживачів на промислових підприємствах повітрям значною мірою здійснюється від локальних повітряпіддаючих установок і станцій. Загальна централізована система повітряспоживання застосовується тільки для деяких окремих параметрів, у першу чергу компресорного повітря. Звичайно промислове підприємство обладнане однієї або декількома компресорними станціями, які забезпечують всіх споживачів стисненого повітря тиском 4-7 атм. Повітря інших параметрів подається споживачам від місцевих установок. Подібна структура схеми повітропостачання викликана рядом міркувань. По-перше, більшість споживачів вимагає кожний своїх конкретних параметрів повітря. Забезпечити централізованим повітропостачанням весь набір цих параметрів досить складно. Транспортування повітря від загальних повітрязабезпечуючих станцій зажадали б великого числа довгих і розгалужених трубопроводів різного діаметра, що перетинають у всіх напрямках територію заводу.

На комбінаті облік вироблення й споживання стисненого повітря виробляється як по приладах, так і розрахунковим шляхом. Прилади обліку встановлені не по всіх уведеннях.

Розрахунковий спосіб визначення споживання стисненого повітря має ряд недоліків. У розрахунку тільки діаметр труб є величиною постійної. Інші параметри змінюються згодом. Отже, якщо про продуктивність компресорних станцій можна говорити з великою впевненістю (погрішність приладів), те про

споживання стисненого повітря при відсутності приладів обліку можна судити тільки побічно.

В дослідницькій роботі розглянемо повітряпосточання на підприємстві ,щоб детальніше зрозуміти обсяги споживання стисненого повітря транспортування від загальних повітрязабезпечуваючуваної станції зажадали б великого числа .

У таблиці 1.4 представлені дані про споживання й тиск стисненого повітря споживачами ПАТ «Запоріжсталь».

Таблиця 1.4 - Споживання стиснутого повітря в умовах ВАТ «Запорожсталь»

ЦЕХ	Одиниця виміру	Величина	Тиск , <i>P</i> кг/см ²
1	2	3	4
Товарне стиснене повітря	тис.м ³	9031,590	5,5
Доменний	тис.м ³	51961,936	5,5
Мартеновський	тис.м ³	724477,608	6
Обжимной	тис.м ³	44646,936	5,5
ЦГПТЛ	тис.м ³	96313,288	6,4
в т.ч. ЦГП	тис.м ³	1077,480	6
Холодної прокатки-1	тис.м ³	84659,698	6
Копровий	тис.м ³	129,000	6
Аглоцех	тис.м ³	40053,432	6
Холодної прокатки-3	тис.м ³	14338,008	6
Ливарний	тис.м ³	30779,520	6
ч. ізложниці	тис.м ³	16158,720	6
саничний	тис.м ³	4389,018	6
МО-4	тис.м ³	726,092	6

Продовження таблиці 1.4

	2	3	4
Водозабезпечення	тис.м ³	27000,000	5,8
ЦСП	тис.м ³	90,000	5,6
ТЕЦ	тис.м ³	18795,000	5,6
ЦТНП	тис.м ³	88,896	5,5
ЦЗЛ	тис.м ³	1350,000	7
ЦЛАМ	тис.м ³	83,496	6
ЦРМО-1	тис.м ³	1080,000	5,6
ЦРПО	тис.м ³	2700,000	6
ЦРМП	тис.м ³	1350,000	6
Газовий	тис.м ³	5220,000	6
УЖДТ	тис.м ³	13955,624	6
ЦМК	тис.м ³	102,704	6
ЦПП	тис.м ³	61,188	6
ЦПС	тис.м ³	4380,826	5,5
ККЦ	тис.м ³	631,652	5,6
Вт.ч. ізложниці	тис.м ³	16158,720	6
Загалом	тис.м ³	1169411,586	5,9

Фактичне вироблення й споживання не дають подання про необхідний (нормативному) споживанні стисненого повітря. Кожен пристрій, технологічні процеси й т.д. для оптимального функціонування повинні одержувати певне (нормативне) кількість стисненого повітря при нормативному тиску.

Для одержання достовірної інформації про нормативне споживання стисненого повітря минулого було досліджено з узятих тижневих споживане стиснене повітря з цехів підприємства «Запоріжсталь».

За даними тижневих звітів по відпустці стисненого повітря 2012 роках були побудовані добові графіки споживання стисненого повітря споживачами,

які представлені на рисунку 1.4-1.9. Аналіз отриманої інформації говорить про те, що споживання стисненого повітря має однаково виробництво в якийсь час доби. По даних графіках одержимо максимальні-можливі витрати в споживачів, які були використані при автоматизованому технологічному прогнозуванні стисненого повітря.

У системах програмного регулювання задане значення регульованої величини змінюється в часі по заздалегідь заданій програмі. Програмне регулювання знаходить застосування при автоматизації термічних процесів на виробництві, при автоматизації керування пусковими процесами, при автоматизації технологічних режимів відповідно до прийнятих програмних графіків, а також при автоматизації різних процесів, що мають циклічний характер.

Проаналізуємо технічні споживання стисненого повітря та електроенергії за тиждень в рисунках 1.4-1.9

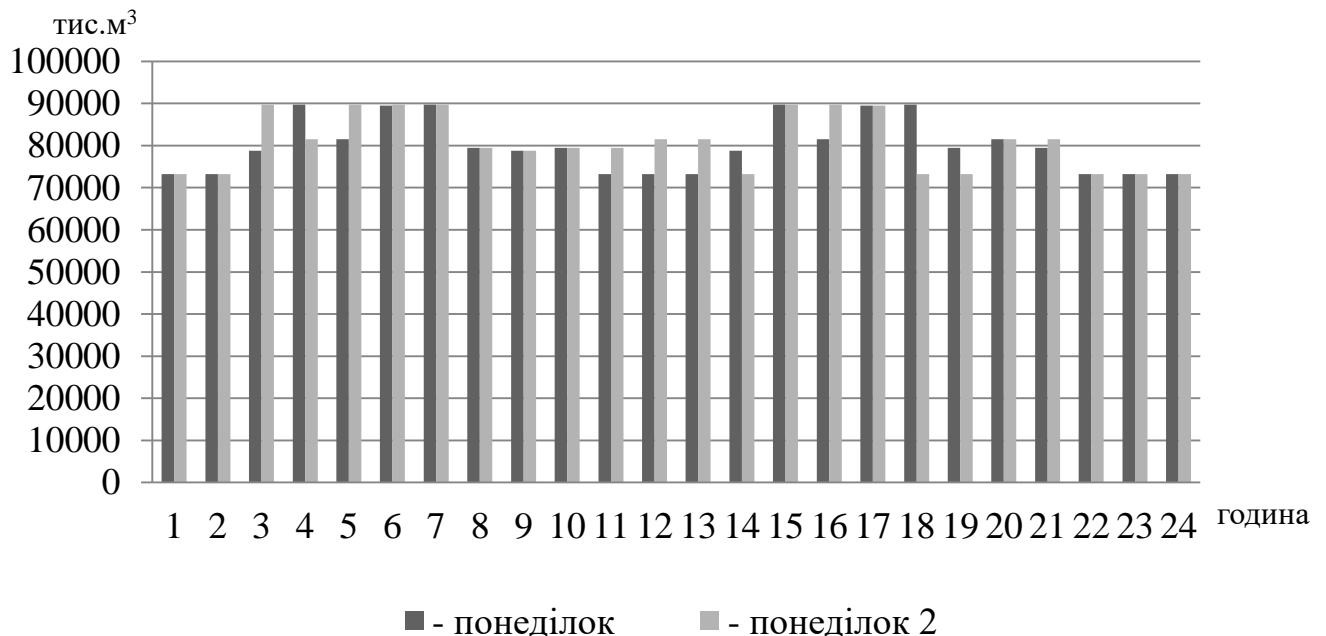


Рисунок 1.4- Виробництво стисненого повітря за понеділок

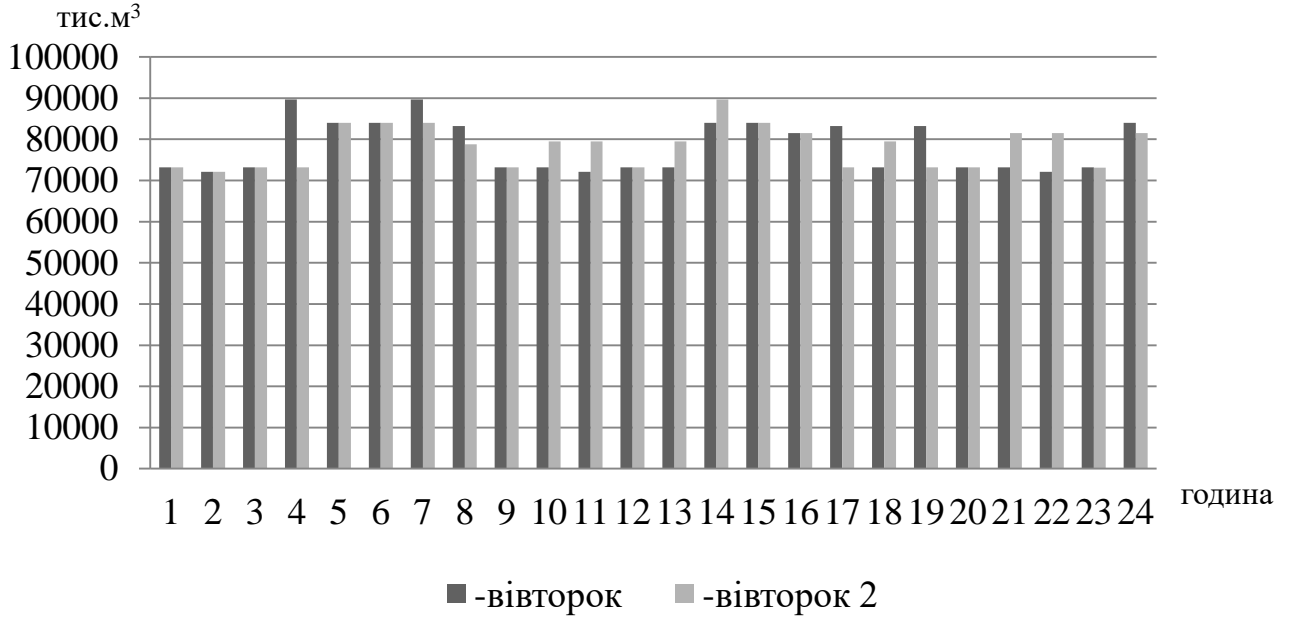


Рисунок 1.5 - Виробництво стисненого повітря за вівторок

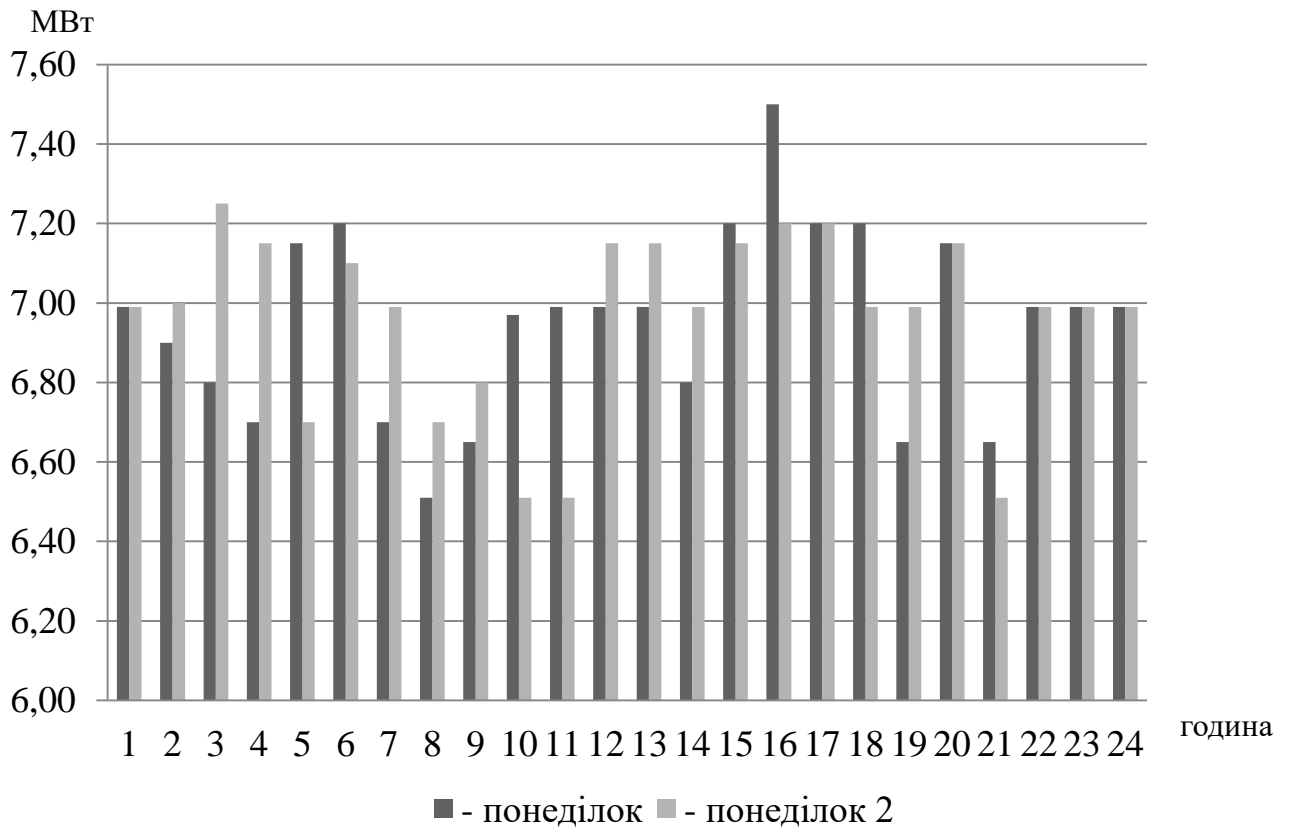


Рисунок 1.6 - Споживання електроенергії у вівторок

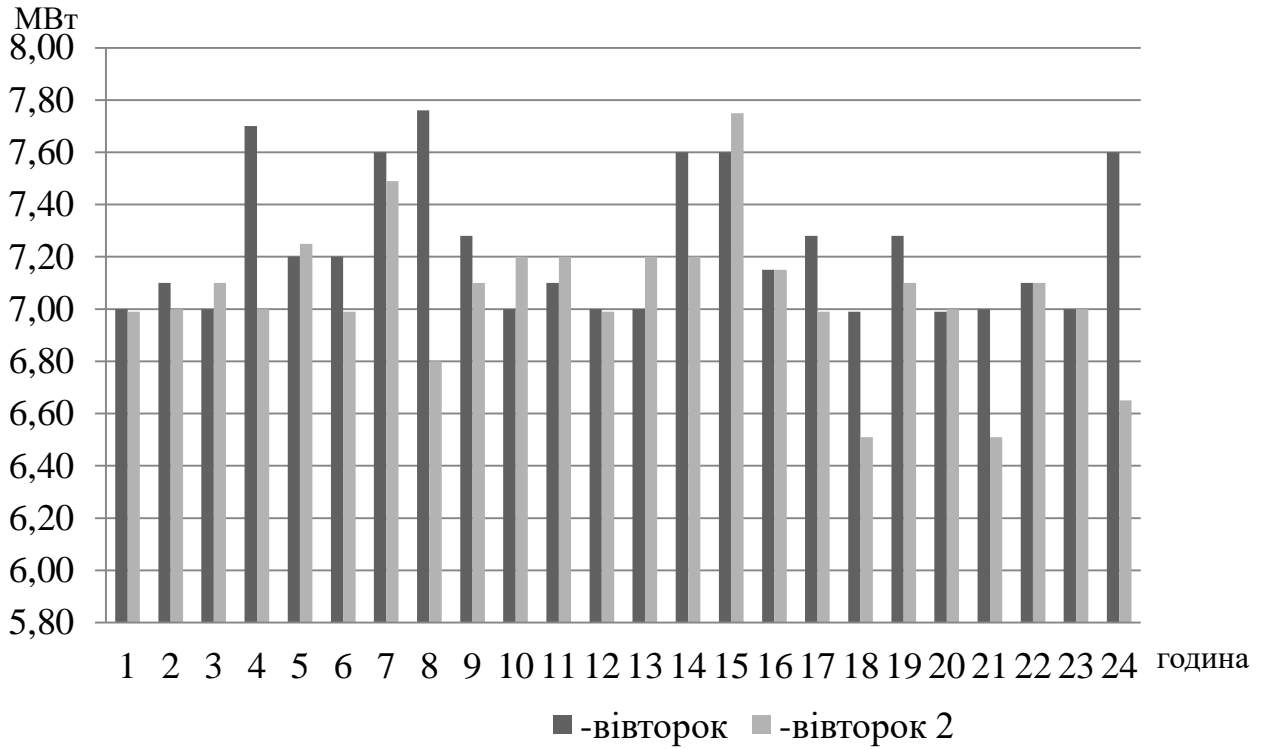


Рисунок 1.7- Споживання електроенергії у вівторок

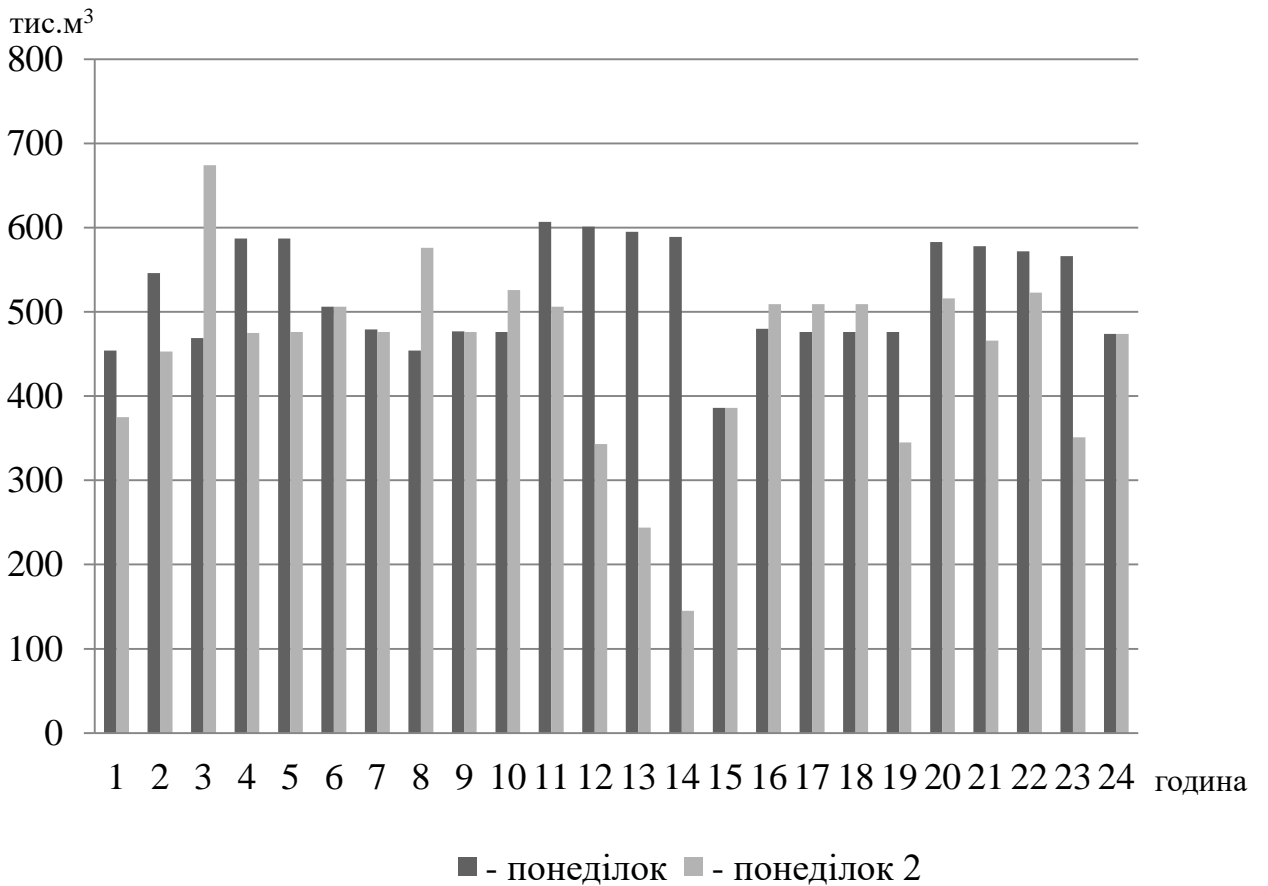


Рисунок 1.8 - Витрати стисненого повітря за понеділок

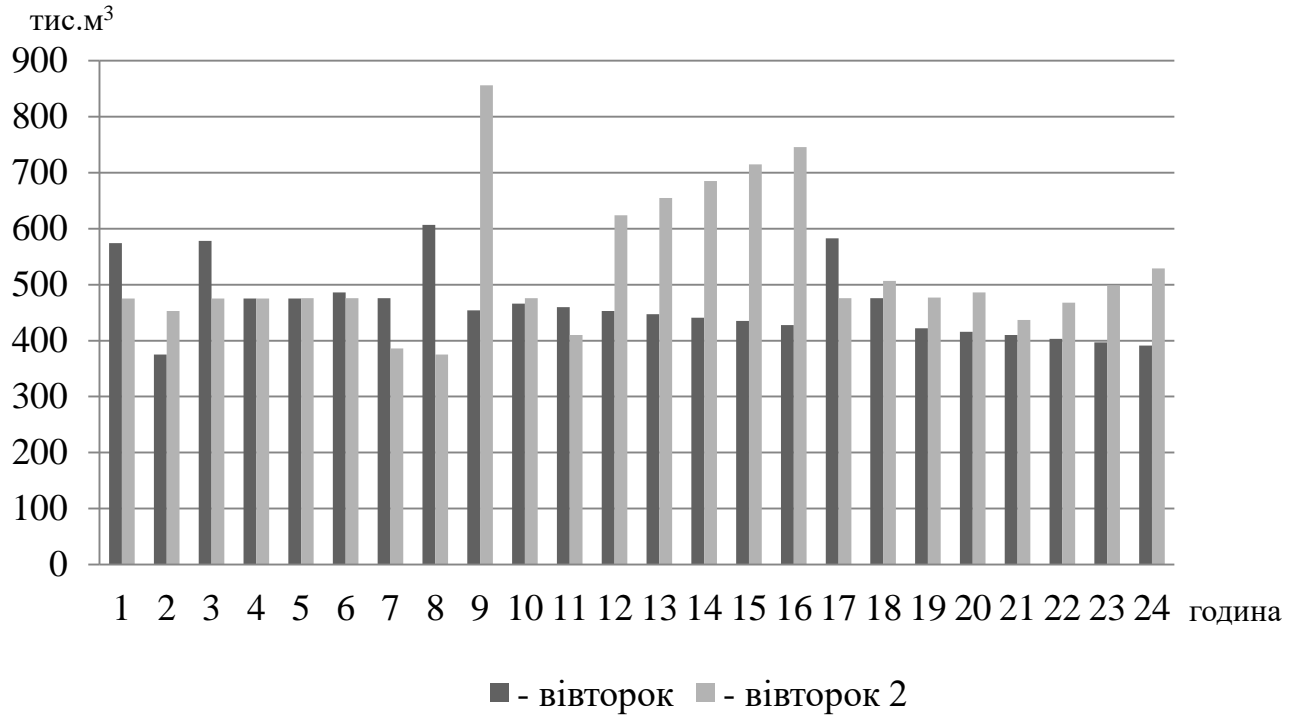


Рисунок 1.9 - Витрати стисненого повітря за вівторок

Для дослідження витрат дані були взяті з журналів урахування, а також з дані приборів врахування КІПіА в яких кожен день записуються показники роботи компресорів та здійснюється спостереження за споживаним стислим повітрям. В дослідженні звернемо увагу в деяких ділянках роботи компресора за дні тижнів збігаються, що дозволяє припустити споживання стислого повітря здійснюється доволі близько к рівномірному. Це не дає висновки в енергоефективному виробництві компресора, так як споживання стислого повітря відбувається не взаємопов'язано з цехами якими його витрачають на виробництво. Також вже отримані дані не дозволяють керувати виробництвом стислого вони тільки дозволяють зрозуміти скільки і котрий з цехів спожив в якому об'ємі за добу які потім підраховуються в відділі ОГЕ. Якщо зрівняти отримані дані то можна знайти втрати які є при виробництві та постачанні стислого повітря. Цю функцію здійснюється за допомогою тих же приборів КІПіА, які показують тиск на ділянці або усю систему повітряпроводу, які встановлені на виході з ККЦ, що дає змогу машиністу компресора бачити зміну тиску в системі повітрязабезпечення.

Коли тиск знижується це показує ,що треба збільшити виробництво стиснутого повітря ,що не дає змогу потім дізнатися чи вже не потрібен в такому обсягу стиснутого повітря чи ні . Це призводить до того ,що не потрібне стисне повітря може буду втрачено на ділянках як просто скидане в атмосферу чи при других випадках коли є ризики витоку стиснутого повітря котре також не дає зразу зрозуміти де сталося аварія . В дослідженні бачимо це не яким чином не впливає на роботу компресорів та виробництво стиснутого повітря та й не дає змогу вирішення цього питання .

В дослідницької роботі бачимо ,що існують витрати стисненого повітря при скиданні його в атмосферу и при цьому компресор працює на тій же самій потужності. Також проаналізуємо рисунки 1.10-1.13 в яких наведено середньодобове виробництво та втрати стислого повітря яки потім знадобляться нам для розрахунку.

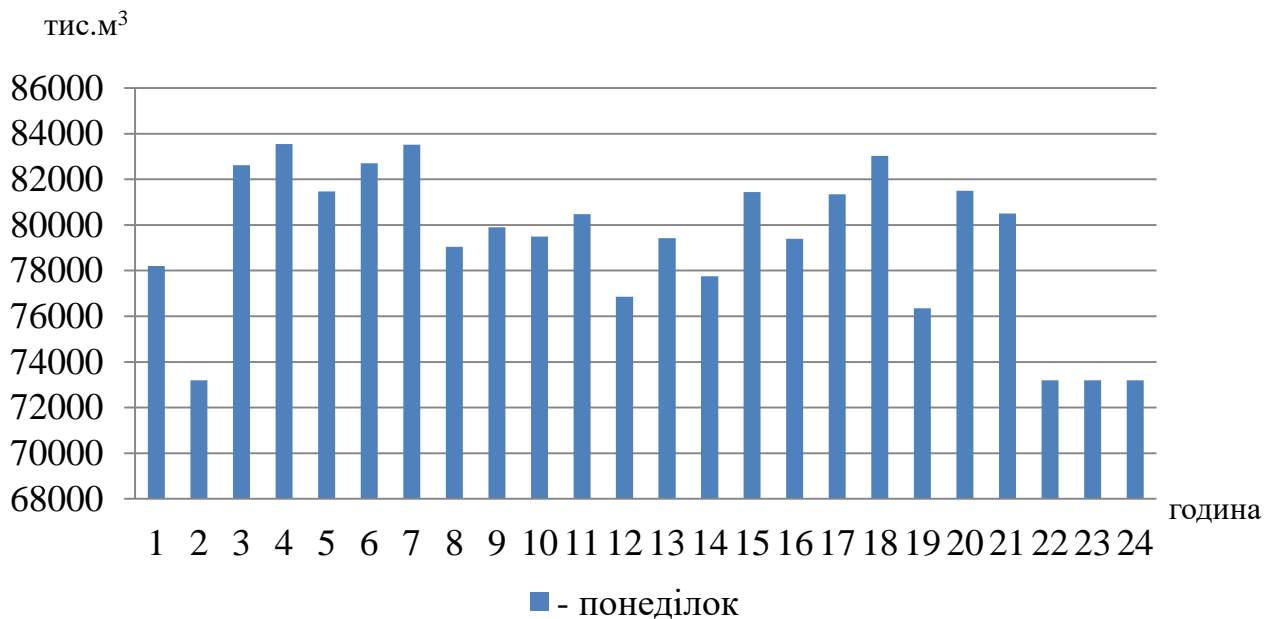


Рисунок 1.10- Середньодобове споживання стисненого повітря за понеділок

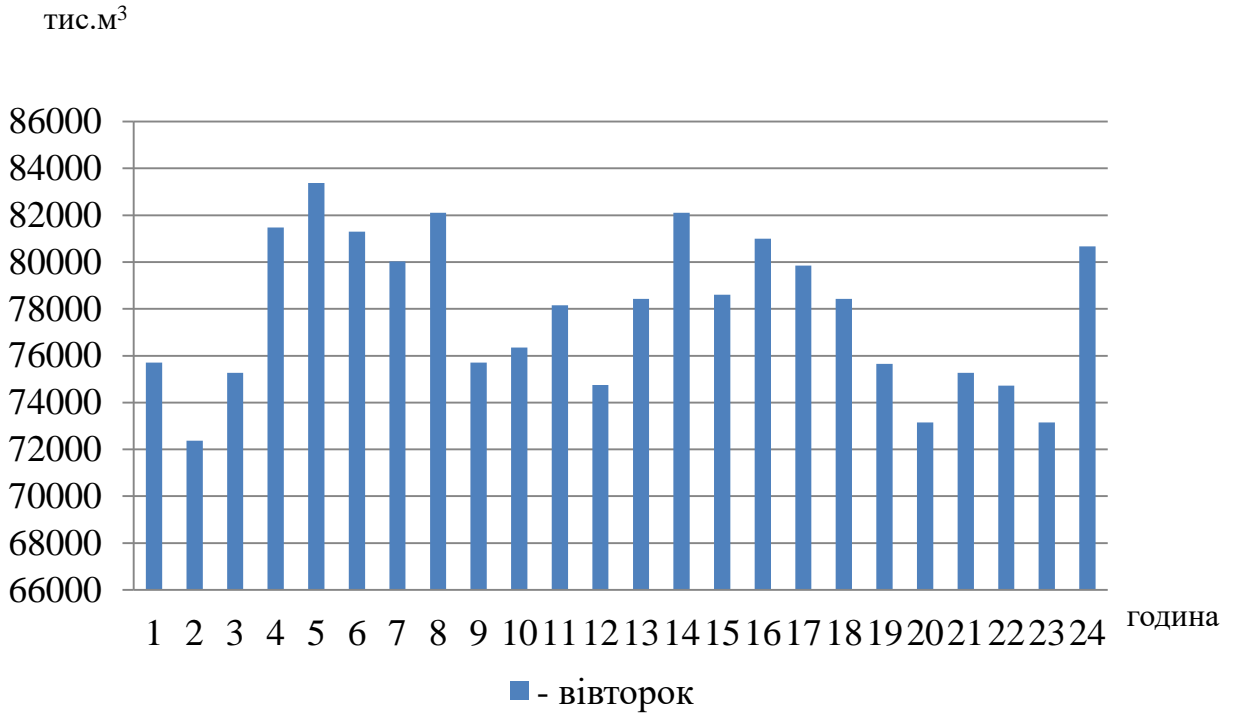


Рисунок 1.11 - Середньодобове споживання стисненого повітря за понеділок

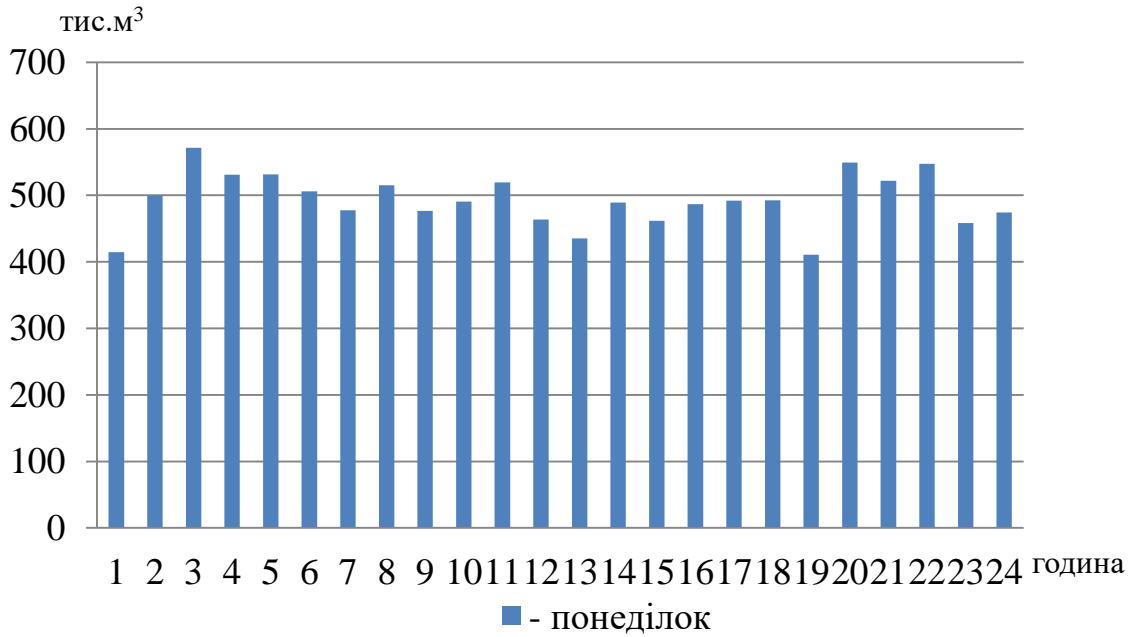


Рисунок 1.12 - Середньодобові витрати стисненого повітря за понеділок

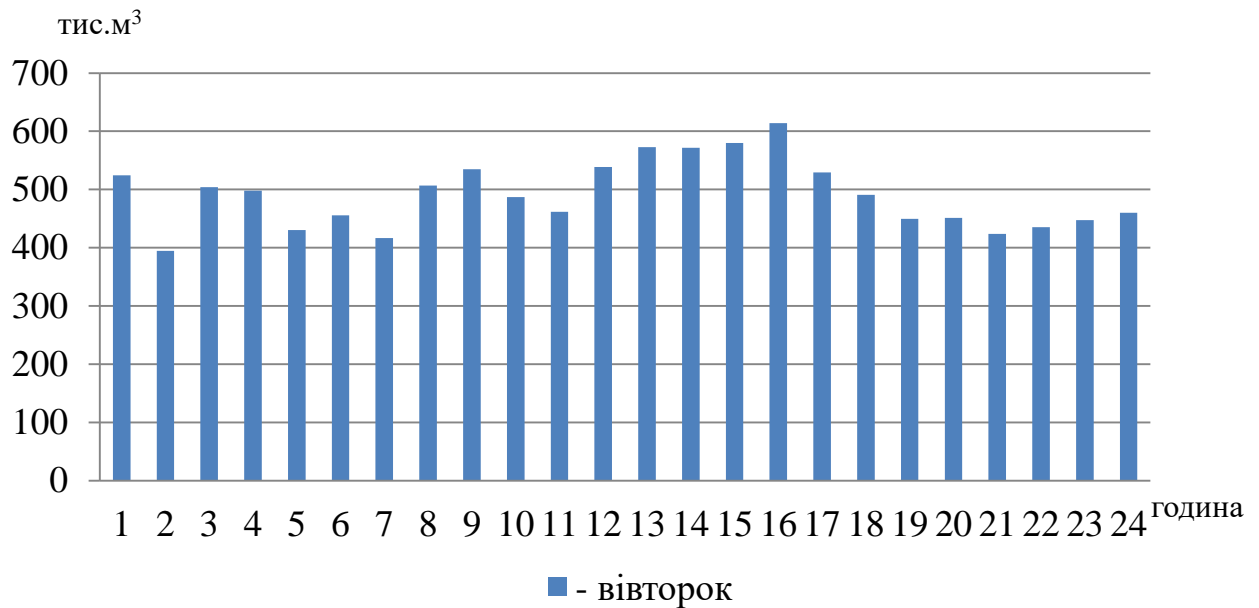


Рисунок 1.13 - Середньодобові витрати стисненого повітря за понеділок

1.3 Огляд сучасного стану керування енергоспоживанням системи повітропостачання цеху

Аналіз виробництва стисненого повітря показує, що система повітропостачання підприємства виявляється неприпустимо високої, а якість низьким, причин цьому являються:

- постачання стисненим повітрям підприємств виконується, як правило, із центральної компресорної станції. Деякі споживачі стисненого повітря вилучені на сотні й навіть тисячу метрів, у результаті в трубопроводах мають місце більші гідравлічні втрати, конденсатні пробки, витоків, величина яких значно перевищує нормативні. Крім того, тверда централізація робить скрутним постачання різних споживачів стисненим повітрям різних рівнів тиску. Тиск вибирається на рівні, необхідному самому "високобарному" устаткуванню, і багато споживачів витрачають стисненого повітря набагато більше, ніж це необхідно. Витрати до 20-25%.

- на більшості компресорних станцій установлені фізично й морально застарілі компресорні агрегати, що мають питому витрату електроенергії на 25 - 30% вище в порівнянні із сучасними компресорними агрегатами. Крім того для цих компресорів часто застосовується водяне охолодження з відповідними витратами на водопідготовку. Витрати до 5%. Зношеність систем повітропроводів, нераціональні рішення в області розподілу стисненого повітря між споживачами. У тому числі:

- надвиробництво стисненого повітря для конкретного споживача;
- більша заплутаність систем повітряпроводу;
- неефективні сполучні елементи, крани, відводи, діаметри труб.
- регулювання виробництва стисненого повітря компресорною станцією відповідно до споживання виробляється, або включенням - вимиканням компресорів, або дроселюванням (штучним зниженням тиску нижче атмосферного) на усмоктуванні, або підбуренням надлишкового повітря в атмосферу, обсяг якого досягає 15% від продуктивності компресорів. Це самі неефективні способи регулювання. Витрати до 15%.

-споживачі стисненого повітря в переважній більшості не мають приладів обліку споживаного повітря, що приводить до його нераціонального використання, відсутності стимулів до економії. Витрати до 10%.

-на компресорних станціях, при транспортуванні стисненого повітря, у споживачів, як правило, відсутні, або встановлені малоефективні, не автоматизовані, сепаратори вологи, осушувачі повітря, конденсатні відхідники . Витрати до 5-7 %.

Енергоефективність використання енергії стисненого повітря не більше 35%.

Існує декілька видів керування компресорами за допомогою автоматизації АСК «Повітря» її функції :

- здійснення автоматичного запуску й автоматичного зупинка компресора або турбокомпресорного агрегату (ТКА) по команді оператора;

- автоматичне регулювання тиску на виході ТКА при витраті, що змінюється, стисненого повітря як при роботі в одиночному режимі, так і при роботі в групі;

- автоматичний висновок ТКА в економічний режим роботи при зниженні витрати стисненого повітря до мінімуму або автоматичне відключення ТКА;

- контроль і запобігання помпажа;

- контроль основних і допоміжних технологічних параметрів, забезпечення технологічних захистів;

- аварійний зупинка ТКА при виникненні позаштатної ситуації або спрацьовуванні технологічного захисту;

- ведення історичного архіву технологічних параметрів, пошук й аналіз закономірностей, реєстрація подій. Додатки економії при виборі компресорного встаткування. Експлуатації компресора багаторазово підвергалися ремонту та зношення необхідного устаткування для їх ремонту та обслуговування.

Зниження енергетичних витрат при впровадженні АСУТП "Повітря" досягається за рахунок наступних складових:

- зменшення навантаження на компресор у режимі холостого ходу за рахунок переключення його в глибоке дроселювання; економія становить близько 60%(для режиму холостого ходу);

- розширення робочої зони компресора за рахунок зняття обмеження на закриття дросельної заслінки в робочому режимі (менш чим 22 градуса) і зниження непродуктивних викидів повітря в атмосферу через помпажний клапан; економія становить орієнтовно 10 %;

- збільшення сумарного КПД станції за рахунок впровадження групового регулювання тиску й продуктивності; економія становить близько 6 %;

- інші складові, до яких ставляться такі як: зниження споживання охолодної води, виявлення резервів за рахунок аналізу протікання процесу,

зменшення втрат від простоїв за рахунок розвинених засобів діагностики й т.п.; економія становить близько 2 %.

У технологічному процесі виробництва деяких видів продукції ряд підприємств республіки використовують стиснене повітря. Для його виробництва, як правило, є компресорні станції, а для транспортування - мережа повітропроводів. З переходом підприємств на нові сучасні технології потреба в стисненому повітрі зменшується й зміст енергоємних компресорних станцій стає неекономічним. Доцільним стає застосування локальних компресорів меншої потужності безпосередньо в споживачів. При роздільному повітрязабезпечення (надалі децентралізації) компресорних станцій з переходом на локальне виробництво стисненого повітря економічний ефект досягається за рахунок:

- зниження витрати електроенергії на виробничі потреби внаслідок висновку з експлуатації енергоємних поршневих компресорів і відключення живильної підстанції,
- ліквідації протяжних магістральних ліній подачі стисненого повітря й виключення втрат при його транспортуванні,
- поділу споживачів стисненого повітря по рівнях необхідного тиску й підтримки його вироблення на рівні фактично необхідної потреби,
- зниження витрати електроенергії за рахунок відключення неекономічної станції осушки повітря й системи оборотного водопостачання,
- зменшення експлуатаційних витрат: відсутність необхідності діагностики й огляди стаціонарних ресиверів, припинення опалення й змісту будинку центральної компресорної.

Децентралізоване повітропостачання підходить до тим цехам комбінату де йде велику кількість його споживання ,а саме до доменного, мартенівського цеху. Децентралізоване постачання стисненим повітрям також багато в чому доречно для віддалених ділянок комбінату й цехів постачання підприємства (наприклад складські приміщення , цех керування залізничним транспортом ,цех холодної й гарячої прокатки та інше.)

Пристрій для плавного запуску повітряних турбокомпресорів. Як відомо, компресори для великих промислових виробництв вибираються з гарантованим запасом по продуктивності, обумовленим змінами продуктивності компресора залежно від температури й тиску усмоктуваного повітря. Опіраючись на реальний досвід використання компресорів, можна затверджувати, що на більш ніж 60% підприємств велике споживання повітря в денну зміну й слабке споживання в другу й нічну зміни, а по вихідним стиснене повітря не потрібний зовсім. Оптимізація роботи існуючих компресорних станцій, постачених високопродуктивними турбокомпресорами, дозволяє скоротити витрати електроенергії на виробництво стисненого повітря до 50%. Оптимізація роботи компресорів відбувається за рахунок:

- забезпечення ефективної й безпечної можливості відключення й плавного запуску електродвигунів великої потужності;
- автоматичної підтримки необхідного для технології тиску в пневмосистемі з високою точністю;
- впливу на початкову температуру й початковий тиск усмоктуваного повітря;
- підігріву стислого повітря, що відходить до споживача, за рахунок утилізації тепла стиску.

Для запобігання прямого пуску і його наслідків застосовують пристрою плавного пуску (запуску)- УПП (УПЗ), софт-стартери. Їхнє основне призначення - домогтися поступового розгону електропривода й не допустити виникнення високих пускових струмів. Традиційні УПП використовують тиристорні регулятори або частотні перетворювачі.

Недоліками УПП на базі тиристорних пристроїв є висока вартість, низька надійність, складність підбора тиристорів по характеристиках, необхідність постійного обслуговування й/або більших витрат на сервіс від постачальника. Пускові струми скорочуються, але все-таки залишаються відносно більшими. Крім того, традиційні УПП не вирішують основної

проблеми виходу з ладу електродвигунів - пробою ізоляції внаслідок значного підвищення температури обмоток. Скорочуючи пускові струми, ці пристрої збільшують час пуску, при цьому тепловий вплив на обмотки статора наближається до показників прямого пуску.

До традиційних пристроїв плавного пуску можна також віднести перетворювачі частоти для високовольтних електродвигунів (ПЧСВ) і але таке рішення носить половинчастий характер, оскільки зберігає стару ідеологію системи повітропостачання й вимагає часу на налагодження й відпрацювання убудованої в старий компресор нової системи керування. Установка нових сучасних компресорів дозволяє й поступово обновляти парк зношеного встаткування, і забезпечити регулювання продуктивності системи повітропостачання, але з більшою ефективністю й надійністю при порівнянних капітальних вкладеннях.

Одним з основних методів економії, є застосування частотного регулювання продуктивності компресорної установки (частотніка). ПАТ «Запоріжсталь» має у своєму модельному ряді - гвинтові компресорні установки типу НМЗ із частотним керуванні.

1.4 Обладнання та продукція киснево-компресорного цеху

Киснево-компресорний цех – цех, який служить для вироблення технологічного (95%) та технічного (99,5%) кисню, стиснутого повітря, азоту, аргону, та забезпечує цими продуктами виробництва інші цеха комбінату.

До складу киснево-компресорного цеху входять:

- станція технологічного кисню з відділенням компресії, де встановлено основне та допоміжне обладнання для отримання продуктів розділу повітря;
- турбокомпресорна станція, пристосована для виробництва стиснутого повітря;

- наповнювальна станція, пристосована для наповнювання технічного кисню в балони;
- наповнювальна станція, пристосована для наповнювання аргону в балони;
- система магістральних кисеньпроводів, повітропроводів, азотопроводів, пристосованих для транспортування цих газів споживачам.

В киснево-компресорному цеху виробляються наступні продукти розділу повітря:

- кисень технічний (99,5%) газоподібний;
- кисень технологічний (95%) газоподібний;
- кисень рідкий;
- аргон газоподібний;
- аргон рідкий;
- азот газоподібний;
- азот рідкий;
- стиснуте повітря;
- неоно-гелієва суміш;
- криптоно-ксенонова суміш;

До складу киснево-компресорного цеху належить наступне обладнання:

Повітряні турбокомпресори для стиску повітря:

- турбокомпресори типу К-1500-62-2 – 13 агрегатів, які виробляють по 80-90 тис. м³/год повітря;
- турбокомпресори типу ОК-500-92 – 3 агрегати по 30000 м³/год повітря;
- турбокомпресори типу К-250 – 3 агрегати по 15000 м³/год повітря;
- турбокомпресор типу К-525 – 1 агрегат по 31500 м³/год.

Блоки розділу повітря для виробництва кисню, азоту, аргону:

- блок БР-2 – 1 агрегат, який виробляє 32000 м³/год кисню, в тому рахунку 10000 м³/год – 99,2%, 22000 м³/год – 95-96%;
- блок КтК-35-3 – 1 агрегат, який виробляє 34000 м³/год кисню, в тому рахунку 10000 м³/год – 99,2%, 24000 м³/год – 95-96%;

- блок КАР-30 – 1 агрегат , який виробляє 30000 м³/год кисню 99,2-99,5% та 350 м³/год аргону;

- блок ВРУ-60 – 1 агрегат, який виробляє 60000 м³/год кисню, в тому рахунку 20000 м³/год газоподібного технічного нестиглого та 40000 м³/год газоподібного технічного компримованого, 600 м³/год рідкого кисню та 1190 м³/год рідкого аргону.

Кисневі турбокомпресори для стиску повітря:

- кисневий турбокомпресор типу КтК-7 – 6 агрегатів, які виробляють по 7000 м³/год стиснутого повітря;

- турбокомпресор типу КтК-12.5/35 – 5 агрегатів, які виробляють по 12500 м³/год стиснутого повітря;

- дотискуючий бустер-компресор СО5, який представляє собою трьохступінчатий компресор з проміжним охолодженням та електроприводом, пристосований для стиснення 56600 м³/год стиснутого повітря після блоку комплексного очищення, є невід'ємною частиною технологічного процесу блока ВРУ-60;

- азотні турбокомпресори типу ЦН-135/8 - 3 агрегати;

- азотні поршневі компресори типу ЗГП-12/35 – 3 агрегати;

- установка АРт-0.75 для виробництва аргону;

- електролізери типу СЭУ-40 – 2 агрегати, які пристосовані для виробництва водню методом електролізу води.

Продукція кисневого цеху ПАТ «Запоріжсталь» знаходить широке застосування в народному господарстві. Рідкий технічний кисень, аргон і азот перевозять в транспортних цистернах для рідкого кисню і азоту за ГОСТом 17518-79 і в інших цистернах з порошковою, вакуумно-порошковою або вакуумно-багатошаровою ізоляцією, призначених для перевезення криогенних рідин.

Рідкий азот також відвантажується в посудини Дьюара загального призначення з вакуумно-порошковою ізоляцією за ГОСТом 16024-79 або

вакуумно-багатошаровою ізоляцією. Газоподібний кисень та аргон відвантажуються в сталеві балони відповідно до ГОСТу 26460-85.

Характеристика продукції:

Азот рідкий технічний і медичний. Рідкий технічний азот використовується як холодоген, а також(після газифікації) для створення інертної атмосфери при виробництві, зберіганні і транспортуванні легкоокисляємих продуктів, при високотемпературних процесах обробки металів, для консервації замкнутих металевих посудин і трубопроводів, а також для інших цілей.

Кисень рідкий технічний і медичний. Рідкий технічний кисень застосовується після його газифікації в газоплазмових процесах обробки металів, зварюванні, поверхневому загартуванні, кисневому різанні, металізації і інших процесах. Широке застосування технічний кисень знаходить в хімічній промисловості при отриманні штучного рідкого палива, мастил, ряду кислот, аміачних добрив і інших продуктів, в металургії - для інтенсифікації ряду металургійних процесів в доменному, сталеплавильному і інших виробництвах. Рідкий медичний кисень застосовується після його газифікації для дихання.

Кисень газоподібний технічний і медичний. Технічний газоподібний кисень застосовується в газоплазмових процесах обробки металів, зварюванні, поверхневому загартуванні, кисневому різанні, металізації і інших процесах. Широке застосування технічний кисень знаходить в хімічній промисловості при отриманні штучного рідкого палива, мастил, ряду кислот, аміачних добрив і інших продуктів, в металургії - для інтенсифікації ряду металургійних процесів в доменному, сталеплавильному і інших виробництвах. Медичний газоподібний кисень застосовують для дихання. Забороняється застосовувати для дихання кисень, що отримується електролізом води, а також кисень, що отримується способом низькотемпературної ректифікації з подальшим стискуванням в компресорах з поршнеvim ущільненням, виготовленим з фторопласту і інших матеріалів, не перевірених медичним наглядом.

За фізико-хімічними показниками рідкий технічний і медичний азот повинен відповідати наступним нормам, які наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Фізико-хімічні норми для азоту

Найменування показника	Норма для марки газоподібного та рідкого азоту					
	особливої частоти		підвищеної частоти		технічного	
	1-ий сорт	2-ий сорт	1-ий сорт	2-ий сорт	1-ий сорт	2-ий сорт
Об'ємна доля азоту, %, не менше	99,999	99,996	99,99	99,95	99,96	99,0
Об'ємна доля кисню, %, не більше	0,0005	0,001	0,001	0,05	0,4	1,0
Об'ємна доля водяного пара в газоподібному азоті, %, не більше	0,0007	0,0007	0,0015	0,004	0,009	Іспит
Вміст мастила в газоподібному азоті	Не визначається		Іспит			
Вміст мастила, домішок та вологи в рідкому азоті	Іспит					
Об'ємна доля водовода, %, не більше	0,0002	0,001	Не нормується			
Об'ємна доля суми вуглецевмістовних поєднань в перерахунку на CH_4 , %, не більше	0,0003	0,001	Не нормується			

За фізико-хімічними показниками рідкий технічний і медичний кисень повинен відповідати наступним нормам, які наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Фізико-хімічні норми для рідкого кисню

Найменування показника	Норма для марок		
	Технічний кисень		Медичний кисень
	1-ий сорт	2-ий сорт	
Об'ємна доля кисню, %, не менше	99,7	99,5	99,5
Вміст ацетилену	Відсутність		
Вміст двоокису вуглецю в 1 дм ³ рідкого кисню, см ³ , не більше	2,0	3,0	3,0
Вміст мастила	Відсутність		
Вміст окису вуглецю	Не нормується		Іспит
Вміст газоподібних кислот та основ	Не нормується		Іспит
Вміст озону та інших газів-окислювачів	Не нормується		Іспит
Вміст вологи та механічних домішок	Іспит		
Запах	Не нормується		Відсутність

Аргон рідкий та газоподібний. Аргон застосовується в якості захисного середовища при розливанні, дуговому зварюванні, пайці, різанні і плавці активних і рідкісних металів(титан, цирконій, ніобій та ін.) і сплавів на їх основі, а також при особливо відповідальному зварюванні виробів з інших матеріалів на завершальних етапах виробництва. Застосовується аргон і для обробки рідкого металу при виробництві спеціальних марок сталі.

За фізико-хімічними показниками газоподібний технічний і медичний кисень повинен відповідати наступним нормам, які наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Фізико-хімічні норми для газоподібного кисню

Найменування показника	Норма для марок		
	Технічний кисень		Медичний кисень
	1-ий сорт	2-ий сорт	
Об'ємна доля кисню, %, не менше	99,7	99,5	99,5
Об'ємна доля водяних парів, %, не більше	0,007	0,009	0,009
Об'ємна доля водню, %, не більше	0,3	0,5	-
Об'ємна доля двоокису вуглецю, %, не більше	Не нормується		0,01
Вміст окису вуглецю	Не нормується		Іспит
Вміст газоподібних кислот та основ	Не нормується		Іспит
Вміст озону та інших газів-окислювачів	Не нормується		Іспит
Запах	Не нормується		Відсутність

За фізико-хімічними показниками газоподібний та рідкий аргон повинен відповідати наступним нормам, які наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 - Фізико-хімічні норми для аргону

Найменування показника	Норма для марок	
	Вищий сорт	1-ий сорт
Об'ємна доля аргону, %, не менше	99,993	99,987
Об'ємна доля кисню, %, не більше	0,0007	0,002
Об'ємна доля азоту, %, не більше	0,005	0,01
Об'ємна доля водяних парів, %, не більше, що відповідає температурі насичення аргону водяними парами при тиску 101,3 кПа, не вище	0,0009 Мінус 61	0,001 Мінус 58

Один з основних агрегатів киснево-компресорного цеху – це повітрянорозподільна установка ВРУ- 60. Введення її в дію дозволило комбінату понизити питому норму споживання електроенергії на виробництво одного кубометра кисню, відповідно, економити і споживання дорогого природного газу.

Установка ВРУ-60 замінила морально застарілі і фізично зношені повітрянорозподільні установки БР-2 і КТК-35-3. Вона призначена для отримання технічно чистого кисню чистотою 99,5% замість 95%-96%, що виробляється на старих блоках, а також технічно чистого азоту і аргону. Попутно з витяганням основних продуктів передбачено отримання криптонового концентрату і неонгелієвої суміші.

Старі установки КтК-35 і БР-2 могли пропрацювати 3-4 місяці, а потім була потрібна зупинка і ремонт. На кожен пуск і зупинку витрачалося близько 2,5 млн. кВт·год електроенергії. Але найголовніше, що міра витягання кисню з повітря на новій установці практично 100%, із 300 тис. м³ стиснутого повітря витягається 60 тис. м³ кисню. На старих блоках відсоток витягання кисню з повітря складав близько 70.

Але переваги нової установки не вичерпуються її здатністю виробляти удвічі більше кисню, чим старі блоки, які вона замінила. Також отримано установку з регульованим навантаженням від 50 до 100% потужності відповідно до потреби доменного і мартенівського виробництва в продуктах розділення повітря. Це дуже важливо, тому що технології розділення повітря залишаються дуже енергоємними навіть на найсучаснішому устаткуванні. Завдяки новому блоку енергоспоживання цеху знизилося майже удвічі. Якщо раніше щодоби витрачалося 1,8 млн. кВт·год електроенергії, то наразі - 1,2 млн. кВт·год, що приблизно складає економію на 34%. Також скорочено споживання технічної води приблизно на 20%.

Також необхідно відмітити якість продуктів розділення повітря. Зокрема, чистота кисню, складає 99,5%. Від старих блоків кисень подавався з концентрацією від 93% до 96%.

Відчули переваги і мартенівці. Адже безперервне подання чистого кисневого дуття в печі впродовж рідкого періоду плавки здатне прискорити процес сталеваріння. Адже для продування ванн чим кисень чистіший, тим краще. Збільшення його концентрації благотворно впливає на технологію виробництва сталі.

Також сприятливим фактором нової установки є можливість експорту деяких продуктів розділу повітря. Наприклад, рідкого аргону було реалізовано більше 3 млн. м³, газоподібного аргону – 2.5 млн. м³.

Окупність даного проекту склала близько 4-х років.

Основними продуктами виробництва киснево-компресорного цеху є азот, стиснуте повітря та кисень. Чисельні характеристики продуктів розділу повітря наведені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 - Виробництво продуктів розділу повітря

Назва продукції	Січень, тис. м ³	Лютий, тис. м ³	Березень, тис. м ³	1 квартал, тис. м ³
Азот	13142,19	12645,85	14440,11	40228,15
Стиснуте повітря	109703,98	97798,82	109158,36	316661,16
Кисень	36813,13	31716,00	36038,65	104567,78

Виробництво продуктів розділу повітря у відсотковому вираженні наведено на рисунку 1.14.

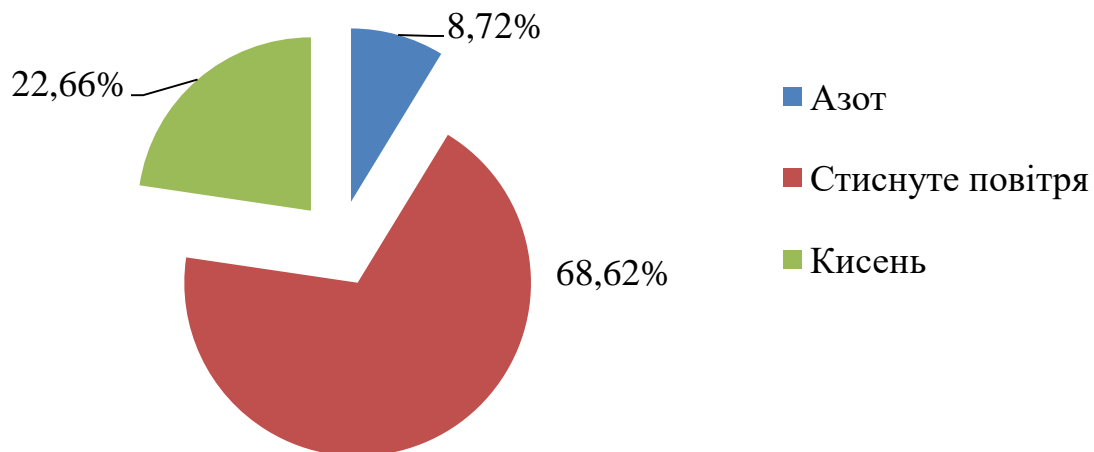


Рисунок 1.14 – Виробництво продуктів розділу повітря

Основними споживаними енергоносіями киснево-компресорного цеху є пара, вода та електрична енергія. Споживання пари на технологічні потреби наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 - Споживання пари на технологічні потреби

Назва продукції	Січень, Гкал	Лютий, Гкал	Березень, Гкал	1 квартал, Гкал
Азот	-	-	-	-
Стиснуте повітря	-	-	-	-
Кисень	2690,00	1837,00	1838,00	6365,00

Споживання технічної води на технологічні потреби наведено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 - Споживання технічної води на технологічні потреби

Назва продукції	Січень, тис. м ³	Лютий, тис. м ³	Березень, тис. м ³	1 квартал, тис. м ³
Азот	683,30	657,50	750,80	2091,60
Стиснуте повітря	2194,00	1955,90	2183,10	6333,00
Кисень	1939,74	1816,73	2008,03	5764,50

Споживання електричної енергії на технологічні потреби наведено в таблиці 1.12

Таблиця 1.12 - Споживання електричної енергії на технологічні потреби

Назва продукції	Січень, тис. кВт·год	Лютий, тис. кВт·год	Березень, тис. кВт·год	1 квартал, тис. кВт·год
Азот	4599,70	4426,00	5054,00	14079,70
Стиснуте повітря	12177,10	10855,60	12116,50	35149,20
Кисень	21411,54	17564,16	19097,75	58073,44

Споживання електричної енергії на технологічні потреби у відсотковому вираженні наведено на рисунку 1.15:

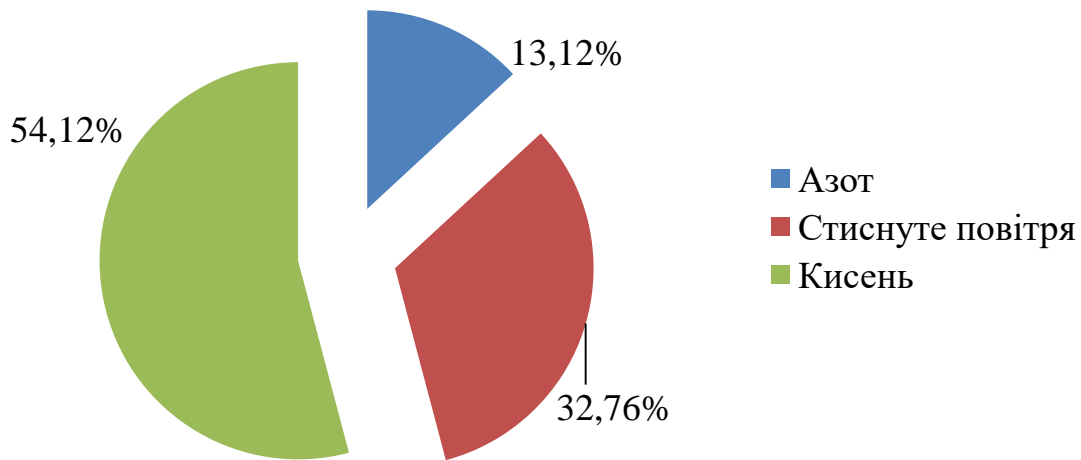


Рисунок 1.15 – Споживання електричної енергії на технологічні потреби

Найбільш споживаним енергоресурсом, а тому і з найбільшим потенціалом енергозбереження та підвищення енергоефективності виробництва є електрична енергія. Найбільш енергозатратним процесом є виробництво кисню, однак для його отримання використовується найновіший та найбільш ефективний на сьогодні агрегат – повітрянорозподільна установка ВРУ-60, тому потенціалу та можливостей для скорочення споживання електричної енергії на виробництво кисню майже немає. Значно більш потенціально можливим для скорочення споживання електричної енергії є виробництво стиснутого повітря, якого отримується найбільше серед продуктів розділу повітря та складає більше, ніж дві треті від загального розділу.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ

2.1. Загальна інформація про виробництво стиснутого повітря

У наш час практично всі споживачі електроенергії в промисловості нарощують зусилля, направлені на зменшення виробничих витрат, щоб бути більш конкурентоздатними в своєму сегменті ринку. А оскільки майже 90% промислових підприємств використовують в своїх технологічних процесах стиснуте повітря (що зручно, безпечно і дозволяє понизити витрати на виробництво), варто звернути увагу на економію енергії, що витрачається при роботі компресорів.

Більшість традиційно вживаних систем підготовки і транспортування стиснутого повітря вкрай неефективні — їх загальний ККД не перевищує 20%. Відповідно, підвищення ефективності цих систем дозволить досягти істотної економії енергоресурсів. Витоки повітря, неправильно вибраний робочий тиск, перешкоди потоку повітря можуть понизити ККД на 50% і більше та значно понизити витрату та тиск повітря в пневмомагістралях.

Стиснуте повітря використовується майже у всіх галузях народного виробництва. Його отримання, на яке витрачається близько 10% загального споживання, є одним з основних споживачів електричної енергії. При цьому втрати стиснутого повітря на шляху від джерела до кінцевого споживача можуть досягати 25-30%.

В таких галузях виробництва, як вугільна, чорна та кольорова металургія, хімічна та нафтохімічна промисловість при менших долях витрат електроенергії на виробництво стиснутого повітря в загальному балансі електроспоживання абсолютні показники витрат досить великі.

Компресорні установки є винятково енергоємними й неощадливими споживачами. Витрата електроенергії на виробництво стиснутого повітря на багатьох машинобудівних підприємствах становить 20-30%, а на деяких

доходить до 50-70% загальної кількості енергії, що витрачає підприємство. Економічність роботи компресорних установок залежить від багатьох факторів, серед яких особливе місце посідає управління продуктивністю компресора. Основними причинами низьких енергетичних показників компресорної установки є непродуктивні втрати повітря, нераціональні режими охолодження компресорів при виробництві стиснутого повітря, нераціональне використання або не використання енергії тепла, яке відводиться від компресорних установок.

Вартість виробництва стиснутого повітря складається з вартості обладнання, вартості проведення технічного обслуговування та витрат за споживання енергоресурсів. Доля енерговитрат складає приблизно 70%. З урахуванням зростання тарифів найгострішим питанням для підприємств стає питання підвищення енергоефективності [1].

Відсоткові співвідношення витрат на виробництво стиснутого повітря звичайною компресорною станцією зображено на рисунку 2.1:

Звичайна компресорна станція

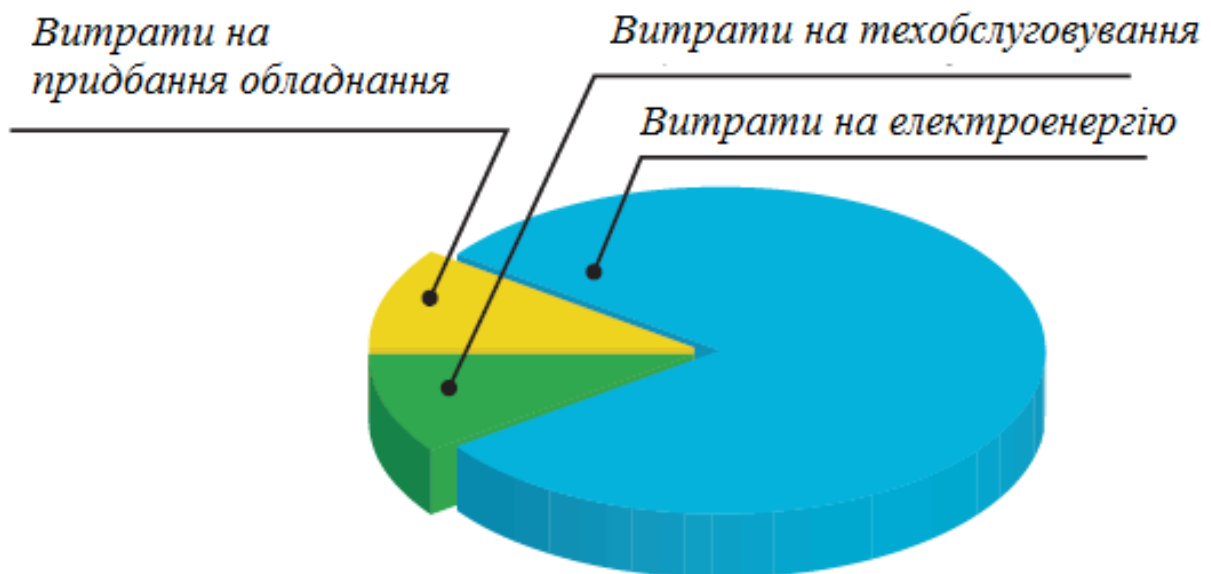


Рисунок 2.1 – Витрати звичайної компресорної станції

Відсоткові співвідношення витрат та можливої економії електроенергії на виробництво стиснутого повітря компресорною станцією з різними енергозберігаючими системами зображено на рисунку 2.2.

Компресорна станція з енергозберігаючими системами

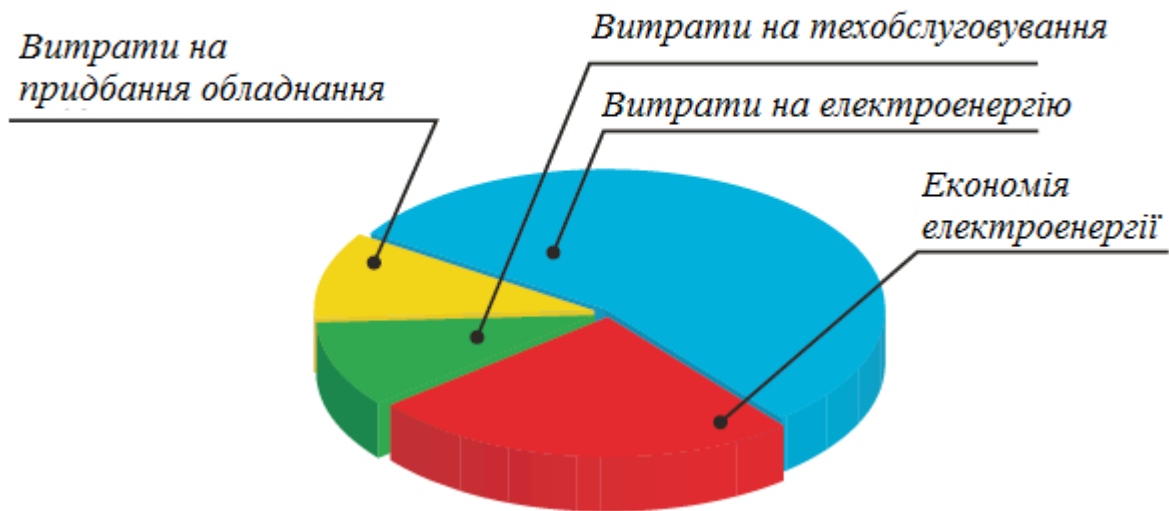


Рисунок 2.2 – Витрати компресорної станції з енергозберігаючими системами

Потенціал можливого скорочення споживання електричної енергії за рахунок впровадження різних енергозберігаючих заходів або систем може складати більше ніж 20% від загальних витрат на виробництво стиснутого повітря.

Устаткування для одержання та використання стиснутого повітря є універсальним і безпечним; воно знайшло широке застосування в сучасній промисловості. Стиснуте повітря – один з найпоширеніших енергоносіїв. Він використовується практично на будь-якому підприємстві.

Широкому застосуванню стиснутого повітря, як енергоносія, сприяють його позитивні якості: пружність; швидка передача тиску; прозорість; нездатність до конденсації (в умовах навколишнього середовища); нешкідливість; висока транспортабельність; необмежений запас у природі.

Головна перевага стиснутого повітря як енергоносія – це можливість використання технологічних, малогабаритних та легких пневмоінструментів та пристроїв з високою питомою потужністю.

За транспортабельності повітря поступається тільки електриці і набагато перевершує пар, тому що має малі теплові втрати через відсутність конденсації в трубопроводах.

Але поряд з позитивними якостями і зручністю у використанні стиснуте повітря як енергоносії має і недоліки: великі втрати через різні витоки (можуть досягати 10-40%); висока собівартість стиснутого повітря через велику енергоємність його виробництва.

Значна частина електроенергії, що підводиться до компресора, безповоротно перетворюється в тепло.

Процентне співвідношення втрат енергії виглядає наступним чином: основна частина енергії розсіюється при охолодженні мастила, приблизно 72%; втрати в двигуні складають 10%; втрати в кінцевому охолоджувачі стиснутого повітря - 10%; 3% йде в навколишнє середовище; 4-5% залишається в стиснутому повітрі.

Для отримання середньогодинної потреби в стиснутому повітрі необхідно скласти погодинний добовий графік споживання стиснутого повітря. Це ступінчаста діаграма, де витрата повітря протягом години вважається незмінною (в дійсному графіку так не буває). З графіка видно, що споживання стиснутого повітря відбувається нерівномірно. Крива графіка витрати стиснутого повітря більшості виробничих установок коливається залежно від часу доби, днів тижня або періодів економічного циклу.

Звичайні компресори не можуть точно відслідковувати коливання потреби в стиснутому повітрі.

Розроблено компресори зі змінною швидкістю приводу, продуктивність яких може точно збігатися з витратою стиснутого повітря. Такі компресори здатні точно відслідковувати коливання витрат, змінюючи швидкість обертання приводного електродвигуна. Це головна особливість таких компресорів. Вони

зменшують до мінімуму споживання енергії за рахунок того, що повністю припиняють споживати електроенергію під час розвантаження. Це економить до 35% електроенергії, що означає економію до 22% всіх витрат за термін служби компресора. Використання стандартних двигунів змінного струму обмежує робочі можливості компресора. Компресори зі змінною швидкістю приводу відрізняє можливість працювати в широкому діапазоні продуктивностей і повна відсутність режиму холостого ходу або розвантаження.

Сучасними способами регулювання швидкості обертання синхронного двигуна є частотне регулювання кутової швидкості синхронного двигуна та вентильним двигуном. Частотний перетворювач змінює швидкість обертання електродвигуна і автоматично забезпечує споживача стиснутим повітрям заданого тиску, в необхідній кількості без утворення надлишків, що зменшує енергоспоживання.

На основі аналізу компресорної установки, основними способами підвищення ефективності компресорної установки є: завдання мінімального робочого тиску; децентралізація компресорної системи за допомогою багатофункціональних компресорів; встановлення додаткового блоку рекуперації; зниження споживання електроенергії; управління продуктивністю компресора. Серед них управління продуктивністю компресора є найбільш ефективним способом підвищення ефективності виробництва стиснутого повітря [2].

Регулювання витрати і тиску стиснутого газу у відцентрований компресорній машині можливо здійснити наступними способами:

- перепуск газу з нагнітальної лінії у всмоктуючу або в атмосферу, що застосовується на компресорах, полягає в переведенні компресора на холостий режим роботи за допомогою байпасу-трубопроводу, що обладнаний вентилям (клапаном, засувкою), управління яким може здійснюватися вручну або автоматично. Цей спосіб за характером регулювання є ступінчастим; він зазвичай застосовується при пуску і зупину компресора. Використати його для

регулювання продуктивності компресора при роботі недоцільно внаслідок неекономічності.

– дроселювання на всмоктуванні або на нагнітанні передбачає установку у всмоктуючому трубопроводі керованого дроселювального пристрою (заслінки). Зменшуючи прохідний переріз дроселя, збільшують його опір і знижують тиск повітря, що поступає в перший ступінь компресора. При плавній зміні тиску повітря також плавно змінюється продуктивність компресора. Такий спосіб регулювання продуктивності є основним для турбокомпресорів. Він простий в реалізації, але неекономічний.

– поворот лопаток вхідних направляючих апаратів для закручування потоку перед входом в робоче колесо. Використовують в холодильних компресорах для підтримки $p_n = const$, в перших ступенях секції або нагнітачів для регулювання витрати газу або міри підвищення тиску у вентиляторах. За економічністю займає проміжне положення між регулюванням зміни частоти обертання і дроселюванням.

– поворот лопаток дифузора. Використовують для розширення діапазону робочих характеристик ступеня відцентрової компресорної машини як у бік збільшення, так і у бік зменшення витрати газу.

– найефективніше і перспективне регулювання продуктивності компресорів це вплив на їх привід. Плавне і економічне регулювання продуктивності компресора у широких межах може бути забезпечене зміною частоти обертання за допомогою регульованого електроприводу. При цьому продуктивність змінюється пропорційно кутовій швидкості. Цей спосіб регулювання є перспективним для турбокомпресорів. Для поршневих компресорів продуктивністю до $50 \text{ м}^3/\text{хв.}$ застосування регульованого електроприводу поки що не виправдалось.

2.2. Централізація та децентралізація систем виробництва стиснутого повітря

Проблема енергозбереження останніми роками є одним з найважливіших завдань, що стоять перед сучасним підприємством. В умовах ринкової економіки кожна зайва кіловат-година електроенергії лягає на собівартість продукції і врешті решт призводить до зниження її конкурентоспроможності.

На багатьох підприємствах України сьогодні працюють великі компресорні станції, від яких мережами стиснуте повітря транспортується в цехи і корпуси. Ця система при своєму створенні була розрахована на 3-змінну роботу і багатосерійний випуск продукції, проте нині вона недостатньо ефективна. Станції виробляють занадто великий обсяг стиснутого повітря, яке виробництвом в такій кількості не затребуване, а на їх цілодобову роботу витрачаються досить серйозні кошти. При транспортуванні трасами, які були прокладені 25-30 років тому, мають місце значні витоки стиснутого повітря, а оскільки повітропроводи знаходяться переважно під землею, їх ремонт – справа дуже непросте та недешева. В цілому, вся традиційно використовувана система повітропостачання на підприємствах сильно зношена та вимагає істотних щорічних витрат на її підтримку в робочому стані.

Одним з виходів із ситуації, що створилася може стати перехід на локальні системи виробництва стиснутого повітря, розташовані безпосередньо у виробничих підрозділах заводів, та ліквідація дорогих і малоефективних на сьогодні великих компресорних станцій. Це особливо актуально для ремонтних цехів і ділянок, а також для дослідних і дрібносерійних виробництв. Зрештою, впровадження локальних систем повітропостачання — це реальна дорога до економії.

Значення правильного вибору схеми постачання стиснутим повітрям часто недооцінюється, і абсолютно марно, оскільки часто саме тут криється причина підвищених витрат електроенергії і частих поломок компресорного

устаткування. Помилки тут можуть вилитися в необхідність додаткових капіталовкладень в майбутньому.

Існує два типи схем повітропостачання. Це централізована та децентралізована схеми.

Централізована схема: живлення цехів стиснутим повітрям здійснює із загального компресорного цеху. Як правило, при такій системі експлуатуються декілька компресорних установок продуктивністю від 10 до 250 м³/хв., а іноді і вище – в основному поршневі або відцентровані, іноді потужні гвинтові. Переваги цієї схеми проявляються повною мірою на великому підприємстві за наявності герметичної пневмережі, коли всі споживачі зосереджені на відносно невеликій площі (відсутні видалені точки споживання), робочі тиски більшості споживачів приблизно однакові (робочий тиск мережі), а у інших споживачів нижче цього значення.

Транспортування стиснутого повітря трубопроводами від компресорних станцій до місць споживання супроводжується наступними видами втрат:

- теплові (втрати температури енергоносія за протяжності трубопроводу зважаючи на природне охолодження), які обумовлені різницею температур компресорного повітря в трубопроводі і зовнішнього атмосферного. В результаті охолодження підвищується щільність стиснутого повітря, що у свою чергу призводить до зростання споживання стиснутого повітря (на кожні три градуси зниження температури витрата повітря збільшується приблизно на 1 %).

- гідравлічні втрати на місцевих опорах. Значна протяжність повітропроводів кисневого цеху обумовлює втрати тиску на місцевих опорах і зниження тиску перед віддаленими споживачами, а отже, знижується працездатність стиснутого повітря. В результаті цього знижується продуктивність устаткування, споживаючого стиснутого повітря, а витрата на виробничі операції в деяких випадках зростає. Для забезпечення необхідного тиску у споживача тиск від джерела (на компресорах) доводиться збільшувати,

що викликає додаткову витрату електроенергії на виробництво стиснутого повітря.

– об'ємні втрати (витоки і технологічні скидання через дренажі). Об'ємні втрати від джерел до споживачів в основному через дренажні вентиляції як на мережах кисневого цеху, так і на мережах споживача.

Переваги схеми:

– можливі виходи з ладу окремих компресорів і проведення на них регламентних робіт і планових ремонтів не впливають на надійність повітропостачання підприємства в цілому за наявності декількох резервних компресорів (як правило, однотипних).

– планові ремонти можуть робитися в слушний час незалежно від величини завантаження компресорної станції (за наявності резерву).

2.3. Способи охолодження та осушення повітря

В даний час основним джерелом стиснутого повітря на підприємствах служать багатоступінчасті турбокомпресори. Обов'язковою умовою їх нормальної експлуатації є охолодження стиснутого повітря, цим досягається суттєве зменшення необхідної потужності [4]. Так зниження температури повітря на 10°C призводить до зменшення необхідної потужності турбокомпресора в середньому на 1,2% [5]. Крім того, від температури стиснутого повітря залежить його вологість, а значить і термін служби пневмоприводів машин.

У турбокомпресорах принципово можливе здійснення трьох способів охолодження повітря: попереднього, внутрішнього і зовнішнього виносного охолодження.

При першому способі охолодження охолоджувач встановлюється перед компресором і знижується початкова температура газу. При постійній об'ємній

продуктивності попереднє охолодження збільшує масову продуктивність і трохи збільшує потужність через втрати тиску в охолоджувачі.

Попереднє охолодження доцільно застосовувати при великій різниці температур всмоктуваного газу і охолоджуючого середовища, що може бути досягнуто при використанні холодильної машини. Це не вигідно, оскільки витрата енергії в ній буде більше, ніж економія, що досягається при стисненні газу. Тому в даний час в промисловості такий спосіб охолодження, як самостійний, не застосовують.

При другому способі охолодження повітря відбувається безпосередньо в корпусі турбокомпресора, в той час коли повітря проходить через дифузори і зворотні направляючі апарати.

Внутрішнє охолодження повітря, в свою чергу, може здійснюватися двома шляхами: відведенням тепла від повітря при його русі напрямними апаратами ступенів і впорскуванням охолоджуючої рідини в потік повітря між робочими колесами.

У першому випадку для відводу тепла від повітря всередині кожного ступеня передбачаються порожнини, якими проходить охолоджуюча вода. Зазвичай для поліпшення тепловідводу ці порожнини забезпечені кількома перегородками, а направляючі апарати виконуються з великою кількістю тонких лопаток, що грають роль ребер поверхонь охолодження.

Після перших ступенів ефект, що досягається за рахунок внутрішнього охолодження, незначний внаслідок малого перепаду температур між повітрям і охолоджуючою водою. По мірі зростання температури повітря вплив охолодження посилюється, і процес стиснення наближається до ізотермічного.

Охолодження водою, що рухається внутрішніми каналами машини, застосовувалося до недавнього часу дуже широко. При цьому способі волога з газу зазвичай не випадає, що особливо важливо при стисненні газів, агресивних у вологому стані. Однак через необхідність створити достатню поверхню охолодження як осьові, так і особливо радіальні розміри машини доводиться сильно збільшувати. Збільшення шляху газу знижує газодинамічний ККД.

Особливо важко створити потрібну поверхню охолодження при великих об'ємних продуктивностях. Однією з серйозних перешкод застосування охолодження за допомогою водяних сорочок є труднощі їх демонтажу та очищення водяних каналів від накипних відкладень. Тому турбокомпресори з внутрішнім охолодженням в такому конструктивному виконанні не випускаються, і цей спосіб охолодження останнім часом застосовується рідко.

При другому способі внутрішнього охолодження (випарне охолодження) рідина (зазвичай вода) впорскується в потік нагрітого повітря, що виходить з робочого колеса. За рахунок випаровування рідини від повітря віднімається тепло, і температура його знижується. Так при уприскуванні 10 г води на 1 кг сухого повітря зниження температури останнього складе 25 °С.

Найкращим (найбільш економічним) способом попередньої осушки стиснутого повітря є застосування осушувачів типу ОСВ (ТУ 4151-001-1724072-03), що використовують холод навколишнього середовища. У процесі охолодження прямого потоку стиснутого повітря, з нього відбувається виділення вологи при досягненні температури початку конденсатостворення і нижче – до досягнення мінімального значення (температури точки роси ОСВ). Волога, що виділилася збирається в конденсатозборному вузлі осушувача і автоматично видаляється.

Виконання ОСВ трипоточним за схемою «труба в трубі» дозволяє забезпечити незамерзаємість теплообмінного апарату і його ефективну роботу при будь-яких температурах атмосферного повітря ($T_{\text{атм.}}$). В ОСВ стиснуте повітря охолоджується до мінімальної температури $T_{\text{мін}} = T_{\text{атм.}} + (4...6)^\circ\text{C}$, при цьому виділяється і видаляється в середньому 80% конденсату,

Принципова схема глибокої осушки стиснутого повітря, із застосуванням адсорбційних осушувачів та попередньої ступені осушки на базі ОСВ зображена на рисунку 2.3.

Застосування такої схеми може дозволити майже в двічі скоротити експлуатаційні витрати на виробництво стиснутого повітря [9].

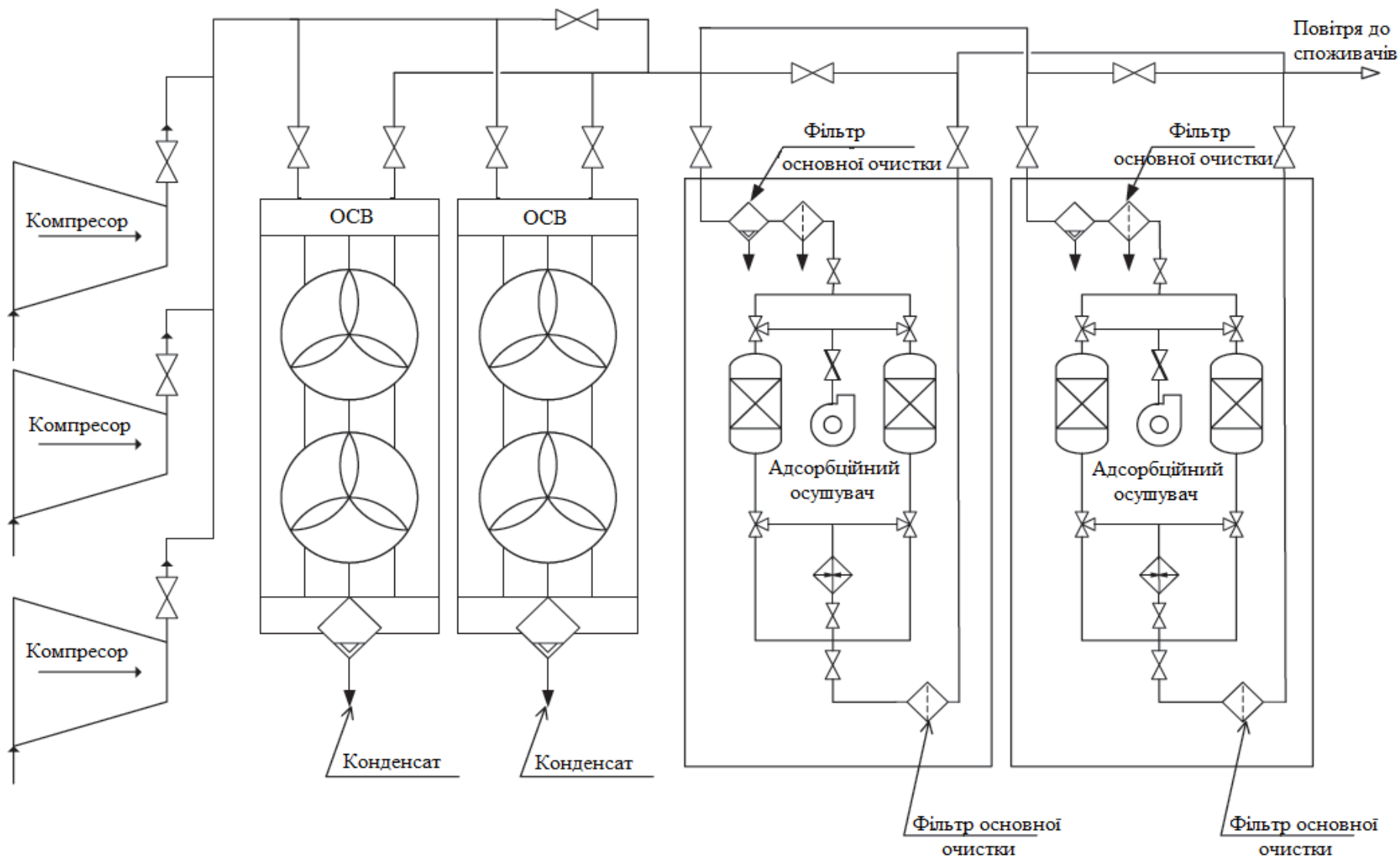


Рисунок 2.3 – Принципова схема глибокої осушки стиснутого повітря із застосуванням адсорбційних осушувачів та попередньої ступені осушки на базі ОСВ

2.4. Застосування гідромuft для регулювання відцентрованих компресорів

Відцентровані турбокомпресори широко застосовуються в різних процесах на підприємствах. В останні роки намітилася тенденція до зростання застосування електродвигунів для приводу цих компресорів.

У ряді випадків параметри процесу змінюються в часі, і це вимагає регулювання характеристик відцентрованих турбокомпресорів. Найбільш енергетично ефективним способом регулювання відцентрованих турбокомпресорів є зміна швидкості їх обертання [10]. Даний спосіб регулювання стосовно електроприводних агрегатів реалізується за допомогою гідродинамічних передач (гідромuft) або застосування частотно-регульованого приводу (ЧРП).

Основним завданням застосування регульованого приводу є економія електроенергії, споживаної приводним двигуном і зниження, таким чином, частки енерговитрат у структурі собівартості кінцевої продукції [11-13]. Зменшення швидкості обертання компресора від максимальної n_1 до поточної n_2 призведе до зміни всіх основних параметрів компресора: продуктивності Q , тиску на виході P і потужності на валу компресора N . Зменшення потужності на валу компресора N при дросельному регулюванні його продуктивності буде набагато менше, ніж при регулюванні швидкості компресора, що зображено на рисунку 2.4.

Крім цього, за рахунок регулювання частоти обертання можна забезпечити роботу компресора з високим ККД в широкому діапазоні регулювання продуктивності компресора при одночасному його розширенні за рахунок зміщення кордону помпажа вліво.

Регулювання швидкості також забезпечує швидке проходження діапазону критичних швидкостей. Останнє, але не менш важливе, це велика гнучкість регульованого компресора в порівнянні з нерегульованим.

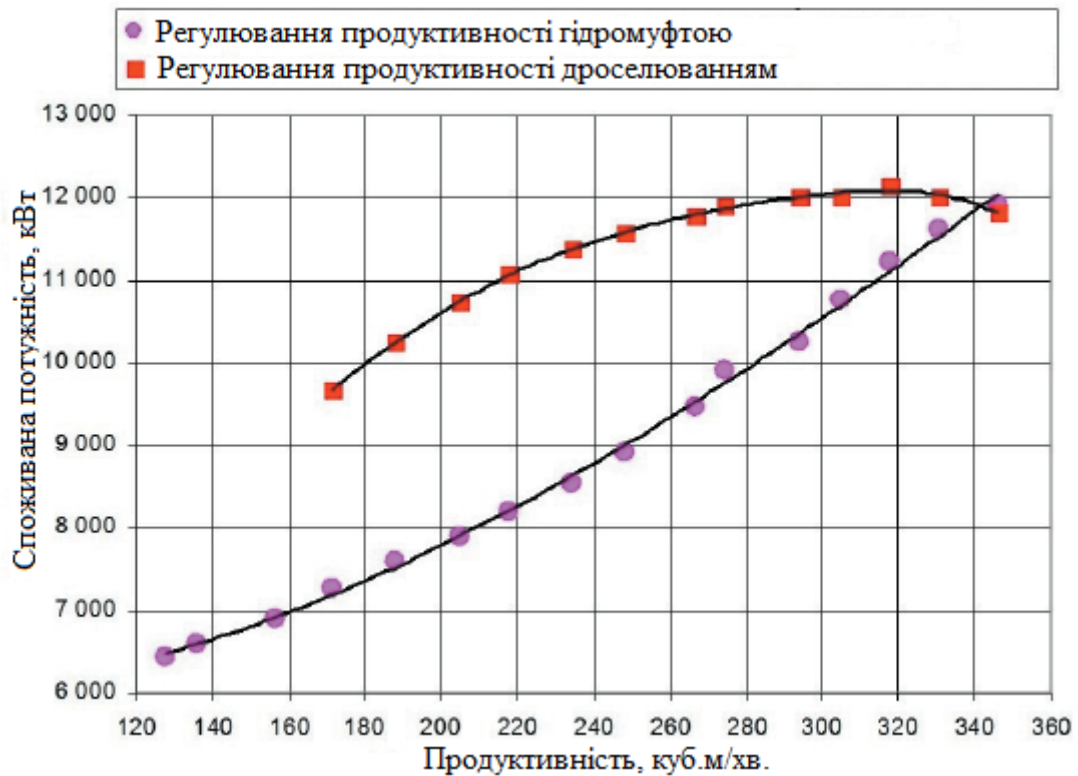


Рисунок 2.4 – Зменшення споживаної потужності компресора при регулюванні його швидкості і дроселюванні

Якщо фактичні параметри процесу будуть трохи відрізнятися від проектних, або таке відхилення можна очікувати пізніше під час тривалої експлуатації, то ці відхилення легко усуваються шляхом регулювання швидкості компресора.

Гідромуфта типу RKGS являє собою економічне рішення, що складається з комбінації в загальному корпусі гідродинамічної муфти і розташованої перед нею редукторної пари, в якій швидкість підвищується від початкової (1500 або 3000 об/хв.) до проміжної швидкості (5000 або 6000 об/хв.).

Для подальшого збільшення швидкості до 12000-14000 об/хв. застосовується ще одна редукторна пара, встановлена після гідромуфти.

Таким чином, редукторна гідромуфта типу RKGS виконує одночасно дві функції: підвищення і регулювання частоти обертання, а також може бути використана для подачі мастила на весь компресорний агрегат, включаючи

компресор, електродвигун і власне гідромурфту відповідно до стандарту API 613. При цьому окрема мастилостанція не вимагається.

Перевагами редукторної гідромурфти типу RKGS є простота конструкції, дуже висока надійність і компактність. Габаритна довжина такої гідромурфти по кінцях валів всього на 400-500 мм більше, ніж у мультиплікатора з фіксованою швидкістю на аналогічні параметри, а її ціна, з урахуванням заміщення мастилостанції, на 25-30% вище.

Редукторні гідромурфти мають широкий діапазон регулювання швидкості від 105 до 25% від номінальної, але при цьому втрати так само зростають у міру зниження вихідної швидкості.

Тому оптимальною областю застосування редукторних гідромурфт типу RKGS є відцентровані турбокомпресори з відносно невеликою (1,7-2,5 МВт) потужністю приводу і потрібним діапазоном регулювання швидкості в межах 10-15%.

Для відцентрованих турбокомпресорів з великою потужністю приводу (до 55 МВт) і високою швидкістю обертання (до 20000 об/хв.) виготовляються планетарні гідромурфти Vorecon [14].

Дана гідромурфта представляє собою комбінацію планетарної передачі з фіксованою частотою обертання і гідротрансформатора з поворотними напрямними лопатками.

Вхідний вал обертається з постійною швидкістю, рівній частоті обертання валу електродвигуна (зазвичай 1500 об/хв.). Вихідний вал має номінальну швидкість, яка визначається передавальним відношенням планетарної передачі і, наприклад при $i = 10$, 15000 об / хв.

У гідромурфті Vorecon осі планетарних шестерень (3, 4 або навіть 5 штук) обертаються навколо центру осі вихідного валу (в класичній планетарній передачі вони нерухомо закріплені на корпусі). У тому випадку, коли напрямок обертання осей планетарних шестерень (наприклад, за годинниковою стрілкою) збігається з напрямком обертання вхідного валу, то, згідно трикутнику швидкостей, частота обертання вихідного валу буде зменшуватися в порівнянні

з нерухомим положенням осей планетарних шестерень. І навпаки, якщо напрямок обертання осей планетарних шестерень протилежно напрямку обертання вхідного вала, то частота обертання вихідного валу буде збільшуватися.

Напрямок та швидкість обертання осей планетарних шестерень задається за допомогою регулювання положення направляючих лопаток гідротрансформатора.

У планетарній гідромуфті Vorecon реалізований принцип поділу потоку потужності від двигуна на компресор на дві складові: постійну механічну P_1 , передану безпосередньо через планетарну передачу, і змінну гідравлічну P_2 , передану через гідротрансформатор, що зображено на рисунку 2.5.

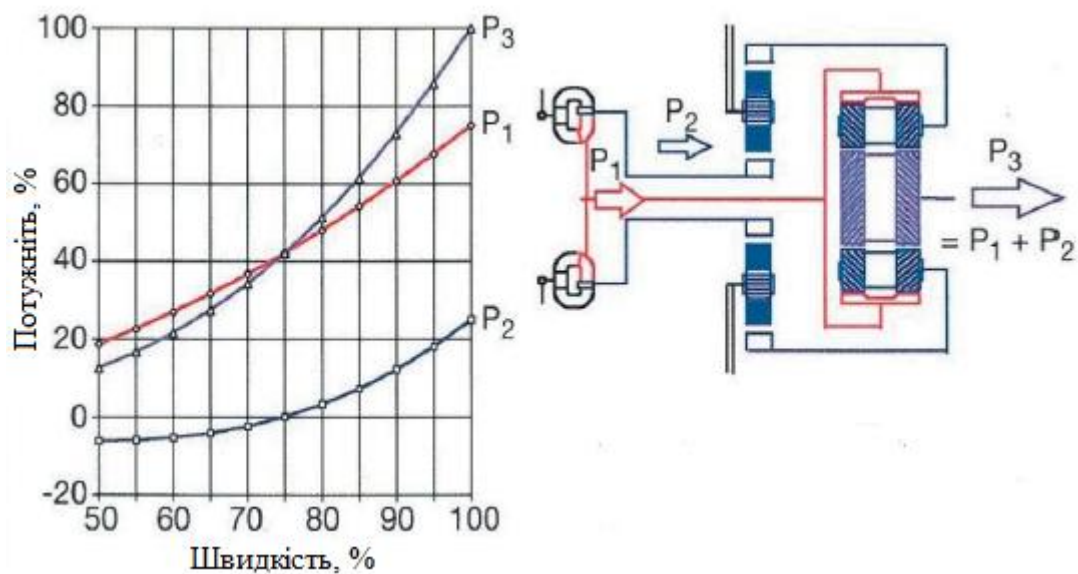


Рисунок 2.5 – Принцип поділу потоку потужності гідромуфти Vorecon

Важливою перевагою планетарних гідромуфт Vorecon є збереження високого ККД на рівні 92-95% у всьому діапазоні регулювання швидкості компресора (зазвичай від 65 до 105% номінальної).

Тому оптимальною областю застосування планетарних гідромуфт Vorecon типу RWE є відцентровані турбокомпресори з потужністю приводу від

2 до 50 МВт, передавальним відношенням швидкостей двигун-компресор $i > 3$ і широким діапазоном регулювання швидкості.

Габаритна довжина планетарних гідромффт Vorecon типу RWE на 300-500 мм більше, ніж у редукторних гідромффт типу RKGS на аналогічні параметри, а її ціна, на 40-70% вище.

2.5 Автоматичне частотне регулювання електропривода турбокомпресора

Нині металургія є основним споживачем стиснутого кисню, який застосовується при виробництві чавуну і сталі (конверторне виробництво сталі, електросталеплавильне виробництво і кисневе дуття в доменних печах). Для отримання кисню використовуються повітрянорозподільні установки (ВРУ), які включають устаткування для стискування і очищення атмосферного повітря, його охолодження до криогенних температур, розділення методом ректифікації, нагріву отриманих продуктів, їх компримирування і перекачування[15]. Режим роботи ВРУ характеризується споживанням пневмоенергії, яке змінюється, що змінює навантаження турбокомпресорної установки і може привести до неприпустимих коливань тиску в мережі.

Основне завдання регулювання режиму роботи турбокомпресора полягає в підтримці заданого тиску стиснутого повітря в пневмережі шляхом зміни продуктивності компресорів відповідно до споживання стиснутого повітря. Для цього високовольтний асинхронний електропривод турбокомпресора пропонується оснастити частотним перетворювачем, що в сукупності з автоматичним регулятором дозволить підтримувати постійний тиск в системі при змінній витраті, а також понизити вірогідність провалів тисків. Частотне регулювання дозволяє істотно понизити витрату електроенергії, підвищити рівень автоматизації технологічного процесу, збільшити напрацювання на відмову електродвигунів. Таким чином, актуальною є розробка системи

автоматичного регулювання компресорної установки, оснащеної частотно-регульованим асинхронним електроприводом.

В якості перетворювача частоти може бути використаний високовольтний перетворювач фірми RockwellAutomation (Allen - Bradley) - PowerFlex7000 [16]. Такий перетворювач можна використати в системі автоматичного управління, структурна схема якої приведена на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Модернізована схема управління компресором

Фактичний тиск повітря в пневматичній мережі вимірюється датчиком тиску 1 на виході компресора, сигнал якого поступає на модуль управління, де

робиться порівняння з уставкою. При виникненні сигналу розузгодження, модуль управління дає команду блоку частотного перетворювача, який, у свою чергу, формує сигнал на збільшення або зменшення частоти обертання приводного електродвигуна турбокомпресора. В ході роботи установки безперервно знімаються і аналізуються показники датчиків температури двигуна 3, підшипників 4 і температури мастила 5. Робота мастилонасоса, в процесі роботи турбокомпресора здійснюється за рахунок виміру тиску мастила 7 на виході насоса. При пониженні тиску мастила або його рівня в мастилобаці нижче заданих, модуль управління зупиняє компресор і включає сигналізацію. Під час пуску компресора інформація з датчиків рівня мастила 6, тиску мастила 7 і його температури поступає в модуль, де аналізується і виробляється сигнал на включення основного електродвигуна компресора.

Структурна схема модуля управління приведена на рисунку 2.7.

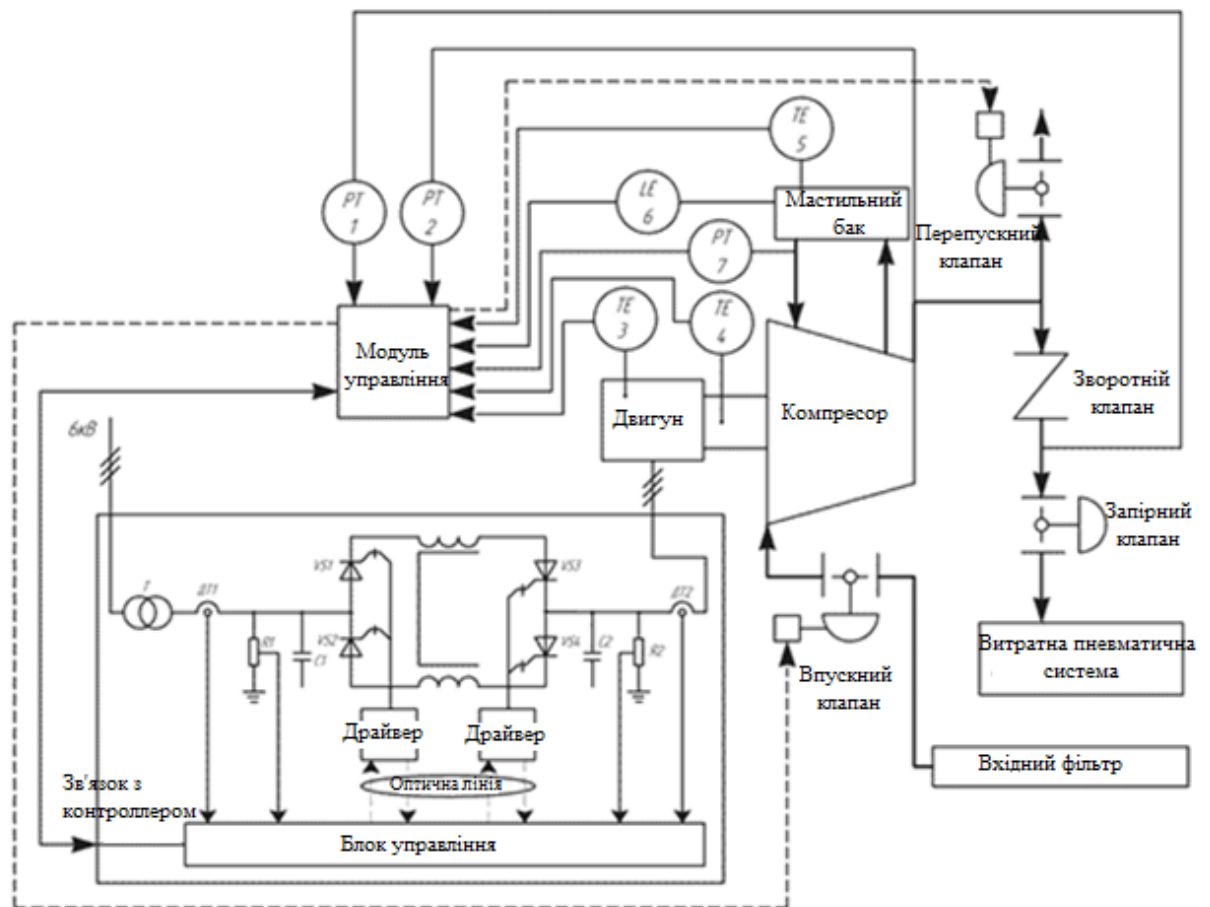


Рисунок 2.7 – Структурна схема зв'язку модуля управління турбокомпресора з зовнішніми пристроями

Основним елементом пристрою є мікроконтроллер, який призначений для обробки інформації від датчиків і органів управління, ухвалення логічних рішень і своєчасного формування сигналу, що управляє, на частотний регулятор. Інформація в пристрій поступає від датчика струму про величину сили струму в обмотці статора приводного електродвигуна турбокомпресора, датчиків температури мастила, підшипникових вузлів і температури обмоток двигуна, датчика рівня мастила в системі мастилозмазки, датчика тиску мастила в системі мастила.

2.6 Вдосконалення способів управління електропривода компресора

Забезпечення споживачів стиснутим повітрям належить до енергоємних процесів. Коефіцієнт корисної дії (ККД) компресорних установок систем розподілу стиснутого повітря залишається достатньо низьким, що визначає високу вартість виробництва стиснутого повітря.

Особливе місце займають системи забезпечення стиснутим повітрям, побудовані на базі компресорних установок поршневого типу. Це, як правило, широко поширені системи невеликої продуктивності, що містять одну компресорну установку й мало розгалужену розподільну мережу. Регулювання продуктивності компресора здійснюється шляхом управління його електроприводом. Ці установки, як і інші аналогічного призначення, також мають низьку енергоефективність, обумовлену істотними втратами енергії. Виникає необхідність зниження рівня втрат з урахуванням усіх стадій процесу. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що рішення, направлені на підвищення енергетичної ефективності процесу виробництва стиснутого повітря, стосуються, в основному, окремих ланок цієї системи (компресорної установки, системи розподілу стиснутого повітря). Ці результати не були узагальнені й не розглядалися з погляду енергоефективності процесу в цілому.

Дослідження системи виробництва стиснутого повітря, що складається із взаємозв'язаних елементів, режими роботи яких є взаємообумовленими (живляча мережа, компресор, пневмомережа), дозволяє підійти до аналізу електромеханічних процесів, які протікають системно, й запропонувати технічне рішення з управління електроприводом компресора, яке забезпечує підвищення енергоефективності процесу в цілому. Метою є підвищення енергетичної ефективності електромеханічної системи виробництва й розподілу стиснутого повітря шляхом застосування нового способу управління електроприводом компресорної установки.

Розглянуто системи виробництва стиснутого повітря, побудовані на основі повітряних компресорів поршневого типу. Ці компресори широко використовуються в промисловості та сільському господарстві завдяки своїй здатності вирішувати значне коло існуючих завдань, простоті конструкції та високій надійності. Як правило, для них застосовують двопозиційне регулювання продуктивності компресора, що передбачає періодичне увімкнення електродвигуна компресора з метою підвищення тиску в ресивері. У процесі споживання стиснутого повітря тиск змінюється в межах між максимальним P_{max} та мінімальним P_{min} значеннями. Прийнятні межі тиску P_{min} та P_{max} визначаються, виходячи з технічних характеристик споживачів стиснутого повітря. Зрозуміло, що такий спосіб регулювання продуктивності компресора зумовлений необхідністю забезпечення експлуатаційних характеристик споживачів і не спрямований на підвищення енергоефективності процесу. Існують можливості для вдосконалення такого способу управління електроприводом компресора шляхом уведення нових технічних рішень, спрямованих на зменшення втрат енергії [18, 19].

Основними параметрами, які суттєво впливають на рівні втрат енергії у всіх ланках системи, є значення тиску в ресивері компресора P_2 та рівень споживання стиснутого повітря пневмоприймачами Q . Значення Q залежить від рівня навантаження пневмомережі й тому може розглядатися як параметр, що не підлягає регулюванню. Рівень P_2 може бути зміненим у процесі управління

електроприводом компресора й тому може вважатися регульованим параметром [20–23].

Визначені аналітичні залежності, що зв'язують рівні втрат енергії в окремих ланках системи з параметрами режиму при двопозиційному регулюванні продуктивності компресора. При визначенні залежностей уведені наступні допущення:

- напруга живлення асинхронного двигуна незмінна ($U = \text{const}$);
- ККД асинхронного приводу компресорів у процесі роботи залишається практично незмінним;
- вплив температур усмоктування повітря на споживану потужність вважається неістотним;
- розрахунок параметрів режиму проводиться при температурі 20°C ($T_1=20^\circ\text{C}$).

Визначено наступні складові втрат:

- втрати активної енергії в електричній мережі:

$$\Delta \mathcal{E}_{e.m.} = t_1 \sum_{i=0}^m 3r_0 l \times \left(\frac{2 \left(\frac{n}{n-1} \right) P_1 Q_{komp} \left(\left(\frac{P_{2_{i+1}}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{mex} \eta_{pol} \eta_{dv}}}{\sqrt{3} U \cos \phi} \right)^2 \quad (2.1)$$

де r_0 – питомий опір провідника Ом/км; l – довжина лінії, км; t_1 – тривалість накачування стиснутого повітря, год; P_1 – атмосферний тиск, Па; Q_{komp} – об'ємна продуктивність за умов усмоктування, $\text{м}^3/\text{с}$; n – показник політропи для поршневих компресорів; η_{dv} – ККД двигуна; η_{pol} – індикаторний ККД політропного процесу стиснення; η_{mex} – механічний ККД, що враховує

втрати тертя кривошипно-шатунного механізму й поршня компресора; U – напруга мережі живлення; P_2 – тиск у пневмережі, Па; m – кількість ітерацій при збільшенні тиску;

– втрати енергії в асинхронному двигуні й компресорній установці:

$$\Delta \mathcal{E}_{a.d.k.} = t_1 \sum_{i=0}^m 2 \left(\frac{n}{n-1} \right) P_1 Q_{komp} \left(\left(\frac{P_{2_{i+1}}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \times \frac{1}{\eta_{mex} \eta_{pol} \eta_{dv}} - t_1 \sum_{i=0}^m P_{2_{i+1}} \left(B_0 + B_1 e^{\frac{-P_{2_{i+1}}}{B_2}} \right) \quad (2.2)$$

де B_0, B_1, B_2 – розрахункові коефіцієнти продуктивності компресора;

– втрати енергії в системі трубопроводів стиснутого повітря (за час накачування стиснутого повітря):

$$\Delta \mathcal{E}_{TN} = t_1 \sum_{i=0}^m P_{2_{i+1}} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2_{i+1}}}{C_2}} \right) \quad (2.3)$$

де C_0, C_1, C_2 – розрахункові коефіцієнти втрат стиснутого повітря в пневмережі;

– втрати енергії в системі трубопроводів стиснутого повітря (за час спуску стиснутого повітря):

$$\Delta \mathcal{E}_{TS} = t_2 \sum_{i=m}^k P_{2_{i+1}} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2_{i+1}}}{C_2}} \right) \quad (2.4)$$

де t_2 – тривалість спуску стиснутого повітря, год; k – загальна кількість ітерацій.

Проаналізовано рівні втрат енергії в елементах системи на рисунку 2.8:

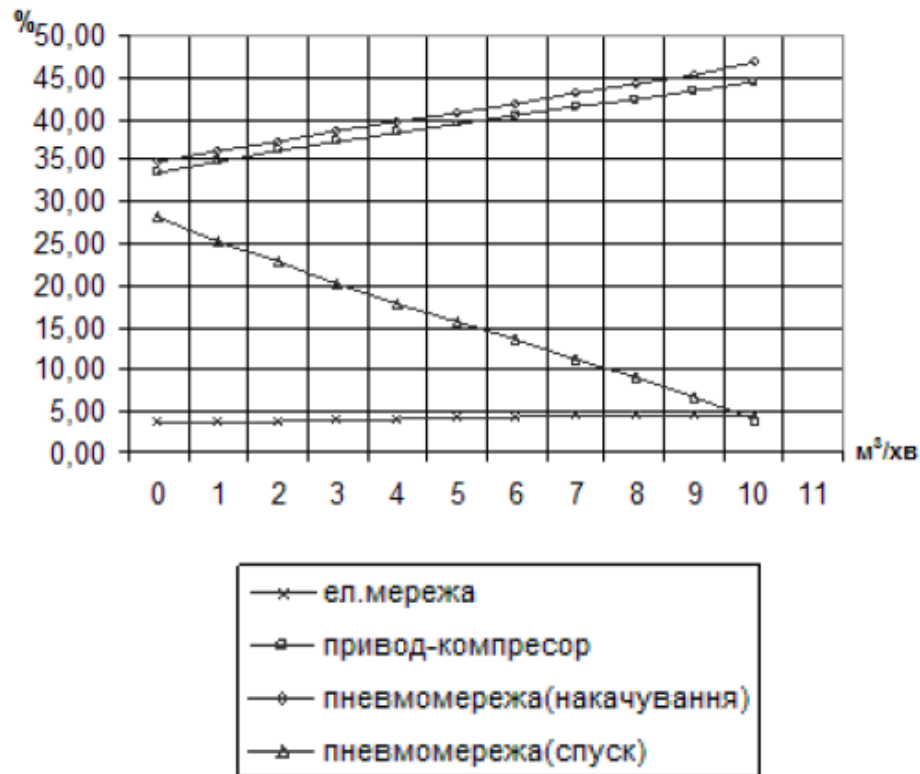


Рисунок 2.8 – Графік залежності відносних втрат енергії в елементах електромеханічної системи від рівню споживання стиснутого повітря

Аналіз рівня втрат енергії в елементах системи свідчить, що в умовах експлуатації електромеханічної системи з короткою електричною мережею найбільші значення втрат спостерігаються в пневмережі відносно загальних втрат у системі, %. Дещо менші втрати є в системі «привод–компресор», і незначні втрати існують в електричній мережі.

У процесі зміни рівня споживання стиснутого повітря Q існує можливість зміни верхньої межі тиску P_{max} у ресивері компресора в кожному циклі двопозиційного управління з метою зниження рівня втрат енергії в системі [24, 25].

Розроблено математичну модель для розрахунку ККД електромеханічної системи, сформульовано та вирішено задачу оптимізації параметрів режиму при двопозиційному управлінні електроприводом компресора:

$$\eta = \frac{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_{Q_{komp}} \left(\left(\frac{P_{2+i}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{max} \eta_{p\alpha} \eta_{kv}} - t_1 \left(\sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_{Q_{komp}} \left(\left(\frac{P_{2+i}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{max} \eta_{p\alpha} \eta_{kv}} - \sum_{i=0}^m P_{2+i} \left(B_0 + B_1 e^{\frac{-P_{2+i}}{B_2}} \right) \right)}{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_{Q_{komp}} \left(\left(\frac{P_{2+i}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{max} \eta_{p\alpha} \eta_{kv}} + t_1 \sum_{i=0}^m 3t_0 \left[\frac{2 \binom{n}{n-1} R_{Q_{komp}} \left(\left(\frac{P_{2+i}}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{max} \eta_{p\alpha} \eta_{kv}}}{\sqrt{3U \cos \phi}} \right] + \frac{1}{t_{pck}} 3t_0 \int_0^{t_{pck}} I_n^2(t) dt - \frac{t_1 \sum_{i=0}^m P_{2+i} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2+i}}{C_2}} \right) - t_2 \sum_{i=m}^k P_{2+i} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-P_{2+i}}{C_2}} \right)}{2}} \quad (2.5)$$

Для визначення оптимального значення верхньої межі тиску $P_{max,opt}$ сформульована й вирішена задача параметричної оптимізації. Створено математичну модель, яка пов'язує значення ККД (η) електромеханічної системи з регульованим параметром P_{max} та рівнем споживання стиснутого повітря Q , що підлягає зміні в процесі експлуатації системи[26].

Максимальне значення тиску в ресивері:

$$P_{max} = P_{min} + \sum_{i=0}^m \Delta P_{2i} \quad (2.6)$$

де ΔP_{2i} – приріст тиску в ресивері на i -ому кроці ітераційного процесу, Па.

$$m = \frac{t_1}{\Delta t}; \quad k = \frac{t_1 + t_2}{\Delta t}; \quad T_c = t_1 + t_2 \quad (2.7)$$

де Δt – крок ітерації, год; T_c – тривалість циклу управління, год.

$$Q = \frac{V}{RT} \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P_{2i}}{\Delta t} \quad (2.8)$$

де T – температура повітря, К; R – газова постійна для повітря, Дж/(кг·К); ρ – густина повітря за нормальних умов, кг/м³; V – об'єм пневмоприймачів у мережі, м³.

Запропонована модель відрізняється від існуючих можливістю врахування режиму роботи всіх ланок електромеханічної системи для визначення її енергетичного показника – ККД. Визначено залежність зміни ККД електромеханічної системи від рівня тиску в пневматичній системі $P_{max.opt}$ в інтервалі його зміни від P_{min} до $P_{max.dop}$ при різних значеннях рівня споживання стиснутого повітря Q (від 1–11 м³/хв.), що зображено на рисунку 2.9 [27].

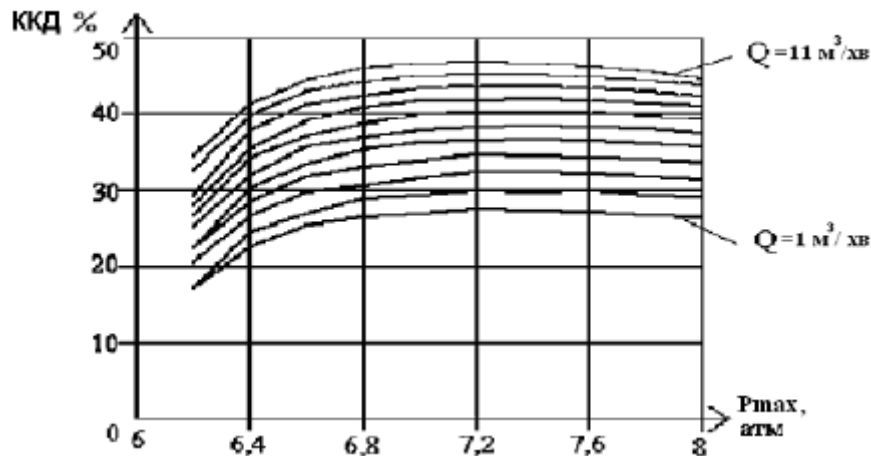


Рисунок 2.9 – Залежність ККД електромеханічної системи від рівня тиску в пневматичній системі за різної витрати стиснутого повітря

Рисунок 3.9. показує, що при значеннях верхньої межі тиску $P_{max.opt}$, близьких до P_{min} , ККД електромеханічної системи низький через вплив втрат енергії при пуску $\Delta E_{push}(P_2)$. Надалі, із зростанням значення $P_{max.opt}$ ККД збільшується; це пов'язано із зменшенням втрат енергії в пневматичній мережі $\Delta E_{m.c.}(P_2)$ у режимі зменшення тиску P_2 . Так продовжується до того часу, поки ККД не досягне максимуму свого значення. Потім ККД знижується внаслідок збільшення втрат енергії в пневматичній мережі в режимі накачування стиснутого повітря $\Delta E_{m.n.}(P_2)$ і в таких елементах, як «привод–компресор».

З побудованої залежності $\eta(P_{max}, Q)$ видно, що вона має екстремум, а це є передумовою для управління електроприводом компресора, яке забезпечить максимальне значення ККД у кожному циклі двопозиційного управління шляхом регулювання значення верхньої межі тиску $P_{max.opt}$.

Пропонується обрання критерію оптимізації. Запропоновано як цільову функцію використати аналітичну залежність ККД системи виробництва стиснутого повітря від верхньої межі тиску в ресивері (P_{max}) у кожному циклі двопозиційного управління приводом компресора. Необхідно забезпечити максимальне значення ККД:

$$\eta(P_{max}) \rightarrow \max. \quad (2.9)$$

Оптимізаційна задача вирішується за наявності обмежень. Обмеженнями є граничні межі тиску в ресивері:

$$P_{min} < P_{maxopt} \leq P_{maxdop} \quad (2.10)$$

Обмежена кількість пусків приводного асинхронного двигуна в годину:

$$M \leq M_{dop} \quad (2.11)$$

Пошук екстремуму цільової функції при вирішенні задачі оптимізації здійснюється методом сканування. Отримано оптимальні значення максимального верхнього рівня тиску в пневмомережі.

Залежності оптимальних значень тиску P_{maxopt} від витрат повітря Q ; значень ККД, що відповідають P_{maxopt} наведено на рисунку 2.10, 2.11.

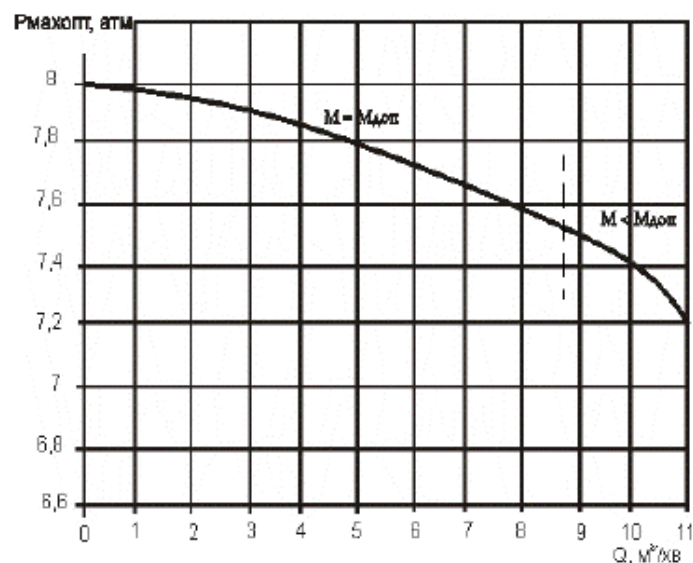


Рисунок 2.10 – Залежність оптимального верхнього рівня тиску P_{maxopt} від витрат стиснутого повітря

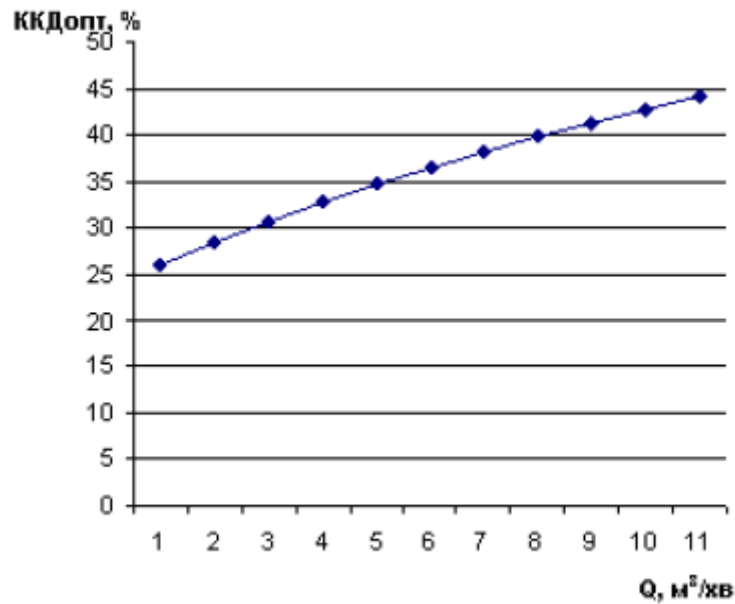


Рисунок 2.11 – Залежність ККД системи від витрат стиснутого повітря Q при оптимальних значеннях $P_{max.opt}$

Залежність, зображена на рисунку. 3.11 показує, що при значеннях тиску $P_{max.opt}$ зі збільшенням витрат стиснутого повітря Q ККД системи збільшується. Проте із залежності на рисунку. 3.10 видно, що обмеження за кількістю пусків асинхронного приводу повітряного поршневого компресора є активним при витратах стиснутого повітря від 0 до 9 м³/хв., унаслідок чого можна зробити висновок про те, що ефективність системи управління досягається при великих витратах стиснутого повітря Q .

Розрахунок значень ККД при оптимальних параметрах режиму свідчить про те, що зростання витрат стиснутого повітря супроводжується підвищенням ККД системи.

Рішення оптимізаційної задачі дозволяє розробити ефективний спосіб управління електроприводом компресора.

Дослідженовано новий спосіб двопозиційного управління електроприводом компресора. Суть запропонованого способу управління полягає в тому, що в кожному циклі двопозиційного управління компресором визначають рівень витрат стиснутого повітря Q і залежно від його значення

встановлюють оптимальне значення верхньої межі тиску в ресивері ($P_{max,opt}$), яке забезпечує максимальний рівень ККД (η). Таким чином, відмінність запропонованого способу управління від відомого полягає в тому, що в запропонованому способі значення тиску P_{max} для кожного циклу регулювання продуктивності компресора не є постійним, а змінюється, забезпечуючи максимальне значення ККД. На рисунку. 3.12 наведено залежності тиску в ресивері P_2 від часу при різних значеннях витрат повітря Q .

Видно, що зміна значень P_{max} (P_{max1} , P_{max2}) при зміні витрат повітря Q (Q_1 , Q_2) призводить до зміни тривалості циклу управління приводом T_c (T_{c1} , T_{c2}), тому в деяких режимах роботи обмеження на кількість пусків при рішенні оптимізаційної задачі стає активним. Такі режими визначено на рисунку 2.12.

Задача оптимізації параметрів режиму вирішувалась для систем різної продуктивності. При цьому, незважаючи на відмінність кількісних характеристик, характер отриманих залежностей залишався незмінним, що підтверджувало доцільність застосування розробленого способу.

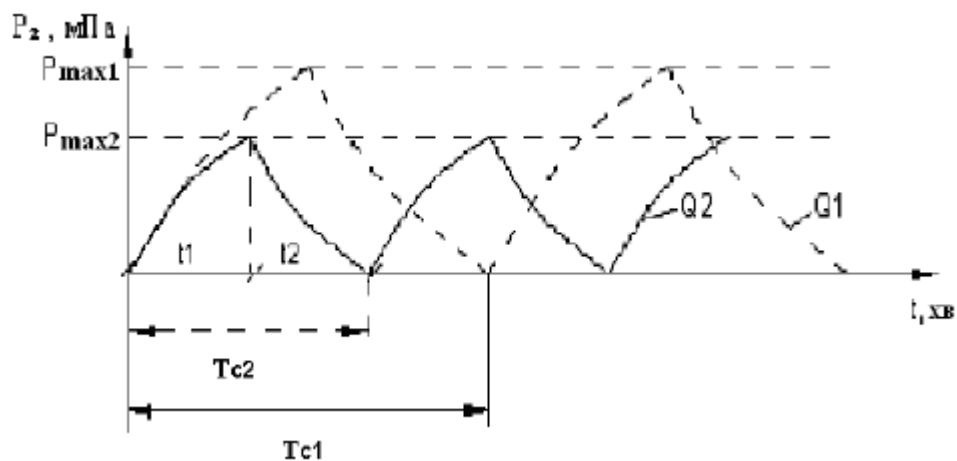


Рисунок 2.12 – Залежність тривалості циклу від максимального рівня тиску й витрати стиснутого повітря, споживаного пневмоприймачами

Доведено, що за відсутності обмеження на кількість пусків за годину (його збільшенні до 30–40) асинхронного двигуна компресора економія споживаної електричної енергії досягається й при малих витратах стиснутого повітря, споживаного пневмоприймачами. У разі суттєвого обмеження кількості

пусків (що встановлюється паспортними даними двигуна) економія електроенергії може бути досягнута лише при значних обсягах витрат стиснутого повітря Q .

Моделювання параметрів режиму роботи електромеханічної системи для різних варіантів управління продуктивністю компресора: споживання енергії електромеханічною системою протягом однієї години за класичним двопозиційним методом управління; шляхом двопозиційного методу управління з оптимальним верхнім рівнем тиску; застосуванням двопозиційного методу управління з оптимальним верхнім рівнем тиску й встановленими обмеженнями – довело, що запропонований варіант регулювання з «плаваючим» верхнім рівнем тиску забезпечує скорочення рівня витрат електричної енергії. У зіставленні з класичним двопозиційним регулюванням досягається економія до 1–13 %.

Розроблено алгоритм управління електроприводом компресорної установки та схемну реалізацію запропонованого способу.

Особливості запропонованого алгоритму управління наступні:

- забезпечує визначення витрат стиснутого повітря приймачами, виходячи із швидкості зміни тиску в пневмережі;
- здійснює прогнозування тривалості циклу управління T_c і, відповідно, значення верхнього рівня тиску P_{max} , виходячи з обмеження кількості пусків електродвигуна за годину;
- забезпечує визначення втрат енергії в елементах електротехнічного комплексу й відповідного значення ККД комплексу за цикл при заданому рівні тиску P_{max} ;
- виконує вибір максимального значення ККД (η_{opt}) і відповідного йому значення максимального тиску $P_{max.opt}$.

Для запропонованої електромеханічної системи при малих значеннях витрат стиснутого повітря економія електричної енергії практично відсутня, а при великих складає до 13 %.

Аналіз існуючих апаратних способів реалізації управління повітряними поршневыми компресорними установками показав, що для розробленого способу управління доцільно застосувати систему, побудовану на базі промислового програмованого контролера. Останній забезпечує не тільки постійний контроль необхідних параметрів, зокрема рівня тиску, але й має інші вагомні переваги порівняно з релейними системами.

Упровадження розробленого способу управління поршневыми компресорними установками дозволить економити електроенергію при невеликих витратах стиснутого повітря (1–8 м³/хв.) у середньому від 30 до 250 тис. грн./рік, а при значних (9–11 м³/хв.) – від 400 до 850 тис. грн./рік.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ККЦ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Електроенергія - основний вид енергії, яка застосовується в усьому промисловому обладнанні по створенню стисненого повітря. Перед виробниками завжди стоїть чільний питання, який би вирішив проблему економії електроенергії в своєму обладнанні. Це проблему виробники вирішують різними способами: починаючи від способу регулювання і управління компресора, закінчуючи рекуперацією енергії в тепло для подальшого його використання. Так як вимоги до стисненому повітря, економії електроенергії та іншим фактором зростає, то та інвестування з даних питань постійно збільшується. Фінансування таких виробництв дозволяє задовольняти навіть найвибагливіших споживачів стисненого повітря.

На рисунку 3.1 наведено типову структуру витрат на виробництво стиснутого повітря.

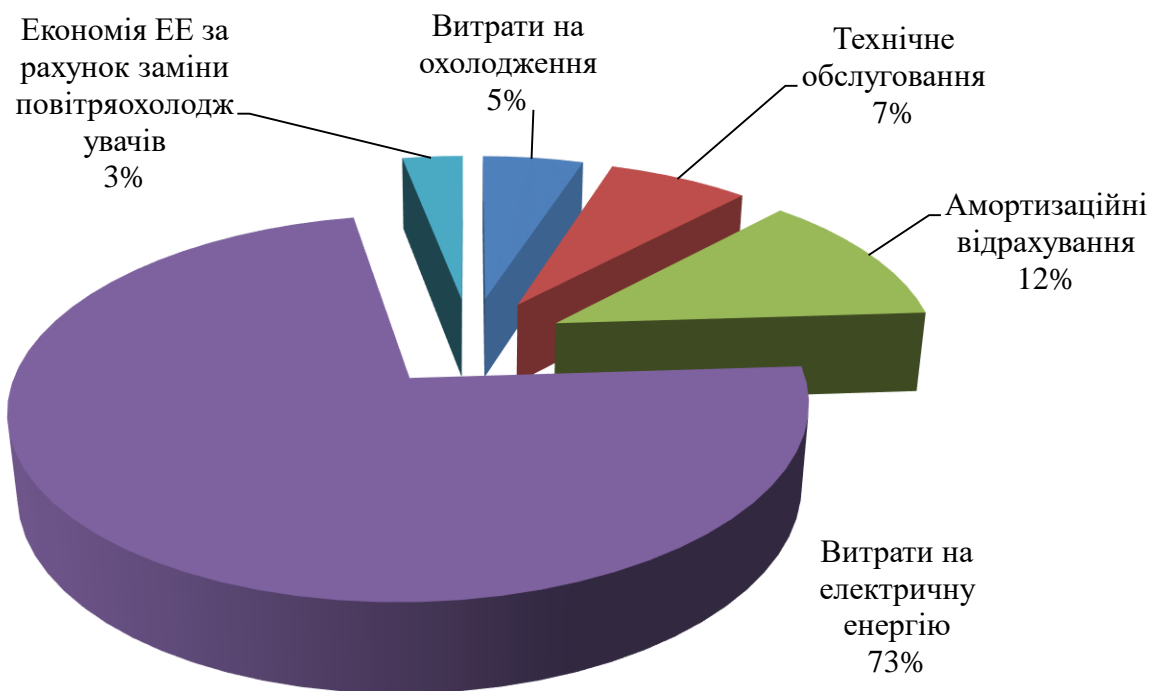


Рисунок 3.1 - Типова структура витрат на виробництво стиснутого повітря

Найчастіше витрати на електроенергію в загальних витратах досягає до 80%. Тому всі прагнуть до того, щоб продуктивність компресора дорівнювала потреби в стислому повітрі в своїх технологічних процесах. Додаткові системи регулювання і управління, які не інтегровані в компресор можуть поліпшити економічні та виробничі показники.

3.1 Визначення загальних показників витрат

Вхідні данні для розрахунку:

- річне виробництво стиснутого повітря $Q=3504000$ тис.м³/рік;

- питомі витрати електричної енергії на виробництво стиснутого повітря

$W = 106$ кВт·год/ тис.м³;

Задаємося тарифом на електроенергію: $Tar=1,04$ /кВт·год.

Розрахуємо витрати електричної енергії за рік на виробництво стиснутого повітря (кВт·год):

$$W = Q \cdot W. \quad (3.1)$$

$$W_{\text{с}} = 3504000 \cdot 106 = 371424000$$

З урахуванням тарифу на електричну енергію витрати за рік склали (грн.):

$$B_W = W \cdot Tar \quad (3.2)$$

$$B_W = 1,04 \cdot 371424000 = 386280960 = 386,3 \text{ млн. грн.}$$

3.2 Розрахунок економічного ефекту від заміни повітряохолоджувачів

Оскільки для підвищення температури охолоджуючої води було прийнято рішення щодо заміни повітряохолоджувачів турбокомпресорів, підбираємо необхідне обладнання для п'яти агрегатів, а саме кінцеві двохсекційні повітряохолоджувачі типу ВУП 2500-2. Початкові дані та експлуатаційно-економічну характеристику повітряохолоджувача зводимо до таблиці 3.1 і 3.2, відповідно.

Таблиця 3.1 – Техніко-економічні показники заміни повітряохолоджувачів

Модель	Вартість, млн. грн	Необхідна кількість, шт.	Загальна вартість, млн. грн.
ВУП 2500-2	0,98	6	60

Таблиця 3.2 – Експлуатаційно-економічна характеристика повітряохолоджувача

Характеристики	Показники
Модель	ВУП 2500-2
Вартість, млн.грн.	0,98
Термін експлуатації	15 років
Експлуатаційні витрати (відсоток від вартості)	2%
Амортизаційні нарахування на рік	8%

Розрахунки капітальних витрат наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Розрахунок капітальних вкладень на заміну одного повітряохолоджувача

№	Назва витрат	Відсоток від вартості повітряохолоджувача, %	Сума, тис. грн.
1.	Витрати на повітряохолоджувач	-	980
2.	На допоміжні матеріали	2	20
3.	На монтажні-демонтажні роботи	5	50
4	Капітальні витрати на заміну одного повітряохолоджувача		1050
5	Загальна вартість повітряохолоджувачів		5250
6	Витрати на модернізацію трубопроводів		300
7	Експлуатаційно-амортизаційні витрати	2	450
8	Всього		5800

Загальна вартість заміни повітряохолоджувачів:

$$K = K_1 \cdot n \quad (3.3)$$

де n – кількість повітряохолоджувачів;

K_1 – капітальні витрати на заміну одного повітряохолоджувача.

$$K = 1,05 \cdot 5 = 5,25 \text{ млн. грн.}$$

При заміні повітряохолоджувачів необхідно також врахувати роботи, пов'язані з модернізацією трубопроводів:

$$K_{\text{труб.}} = 0,3 \text{ млн. грн.} \quad (3.4)$$

В таблиці 3.4 наведені експлуатаційно-амортизаційні витрати на рік експлуатації одного повітряохолоджувача.

Таблиця 3.4 – Експлуатаційно-амортизаційні витрати

	Назва витрат	Відсоток від вартості повітряохолоджувача, %	Сума, тис. грн.
1.	Витрати на експлуатацію	2	20
2.	Витрати на амортизацію	7	70
	Всього		90

Щорічні загальні експлуатаційні витрати на повітряохолоджувачі:

$$B_{\text{експл}} = B_1 \cdot n \quad (3.5)$$

де B_1 – експлуатаційні витрати на один повітряохолоджувач;

n – кількість повітряохолоджувачів.

$$B_{\text{експл}} = 0,09 \cdot 5 = 0,45 \text{ млн. грн.}$$

Розрахуємо зменшення загального споживання електроенергії при заміні повітряохолоджувачів:

$$W_1 = 294,774 \cdot 0,03 = 10,5 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год.}$$

Розрахуємо загальну економію на рік від заміни компресорів в грошовому еквіваленті (тис.грн.):

$$\Delta B_w = \Delta W \cdot T_{ap} \quad (3.6)$$

$$\Delta B_w = 10,5 \cdot 1,04 = 10,92 \text{ млн. грн.}$$

Термін окупності проекту:

$$T = \frac{K + K_{\text{труб}} + K_{\text{експл}}}{\Delta B_w - B_{\text{експл}}} \quad (3.7)$$

$$T = \frac{5,25 + 0,3 + 1,05}{10,92 - 0,45} = 0,53 \text{ роки.}$$

3.3 Економічна доцільність підігріву мережевої води парових котлів

Для парового котла потужністю 32 т/год потрібна потужність складає 18244750 ккал/год. Вартість об'єму газу, який потрібний для такої потужності:

$$\text{Вартість} = \sum V \cdot \text{тариф} = 22,8 \cdot 4,6 = 104,88 \text{ млн. грн.}$$

3.3.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капіталовкладення будуть складатися з витрат на підігрівач, вартість робіт з монтажу. Вартість монтажних і пуско-налагоджувальних робіт, в даному випадку, складе 7%, а на поточний ремонт і обслуговування основних фондів - 5% від капітальних витрат.

Розрахунок капіталовкладень, грн.:

$$K = K_B + K_{mp} + K_M + K_{ПНР} \quad (3.8)$$

де K_B - вартість обладнання, млн. грн.;

K_{mp} - транспортні затрати, млн. грн.;

K_M - вартість робіт з монтажу, млн. грн.;

$K_{ПНР}$ - вартість робіт з пуско-наладки, млн. грн.

Розрахунок капіталовкладень виконано згідно формулі 3.1. Вартість робіт з монтажу і пуско-наладки:

$$K_M = 1,2 \cdot 0,07 = 0,08 \text{ млн. грн.}$$

Капітальні витрати становлять:

$$K = 1,2 + 0,08 + 0,02 + 0,3 = 1,8 \text{ млн. грн.}$$

3.3.2 Визначення техніко-економічних показників впровадження підігрівачів

Для того, щоб зробити висновок щодо доцільності впровадження підігрівачів необхідно визначити ряд техніко-економічних показників, а саме: річну вигоду від реалізації проекту, ефективність вкладень і термін її окупності.

– річна вигода при експлуатації підігрівачів теплоти:

$$E = V \cdot B_2$$

де V - об'єм зекономленого газу, млн. м³;

B_2 - вартість природного газу для підприємств, 4600 грн/тис. м³.

$$E = 1,7 \cdot 4,6 = 7,9 \text{ млн. грн.}$$

$$E_p = \frac{7,9}{1,8} = 4,39.$$

$$T_{ок} = \frac{1,8}{7,9} = 0,23 \text{ роки.}$$

Таблиця 3.5 – Техніко-економічні показники впровадження підігрівачів в умовах ККЦ ПАТ «Запоріжсталь»

№п/п	Економічні показники	Підігрівач
1	Капітальні витрати, грн.	1,8
2	Економічний ефект, грн	7,9
3	Ефективність капіталовкладень	4,39
4	Термін окупності, років	0,23

Вартість системи підігріву становить 1,8 млн. грн. Термін окупності проекту не перевищить 0,3 роки.

3.4 Загальні показники впровадження запропонованих заходів в умовах ККЦ ПАТ «Запоріжсталь»

Загальні техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів в умовах киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь» зведені до таблиці 3.6.

Всі запропоновані проекти виявилися економічно вигідними, бо строк окупності та коефіцієнт ефективності капітальних вкладень не перевищує 5 років та більше 0,15 від нормативних, відповідно.

Таблиця 3.6 - Техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів в киснево-компресорного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

№ п/п	Економічні показники	Заміна повітря-охолоджувачів	Підігрів мережевої води парових котлів	Загальні показники
1	Капітальні витрати, млн. грн	5,8	1,8	7,6
2	Економічний ефект, млн. грн	10,92	7,9	18,82
3	Ефективність капіталовкладень	1,88	4,39	2,48
4	Термін окупності, років	0,53	0,23	0,40

У цьому розділі проведено розрахунок економічної ефективності впровадження енергозберігаючих заходів в киснево-компресорному цеху ПАТ «Запоріжсталь».

Використання вторинної теплоти від повітряохолоджувачів на попередній нагрів води для подавання в парові котли дає змогу зекономити близько 1,7 млн. м³ природного газу. Техніко-економічні розрахунки показали, що капітальні вкладення на модернізацію системи охолодження становить близько 7,6 млн. грн. За рахунок цього заходу можна досягти зниження споживання електричної енергії вартістю близько 11 млн. грн. і заощаджувати природного газу вартістю 7,9 млн. грн. Термін окупності впровадження даної системи складе – 0,5 років, що є, безперечно, економічно доцільним.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

До складу доменного та мартенівського цеху комбінату «Запоріжсталь», який пов'язаний з киснево-конверторним цехом входить: рудний двір, спільно з аглофабрикою; відділення глином'ялки; відділення розливочних машин; бункерної естакади; доменних печей з ливарними дворами; газоочисток.

Призначення рудного двору: складування й усереднення за складом шихтових матеріалів, що йдуть в агломераційне й доменне виробництво.

Відділення глином'ялки призначене для виготовлення мас для забивання чавунних і шлаковипускних отворів.

У доменному цеху в результаті особливостей технологічного процесу, що проходить з утворенням великих кількостей надлишкового тепла, інфрачервоної радіації, пилу й газів, питання створення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці здобувають особливе значення.

Розвантаження й транспортування сирих матеріалів (коксу, руди, агломерату й т.п.) супроводжуються виділенням значних кількостей пилу в повітряний басейн рудного двору. Основними джерелами виділення пилу є розвантаження вагонів, перевантаження руди грейферними кранами, навантаження й розвантаження трансферкара. Концентрації пилу на рудному дворі коливаються від 10 до 120 мг/м³, на бункерній естакаді - від 16 до 1000 мг/м³. Максимальних значень концентрація пилу досягає під час навантаження й вивантаження матеріалів, що порошать. Виробничий шум на рудному дворі й бункерній естакаді, як правило, не перевищує припустимих рівнів, установлених СН – 245 - 71. Вплив шуму сприймають машиністи рудного крана, вагоноперекидача, вагонотовкача, трансферкара.

При випуску чавуну й шлаків спостерігається підвищення змісту пилу в повітрі робочої зони. Найбільші пиловиділення відбуваються при випуску чавуну й досягають 270 мг/м³ у головної ринви. Значні концентрації пилу (до

1500 мг/м³) у зоні чугуновозного ковша, що заповнюється чавуном. Ця операція супроводжується утворенням хмари пилу, що складає в основному із часточок графіту. У таблиці 4.1 представлена оцінка факторів виробничого й трудового процесу електромонтера.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого та трудового процесу електромонтера

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудоного процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Довготри- валість дії фактору за зміну %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	3-4 кл. небезпеки напруженість електромагнітного поля, кВ	5	7,5	1,5р	-	-	85
2	Вібрація локальна, дБ	92	95	3	-	-	80
3	Шум, дБА	80	90	-	10	-	80
4	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, °С	27	31	-	4	-	90
	-Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,5	-	-	-	90
	-Відносна волога повітря,%	65	64	-	-	-	90
5	Тяжкість та напруженість праці	Категорія середньої важкості 2б; помірно-напружена					

4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Оперативні переключення в РП передбачено здійснювати черговим або оперативно ремонтним персоналом за наказом або з відома вище поставленого чергового персоналу. Для виключення можливостей випадкових торкань, або небезпечного наближення до струмовідучих частин, відповідно до проекту передбачені наступні заходи: розподільне розміщення 10 кВ виконується в окремих металевих шафах КМ-1Ф, які замикаються спеціальним ключем і мають попереджувальні знаки. Вимикачі у шафах установлені на викочувальних візках. На час ремонту візки викочуються і при цьому розмикаються контакти роз'єднувача, що створює видимий розрив у колі. Механічна блокування не дозволяє включення вимикача при включеному положенні візка. Застосування електромагнітної блокування роз'єднувачів РУ, яка здійснює розрив кола спеціальними контактами, що запобігає виникненню нещасного випадку.

Згідно з вимогами ПТЕ окрім вище зазначених заходів є індивідуальні засоби захисту від ураження електричним струмом: оперативні та вимірювальні штанги; ізолюючі та вимірювальні електрокліщі; вказівники напруги, ізолюючі пристрої і засоби для ремонтних робіт; діелектричні рукавички, гумові килими, ізолюючі підставки, та переносні заземлення. На території розміщені плакати та попереджувальні знаки. В процесі експлуатації, ізолюючі засоби захисту періодично проходять випробування підвищеною напругою згідно ПТЕ. На території забезпечуються наступні метеорологічні умови: температура 25 °С ; відносна вологість 60%; швидкість руху повітря 0,2 м/с.

Ці умови досягаються завдяки застосуванню пристроїв вентиляції та опалення згідно з вимогами СНиП 2.04.85-86 “Отопление, вентиляция и кондиционирование”.

При роботах на відкритій території для попередження надмірних переохолоджень і перегрівів передбачено для обслуговуючого і ремонтного

персоналу застосування спецодягу й організація перерв у роботі. Ці заходи необхідні, тому що при тривалій роботі в умовах мікроклімату знижується опір організму до розвитку захворювань м'язової і суглобної систем.

Оскільки вища напруга до 35 кВ, то спеціального захисту від електромагнітних полів відповідно до ГОСТ 12.1.006.-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования» не передбачається.

4.2.1 Природне і штучне освітлення

Приміщення цеху забезпечено достатнім природним світлом, а у нічний час - електричним освітленням. Місця, що з технічних причин не можна забезпечити природним світлом, забезпечені електричним освітленням. Освітленість відповідає СНіП 2-4-79 «Природне і штучне освітлення».

Характеристика приміщення котельного залу:

- характер робіт	постійне
спостереження	
- розряд зорової роботи	8
- підрозряд роботи	В
- контрастність об'єкта розпізнавання	велика
- тіло	світле
- коефіцієнт природної освітленості E_n	
При верхньому і комбінованому. освітленні	0,9%
- коефіцієнт природної освітленості E_n	
При звичайному освітленні	0,3%

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей, і може бути причиною їх захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) і охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення використовуються для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ).

Штучне освітлення проектується двома системами: загальне (рівномірного або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу ДРЛ-150, або світильники типу «Астра». Для місцевого освітлення використовуються лампи накаливання потужністю 150 Вт і світильники НСП-200.

У відповідності зі СНиП II-4-79 «Естественное и искусственное освещение» на території підстанції забезпечуються наступні норми освітленості: приміщення апаратного зв'язку - 150 лк; приміщення щита керування - 100 лк; зовнішнє висвітлення - 0,5 лк. Зовнішнє освітлення підстанції, що реконструюється виконане прожекторними лампами типу СЗГ, які встановлені на спеціальних щоглах. Світильники типу СЗЛ для освітлення ВРУ-35 кВ встановлені на стійці СВ-95-1 на висоті 7 м ; світильники типу СЗЛ, призначені для підсвічування трансформатора. Внутрішнє здійснюється на напрузі 220 В люмінесцентними лампами і лампами накаливання. Освітлення чарунок КМ-1 Ф виконано лампами накаливання, які встановлені в стінці чарунки , доступ до яких передбачений лише для персоналу.

Аварійне освітлення передбачає найменшу припустиму освітленість.

Для внутрішніх приміщень складає 5 лк, але не менш 2 лк, у проходах і на сходах приміщень не менш 0,5 лк, на відкритих площах не менш 0,2 лк.

4.2.2 Санітарно - побутові приміщення

При улаштуванні санітарно-побутових приміщень у дипломній роботі керуємося СНіП 2.09.04-87 «Адміністративні і побутові будинки». Конструкція стін, вікон, стель тощо у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії, і забезпечує сприятливі умови праці робочому персоналу.

До числа побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб працівників під час їхнього перебування на роботі: приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, вбиральні, умивальні, питного водопостачання і комору для інвентарю. На території підприємства обладнані санітарні пункти, укомплектовані аптечками й іншими медичними препаратами.

4.2.3 Шум і вібрація

Робота устаткування цеху створює шум і вібрацію. Тому існують різні види шуму. Серед них розрізняють механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи, насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - в цеху, середній - на робочому місці оператора турбоагрегатів, найменший - у побутових і допоміжних приміщеннях.

Сильний шум має шкідливий вплив на здоров'я людей. Тривалий шум пригнічуючи діє на центральну нервову систему і через неї на весь організм. Це свідчить про необхідність розроблення і впровадження заходів для ослаблення шуму і захисту від нього обслуговуючого персоналу.

З метою зменшення шуму застосовують звукоізолюючі конструкції:

- звукоізоляційна місця керування поста оператора електролізера;
- звукоізоляція трубопроводу.

Джерелом вібрації в ливарному цеху слугують насоси, двигуни, печні трансформатори тощо. Гранично припустимий рівень вібрації 92 дБ. Вплив вібрації приводить до різних порушень здоров'я людини і може стати причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація впливає на нервову, серцево-судинну систему людини, відбувається порушення у вестибулярному апараті, порушується обмін речовин, виникають головні болі, погіршується сон і та ін.

Як захисні міри використовують віброізоляцію. Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по воздуховодах і трубопроводах, приєднання їх до вентиляторів і насосів відбувається за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини. Під джерелом вібрації встановлений міцний фундамент.

Відповідно до ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрация. Общие требования безопасности», на проектованій підстанції захист від вібрацій здійснюється застосуванням віброгасіння, зниження рівня вібрації шляхом установки трансформаторів на фундаменти.

4.3 Заходи з поліпшення умов праці

Відповідно до вимог охорони праці виконане компонування устаткування цеху, а також визначено комплекс заходів щодо охорони праці. Застосовано засоби контролю за параметрами системи автоматичного регулювання технологічними процесами, а також системи протиаварійних мір і блокувань. Електроустаткування і заходи щодо його безпечної експлуатації. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв.

Відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання котельні забезпечено робочою ізоляцією - електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом.

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» електротехнічні вироби котельні по способу захисту людини від поразки електричним струмом відносяться до 1 класу в якому є робоча ізоляція, а також є елемент для заземлення. З урахуванням вимог «Правил устрою електроустановок», НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ.

Захисне заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами, опір пристрою, що заземлює, не перевищує 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів чітко зазначені положення «включено» і «виключено». Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники. У цеху впроваджений комплекс організаційних заходів спрямованих на профілактику аварійних ситуацій. До таких заходів відноситься чіткий розподіл обов'язків між обслуговуючим персоналом, закріплення обслуговування окремих одиниць устаткування за конкретними працівниками, розроблення посадових інструкцій для всіх категорій працівників і періодична перевірка знань персоналу.

З метою профілактики аварійних ситуацій, такий об'єкт, як електролізний цех, підлягає періодичному огляду й іспиту обладнання місцевими органами Держгорпромнагляд. Для запобігання витоку газу через зварні й болтові з'єднання, запірну арматуру, газопровід у зборі проходити іспит Держнаглядохоронпраці України. Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.4 Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки обслуговуючого персоналу і нормальної роботи систем РЗА, ПА і АСУ ТП виконується захисне і робоче заземлення пристроїв цих систем згідно з вимогами ПУЕ.

Для вимірювальних кіл трансформаторів струму і трансформаторів напруги повинні використовуватись кабелі з металевою оболонкою або оболонкою і бронею. В одному контрольному кабелі не припускається об'єднання кіл різних класів по рівню випробувальної напруги, вимірювальних кіл напруги і струму, кіл управління с колами вимірів і сигналізації, а також з силовими колами.

Рекомендується кабельні лінії різного призначення прокладати по різних трасах, виконуючи з'єднання кабелів горизонтальними заземлювачами. Металеві оболонки і броня кабелів повинні заземлюватись в місці вводу в будівлю релейного щита ,а також в місцях кінцевого розділення кабелів. Металеві коробки, по яких прокладаються кабелі слід заземлювати через 5-10 метрів.

Для кіл міжмашинного обміну повинні застосовуватись тільки екрановані симетричні кабелі. Ці кабелі повинні прокладатись на якомога більшій відстані від силових кіл.

Як заходи захисту від прямого дотику застосовані: ізоляція струмоведучих частин; огороження і оболонки; бар'єри; розміщення поза зоною досяжності. Як заходи захисту у разі непрямого дотику застосовані: Автоматичне відключення живлення; ізолювальні зони; система зрівнювання потенціалів; електричне відокремлення кіл.

Існуючі та проєктовані заходи захисту від ураження електричним струмом-відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037, ДСНіП 239-96, ГОСТ 12.1.002-84, Д СанПіН 3.3.6-2002.

Струмоведучі частини повністю покриті ізоляцією, яка може бути усунена тільки шляхом руйнування. Ізоляція струмоведучих частин електрообладнання повинна відповідати стандартам або технічним умовам на це електрообладнання. Струмопровідні частини електрообладнання і ошиновка 35кВ знаходяться поза зоною досяжності на висоті не менше 3,2 м від рівня землі.

Розподільний пристрій 6кВ і розташоване в окремому примі-ннї. Струмове-дучі частини РП вміщені в оболонки, якими забезпечується ступінь захисту не менше IP2X за ГОСТ 14254.

Для електрообладнання, яке може зберігати електричний заряд після відключення (наприклад, конденсатори), для запобігання дотику до нього повинен бути виконаний попереджувальний напис. Перед дотиком до струмове-дучих частин відключених конденсаторних батарей необхідно провести додатковий розряд замиканням висновків накоротко і на корпус металевою шиною з заземлювальним провідником, укріпленої на ізолюючої штанги.

Для забезпечення автоматичного відключення живлення необхідно виконати систему заземлення і основну систему зрівнювання потенціалів, а також забезпечити координацію характеристик захисних пристроїв, які здійснюють це відключення.

4.5 Засоби індивідуального захисту

Для захисту органів слуху застосовують зовнішні і внутрішні противошуми (антифони). Як зовнішні противошуми рекомендують використовувати шумозахисні навушники, які покривають вушну раковину, як внутрішні противошуми – заглушки, вкладиші, які вставляють в зовнішній слуховий прохід.

Ступінь ослаблення шуму залежить від конструкції противошуму і частоти. Заглушки послаблюють шум на 5-7 дБ при частотах до 500 Гц і на 15 дБ при частотах понад 3000 Гц. Протишуми конструкції МІОТ послаблюють шум до 8 дБ при частотах до 500 Гц і до 55 дБ при частотах 5000-7000 Гц.

Для захисту від низькочастотних шумів придатні заглушки – кліпси, які представляють собою гумові пробочки з плоскою торцевою поверхнею, які

закріплені на обідку з сталевого дроту, що пружинить, діаметром 1,5-2 мм. Для захисту від тепловиділень на об'єкті застосовують щільні матеріали з тканини, а також захисні рукавички.

Для захисту органів дихання використовують фільтр типу «тюльпан». Інших засобів індивідуального захисту не передбачається.

4.6 Пожежна безпека

Відповідно до вимог СНиП 2.01.02-85 «Строительные нормы и правила противопожарные нормы» за ступенем вогнестійкості будівельних конструкцій цех відноситься до категорії "Г". Проектом передбачається можливість швидкої евакуації людей із приміщення цеху. Цех має два евакуаційних виходи в протилежних боках будівлі. Двері зі службових і допоміжних приміщень відкривається убік цеху. Мається також два пожежних сходи.

До первинних засобів пожежогасіння в цеху належать: пінні вогнегасники ОВП -10, порошкові вогнегасники ОП-5, ОП-7, пожежний інвентар (покривало з теплоізоляційної полотнини, шухляди з піском, діжки з водою, пожежні відра, совкові лопати, багри, ломи, сокири та ін.). У цеху мається внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами і рукавами, а також є пожежні щити, в комплект яких входять: два вогнегасники, шухляда з піском, два ломи, три багри, дві лопати. Для персоналу цеху проводяться протипожежні навчальні заходи раз у квартал; інструктаж із Охорони праці і пожежної безпеки. Ступінь вогнестійкості усіх будівель згідно СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» приймається II. До будівель і споруд забезпечуються під'їзди пожежних машин.

Гасіння пожеж на передбачається міською пожежною командою, а також первинними засобами гасіння пожежі, які встановлені на протипожежних щитах згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Первинні засоби вогнегасіння

Найменування споруди	Найменування та тип засобів вогнегасіння	Кіл-сть шт.
Компресорна ділянка	Ящик з піском	2
	Щит с первинними засобами вогнегасіння	2
	Вогнегасник ОУ 8	2
ЗРУ-10 кВ	Вогнегасник ОУ 8	4
	Пересувний вогнегасник ОУ 80	1
ЗПК	Вогнегасник ОУ 2	4

Прийнятий обсяг протипожежних заходів забезпечує вимоги ГОСТ12.1.004 – 91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

4.7 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки

Відкриті провідні частини електроустановки за допомогою захисних провідників повинні бути приєднані до системи заземлення. На заводі застосований тип системи заземлення TN-C.

Захисне заземлення та заземлення системи блискавкозахисту будівель та споруд здійснюється за допомогою одного спільного заземлювального пристрою. В якості заземлюючих пристроїв використовуються природні і штучні заземлювачі, з'єднані сталеву смугою 40x4. Опір заземлювального

пристрою, який є спільним для високовольтних і низьковольтних електроприймачів, не повинно перевищувати 0,5 Ом в будь-який час року.

Поразка людини електричним струмом може трапитися не тільки при дотику її до струмоведучих частин, але і в результаті контакту з металевими корпусами електроустаткування, яке випадково опинилося під напругою в наслідок пошкодження ізоляції.

Для попередження подібних випадків поразки електричним струмом широко використовують захисне заземлення і занулення. Для розрахунку заземлюючого прибудові спочатку визначаємо опір розтікання струму одного вертикального електроду.

Прийmemo як заземлення вертикальні електроди стрижньові завдовжки 10 м і діаметром 11 мм. Питомий опір ґрунту в місці розташування заземлень 100 Ом·м.

Принципова схема заземлення електрообладнання показана на рисунку 4.1.

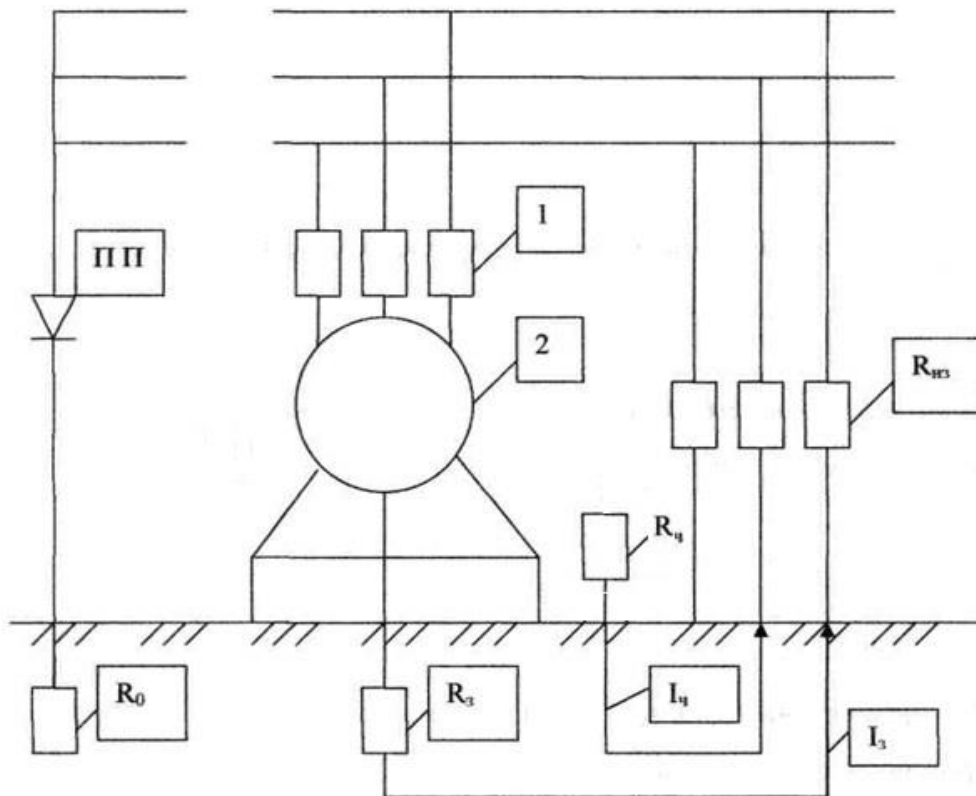


Рисунок 4.1 Принципова схема захисного заземлення

де: ПП - пробивний запобіжник;

R_0 - заземлення нульової крапки трансформатора;

R_3 - заземлюючий пристрій;

R_{iz} - опір ізоляції;

I_3 - струм, замикання на землю;

$I_ч$ - струм, що протікає через людину;

1 - плавкі вставки;

2 - електродвигун.

Схема заземлюючого пристрою показана на рисунку 4.2.

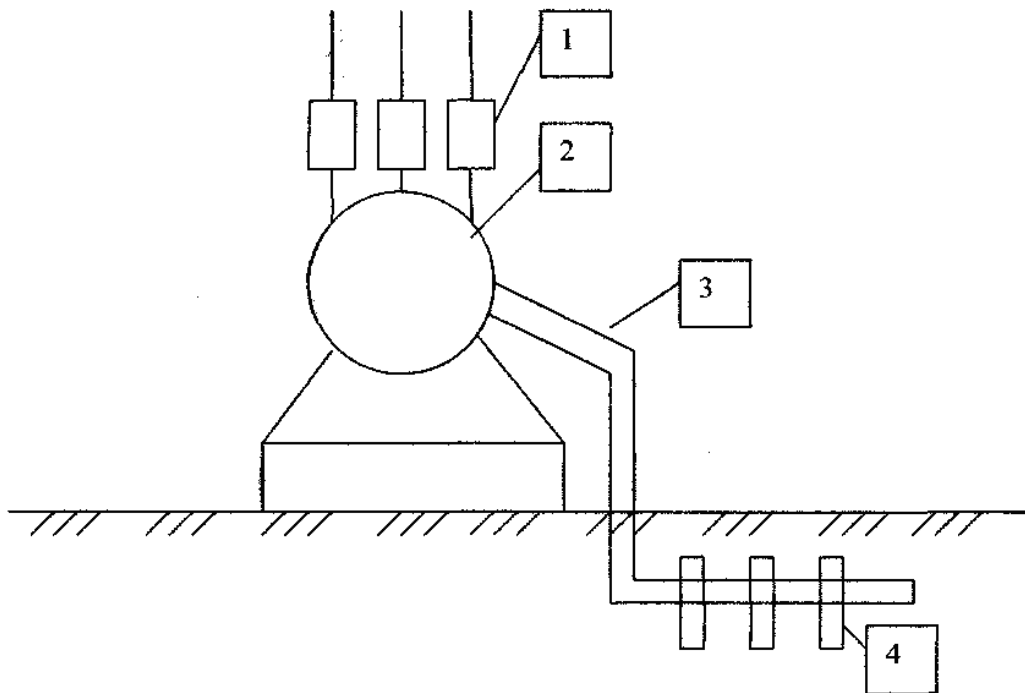


Рисунок 4.2 Виконання заземлюючого пристрою

1 - плавкі вставки; 2 - електродвигун; 3 - сполучна смуга; 4 – трубчасте заземлення.

Глибина розташування середини електрода від поверхні землі:

$$t = t_0 + \frac{1}{2};$$

де t_0 – відстань від верхньої точки трубчастого заземлення до поверхні землі, м (t_0 = від 0,5 до 1 м).

У нашому випадку $t_0 = 0,5$ м.

По-перше розрахуємо: $t = 0,5 + \frac{10}{2} = 5,5$ м;

$$R_e = \frac{\rho}{(2\pi \cdot l)} \cdot \left[\left(\ln \frac{2l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right] \text{ Ом} \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтіканню струму одного вертикального електроду, Ом

ρ – питомий опір ґрунту в місці розташування заземлень, Ом*м

l – довжина трубчастого електроду, м

d – діаметр трубчастого електрода, м

t – глибина розташування середини електрода від поверхні землі, м

Тепер ми маємо всі показники для розрахунку R_e :

$$R_e = \frac{100}{(2 \cdot 3.14 \cdot 10)} \cdot \left[\left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0.011} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 5.5 + 10}{4 \cdot 5.5 - 10} \right) \right] = 9.07 \text{ Ом}$$

Знайдену величину R_e порівнюємо з допустимим опором заземлюючого прибудую $R_{\text{доп}}$.

$R_e(9,07 \text{ Ом}) > R_{\text{доп}}(4 \text{ Ом})$, тобто потрібно шукати необхідну кількість вертикальних електродів.

Для цього спочатку підрахуємо попередню кількість заземлень без урахування сполучної штиби (повинен бути цілим числом) по формулі:

$$n' = \frac{R_e}{R_{\text{доп}}} \quad (4.2)$$

де $R_{\text{доп}}$ – допустимий опір заземлюючого прибудую, Ом береться залежно від напруги струму, який поданий на електроустановку.

У нашому випадку: 4 Ом для установок з напругою до 1000 В.

$$n' = \frac{9.07}{4} \approx 3 \text{ шт.}$$

Потім встановлюємо потрібну кількість вертикальних електродів:

$$n = \frac{n'}{\eta_e}, \quad (4.3)$$

Для вибору цього коефіцієнту приймаємо значення відношення відстані між електродами до їх довжини «параметр але і вибираємо залежно від попередньої кількості заземлень n_1 і «параметру a ».

Приймемо $a = 1$. Заземлення розміщені в ряд. Тоді визначуваний за (0,73):

$$n = \frac{3}{0.73} \approx 5 \text{ шт.}$$

Знаючи кількість заземлень, знаходимо довжину сполучної штиби (L), яка сполучає всі вертикальні стрижньові електроди по формулі:

$$L = a \cdot n \cdot l, \quad (4.4)$$

де a – значення відношення відстані між електродами до їх довжини.

Розраховуємо довжину сполучної штиби:

$$L = 1 \cdot 5 \cdot 10 = 50 \text{ м.}$$

Розраховуємо опір розтіканню струму сполучної штиби без урахування екранування по формулі:

$$R_{ш} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t_0} \right] \text{ Ом} \quad (4.5)$$

де b – ширина сполучної штиби, м $b=d$.

$$R_{ш} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot 50^2}{0,011 \cdot 0,5} \right] = 3,64 \text{ Ом}$$

Останнім визначаємо загальний опір заземлюючого прибудую R_3 , який складається з опору вертикальних електродів і опору сполучної штиби:

$$R_3 = \frac{R_e \cdot R_{ш}}{R_e \cdot \eta_{ш} + R_{ш} \cdot \eta_l \cdot n} \quad (4.6)$$

де $\eta_{ш}$ – коефіцієнт використання сполучної штиби; $\eta_{ш} = 0,72$.

Розраховуємо загальний опір заземлюючого пристрою R_3 :

$$R_3 = \frac{9,07 \cdot 3,64}{9,07 \cdot 0,72 + 3,64 \cdot 0,72 \cdot 5} = 1,68 \text{ Ом}$$

Набуте значення R_3 порівнюємо з $R_{\text{доп}}$.

$R_3(1,68 \text{ Ом}) < R_{\text{доп}}(4 \text{ Ом})$, тобто опір заземлюючого прибудую менше допустимого опору.

Висновок: заземлення розраховане згідно з нормами і воно забезпечує безпеку працівників.

ВИСНОВКИ

ПАТ «Запоріжсталь» відноситься до енергоємних металургійних підприємств із великим споживанням енергоресурсів. Одним з цехів підприємства, що використовує найбільшу кількість енергоресурсів є киснево-компресорний цех. Його призначення - вироблення технологічного і технічного кисню, стисненого повітря, азоту й аргону. До складу киснево-компресорного цеху входять: станція технологічного кисню з відділенням компресії, для одержання продуктів поділу повітря; турбокомпресорна станція, призначена для вироблення стисненого повітря; наповнювальна станція, призначена для наповнення технічного кисню і аргону в балони; воднева станція по виробництву водню методом електролізу води. Найбільш затратною є технологія отримання стисненого повітря, яке потім використовується практично всіма цехами підприємства.

До технологічного обладнання, в першу чергу, відносяться потужні повітряні турбокомпресори К - 1500 потужністю 10 МВт і продуктивністю 1490м^3 хв. кожний. Вищезгадані компресори являють собою багатокамерну машину з приводом від електричного двигуна і забезпечує кілька ступенів стискування повітря до тиску 0,7 МПа.

Компресор складається з робочих камер, дифузорів, а також трьох повітряохолоджувачів - двох проміжних і кінцевого, які забезпечують охолодження повітря на кожному етапі стискування.

Отже, виходячи із специфіки підприємства та теми дипломного проекту, до заходів з енергозбереження, що проведі, слід віднести:

1. Заміна повітряохолоджувачів турбокомпресорів на енергоефективні двохсекційні;
2. Використання теплоти з турбокомпресорів для підігріву мережевої води парових котлів;

3. Підвищення ККД турбокомпресорів за рахунок більш ефективного охолодження.

Особливістю існуючої системи охолодження повітря є те, що вода циркулює по системі патрубків повітряохолоджувачів і нагрівається до температури 25-28 градусів. Цю низько потенційну теплоту практично неможливо використати для будь-яких потреб теплотапобезпечення. Тому в роботі пропонується модернізувати систему охолодження турбокомпресорів шляхом заміни односекційних повітряохолоджувачів на двохсекційні типу ВУП 2500-2, в яких в першій секції вода нагрівається до температури 95 градусів, а в друга – забезпечує необхідну температуру повітря. Отриманий таким чином вторинний високотемпературний енергоресурс використовується для підігріву мережевої води парових котлів, які знаходяться на території цеху.

Крім того, завдяки запропонованій модернізації системи за рахунок більш ефективного охолодження повітря, температуру якого вдалося знизити на 4 - 8 градусів в залежності від ступеня стискання, підвищується загальний ККД турбокомпресора. За підрахунками, виходячи з наявних в літературі залежностей, ККД підвищується в середньому на 3%, що відповідає зниженню споживання електроенергії на привід турбокомпресора майже на 10,5 млн. кВт год. на рік.

Для підвищення ефективності роботи турбокомпресора та підтримки постійного тиску повітря в пневмережі розглянуто можливість автоматичного регулювання продуктивності турбокомпресорної установки. Регулювання здійснюється за допомогою частотного перетворювача шляхом зміни частоти обертання приводного електродвигуна. Основним елементом пристрою є мікроконтроллер, який призначений для обробки інформації від датчиків і органів управління, ухвалення логічних рішень і своєчасного формування сигналу, що управляє, на частотний регулятор.

Досліджено наукову задачу, яка полягає в обґрунтуванні оптимального режиму роботи електромеханічної системи виробництва й розподілу стиснутого повітря та умов його реалізації шляхом управління

електроприводом компресора. Сформульовано й вирішено задачу параметричної оптимізації режиму роботи електромеханічного комплексу. Як цільову функцію запропоновано використовувати значення ККД електромеханічного комплексу, яке розраховується в кожному циклі двопозиційного управління електроприводом компресора. Накладено обмеження на допустиму кількість включень електродвигуна за певний період часу й на значення тиску повітря в пневмосистемі. Сутність її вирішення полягає у використанні можливостей управління електроприводом компресора з метою підвищення енергетичної ефективності систем перетворення й розподілу стиснутого повітря.

Використання вторинної теплоти від повітряохолоджувачів на попередній нагрів води для подавання в парові котли дає змогу зекономити близько 1,7 млн. м³ природного газу.

Техніко-економічні розрахунки показали, що капітальні вкладення на модернізацію системи охолодження становить близько 7,6 млн. грн. За рахунок цього заходу можна досягти зниження споживання електричної енергії вартістю близько 11 млн. грн., і заощаджувати природного газу вартістю 7,9 млн. грн. Термін окупності впровадження даної системи складе – 0,5 років, що є, безперечно, економічно доцільним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коренькова Т.В., Лузан П.В., Михайличенко Д.А., Перекрест А.Л., Сердюк О.О. Системы регулювання параметрів та підвищення ефективності роботи насосних, вентиляторних та компресорних установок: Навч. посібник. – Кременчук: КДПУ, 2006. - 152 с.
2. Системы воздухообеспечения промышленных предприятий. Борисов Б.Г., Калинин Н.В., Михайлов В.А. и др. / Под ред. В.А. Германа. М.: Моск. энерг. ин-т, 1989. - 180 с.
3. Энергосбережение в производстве сжатого воздуха. Иванов В.А. Электронный ресурс. Режим доступа до сайту: <http://www.energsovet.ru/stat476.html>.
4. Цейтлин Ю.А., Мурзин В.А. Пневматические установки шахт. Москва, "Недра" 1985г, 352 с.
5. Трегубов В.А. Замыцкий О.В. Оценка энергопотерь от нарушений температурных режимов турбокомпрессорных установок//Гірнична електромеханіка та автоматика 2 (61).– Дніпропетровськ–1999р., с. 130-132.
6. Степанов А.И. Центробежные и осевые компрессоры, воздуходувки и вентиляторы. М.: ГНТИМЛ, 1960.–348 с.
7. Снижение энергозатрат при производстве сжатого воздуха для горных машин/ Кобелев Н.С.//Изв. вузов. Геол. и разведка. 1997.–№6.–С. 167-168.
8. Чистяков Ф.М., Игнатенко В.В., Романенко Н.Т., Фролов Е.С. Центробежные компрессорные машины. М.: Машиностроение, 1969г.–328 с.
9. Энергосберегающие технологии в системах подготовки сжатого воздуха. В. Н. Воробьев – к.т.н., Г. И. Подгорный, К. В. Зверев, А. Н. Звычайный, А. С. Антонов – ООО «ЭНСИ».
10. Ernstberger, A. Speed control of turbocompressors [Текст] / A. Ernstberger // Thermal turbomachinery – 1998. – 10 p.

11. Ситас, В.И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций [Текст] / В.И. Ситас, А. Пёшк, Р.М. Фаткуллин // Электрические станции. – 2003. – №2. – С.61 – 65.
12. Туркин, А.Н. Гидромуфты питательных насосов тепловых электростанций [Текст] / А.Н. Туркин. - М.: Энергия, 1974. – 23-2 с.
13. Рихтер, М. Регулируемые приводы Voith в электростанциях комбинированного типа и магистральных газопроводах [Текст]/М. Рихтер, В.Б. Иванов, В.И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 3/3 (45). – С. 57-59.
14. Иванов, В.Б. К вопросу о сравнительной эффективности механотронного и частотно - регулируемого приводов [Текст]/В.Б. Иванов, М. Рихтер, В.И. Ситас //Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2012.–3/10(57).–С.32-35.
15. Получение кислорода / Д.Л.Глизманенко. – 5-е изд. – М.: Химия, 1972. – 752с.
16. Каталог частотных преобразователей фирмы Rockwell Automation (Allen-Bradley) [Официальный сайт]. – Режим доступа:<http://controller.tdia.ru/vvppt.shtml>
17. Нищета В.В., Свистельник А.В., Таргонский В.А. Как и куда исчезает моторесурс компрессорной машины. / Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2007. – №4. – С.50 – 59.
18. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 3. – С. 70–71.
19. Бобров А.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса/Международная молодёжная науч.-техн. конф. "Энергосистема и активные адаптивные электрические сети: проектирование, эксплуатация, образование". – Самара, 2011. – С. 423.

20. Автоматизация воздушных поршневых компрессорных установок / Г.Р. Грейнер, В.П. Ильяшенко, Н.Н. Первушин, В.А. Чумаевский. – Л.:Судпрогиз, 1963. – 147 с.
21. Крючков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Основы проектирования и расчёт. – Л.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
22. Крючков А.Д. Автоматизация поршневых компрессоров. Основы проектирования и расчёт. – Л.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
23. Карабин И. Сжатый воздух. – М.: Машиностроение, 1964. – 342 с.
24. Назаренко У.П. Экономия электроэнергии при производстве и использовании сжатого воздуха. – М.: Энергия, 1976. – 103 с.
25. Рыбин А.И., Закиров Д.Г. Экономия электроэнергии при эксплуатации воздушных компрессорных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 71 с.
26. О. В. Бобров, С. І. Випанасенко. Результати досліджень енергоефективного режиму роботи електромеханічної системи виробництва та розподілу стислого повітря//Енергетика та електропостачання промислових підприємств. Енергетичний менеджмент. – 2014. – №2. – С. 85-91.
27. Шехтер Ю.Л., Директор Л.Б., Пругер В.И. Упрощенная методика определения фактических характеристик поршневых компрессоров и пневмосети на предприятиях // Промышленная энергетика. – 2003. – № 8. – С. 18–19.

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи

Тема роботи: ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНИМ ЦЕХОМ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Магістр:	гр. 8.1411з	Сидорак М. С.
Науковий керівник:	к.т.н., доцент	Башлій С.В.

Об'єкт дослідження – система повітряпостачання підприємства

Предмет дослідження – процеси виробництва та розподілу стиснутого повітря на підприємстві.

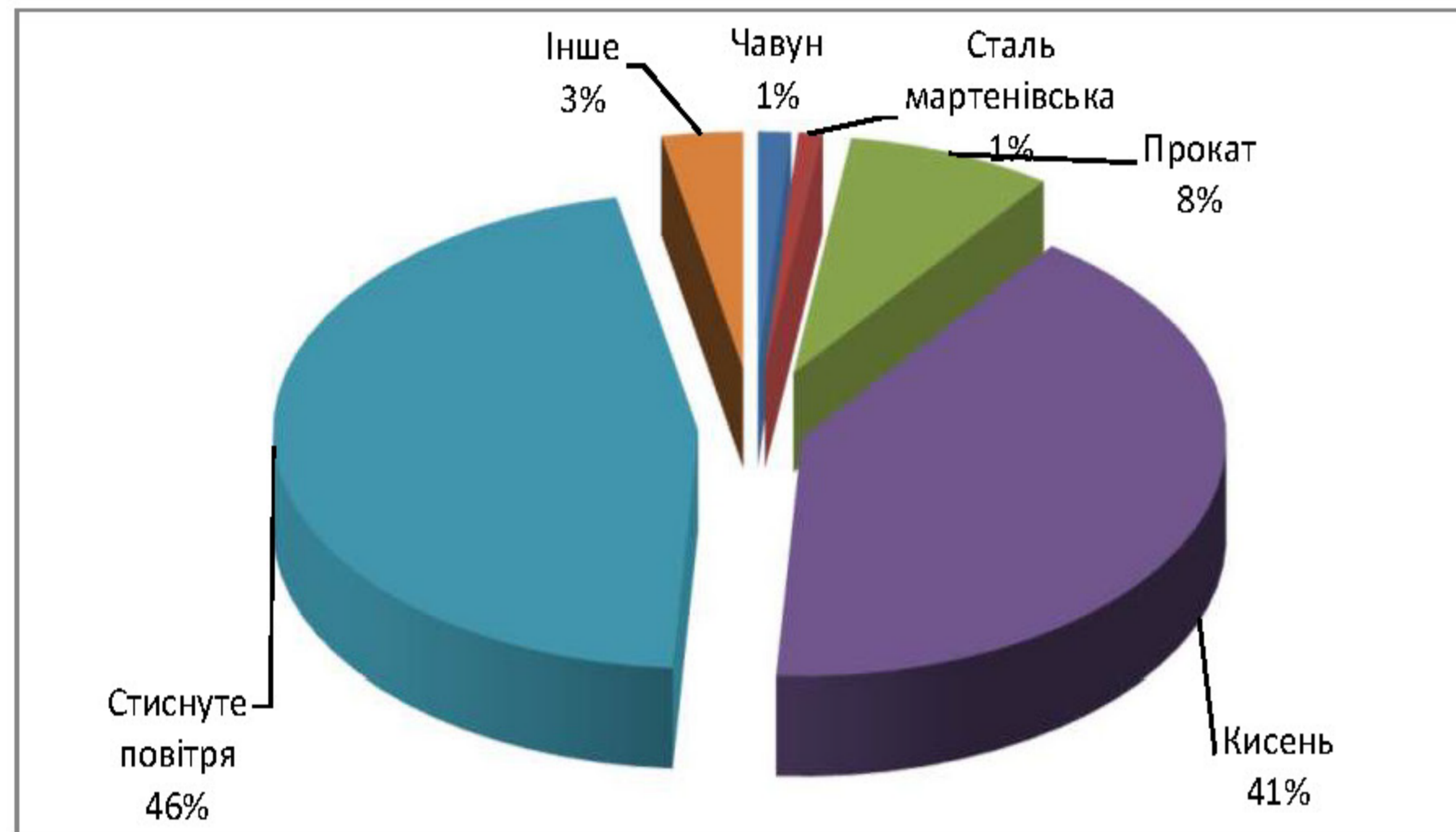
Мета дослідження – визначити можливості зниження витрат електричної енергії на забезпечення підприємства стисненим повітрям

Методи дослідження – аналіз, співставлення, оцінки втрат електричної енергії.

Завдання роботи – аналіз всіх можливих шляхів підвищення енергетичної ефективності виробництва стиснутого повітря на підприємстві; проведення розрахунків показників ефективності проекту; проведення всебічного аналізу проектів та прийняття на його основі обґрунтованих рішень щодо доцільності впровадження проекту, провести розрахунок втрат потужності для запропонованої мережі.

СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНИМ ЦЕХОМ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

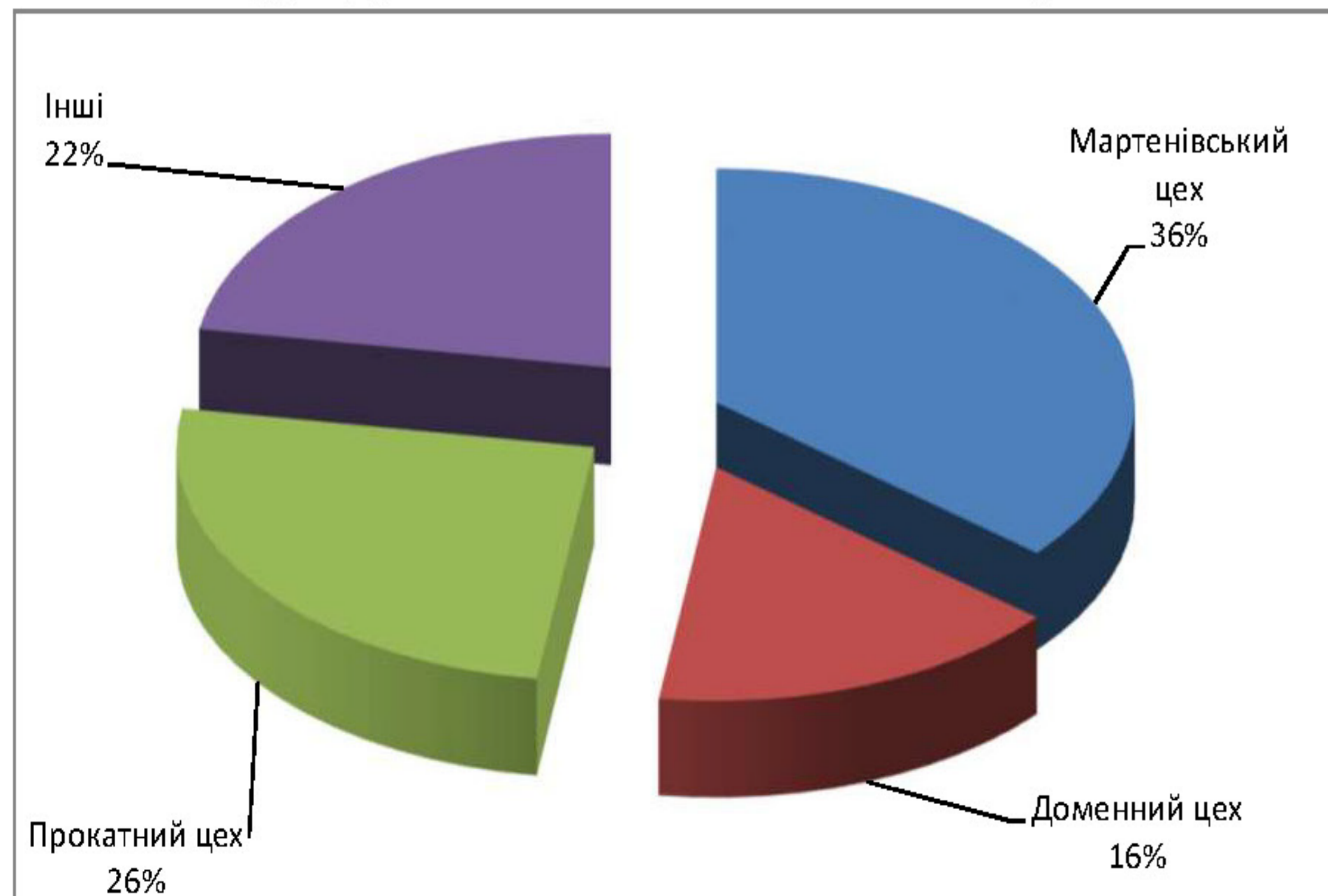
Співвідношення витрат електроенергії за видами продукції



Питомі витрати електроенергії на основні види продукції

Продукція	Одиниця виміру	Величина
Чавун	кВт·год/т	15
Сталь мартенівська	кВт·год/т	11
Прокат	кВт·год/т	94
Кисень	кВт·год/тис. м ³	490
Стиснуте повітря	кВт·год/тис. м ³	550
Інше	кВт·год/т	37

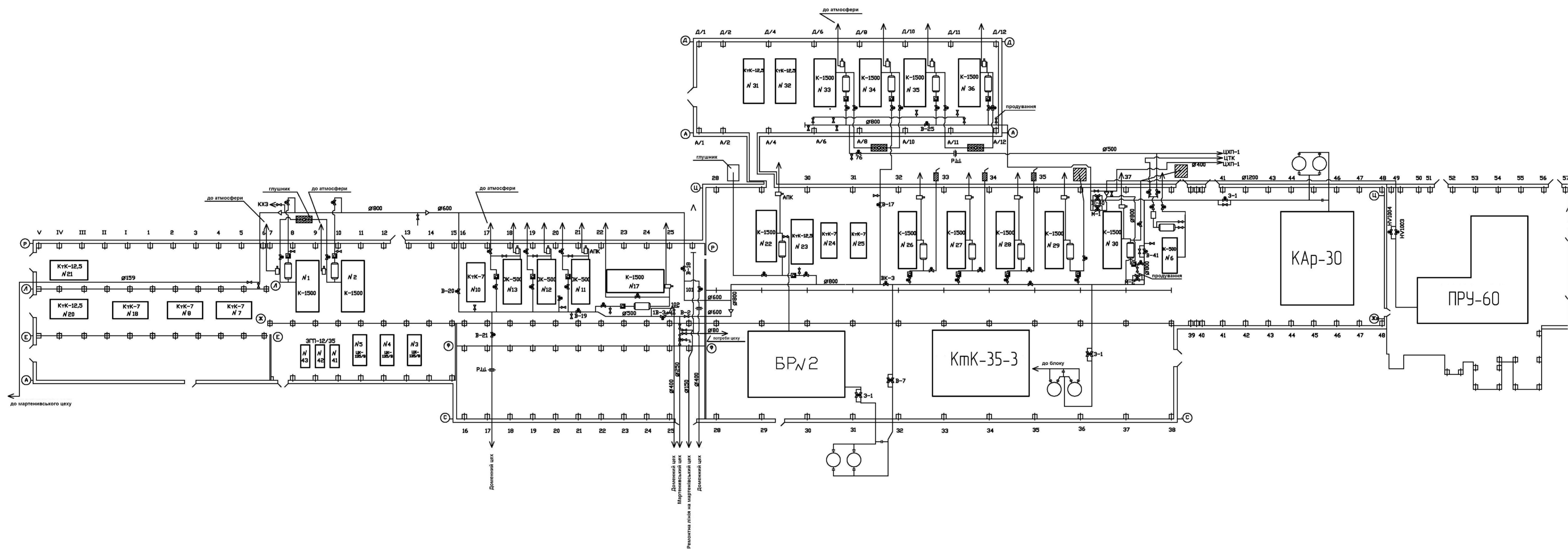
Структура споживання стисненого повітря



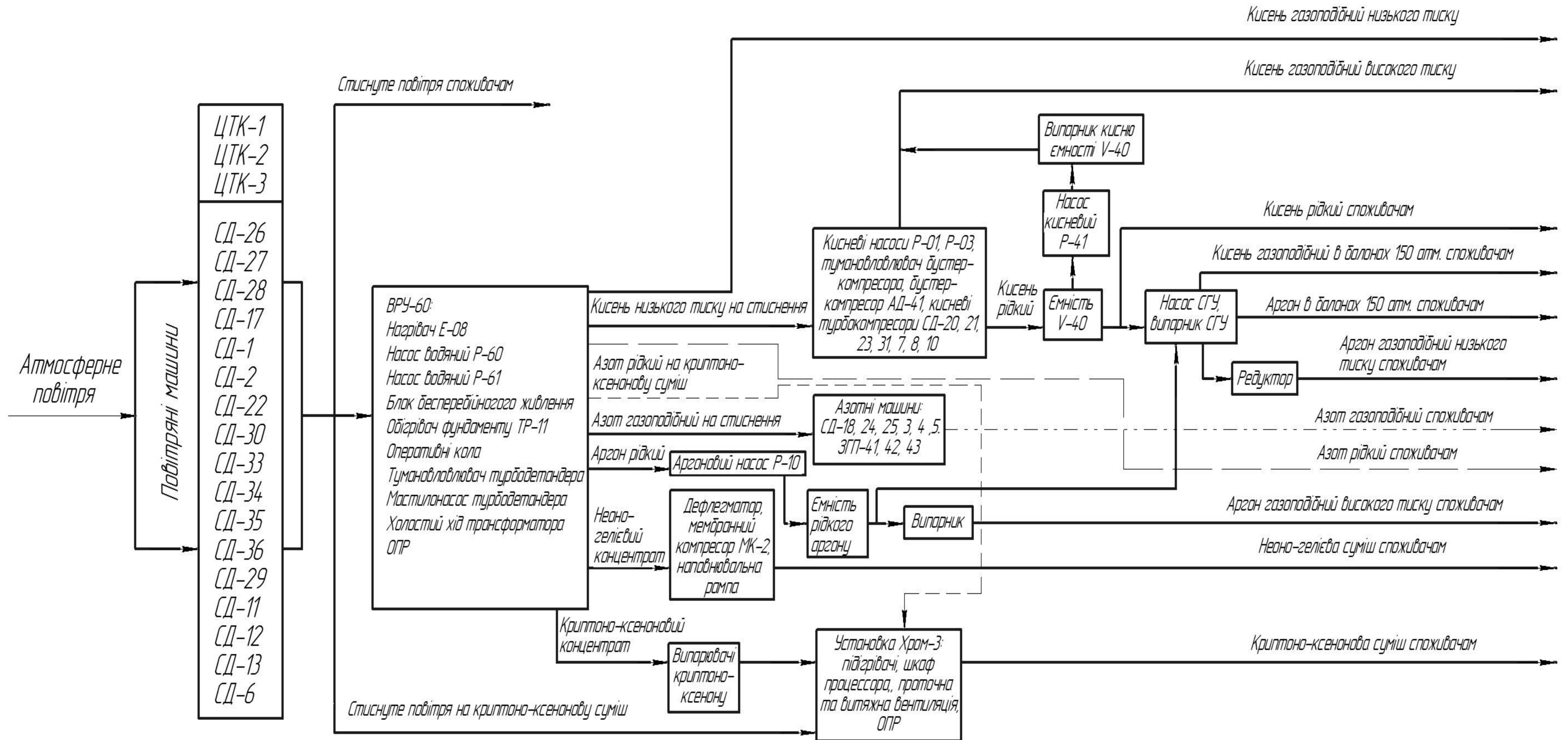
Перелік компресорного обладнання цеху

Тип обладнання	Кількість, шт.	Продуктивність, тис. м ³ /год.	Потужність, МВт
К- 1500-61	13	82	10
ОК-500-92	3	32	4
К-250-61	3	13	1,5
К:525	1	32	3,15
ОК-500-92	3	30	3,5
ДО-250	3	15	2
ДО-525	1	31,5	3,5
КтК-7/14	6	6,2	1,5
КтК- 12,5/35	5	12,5	3,5
ЦК- 13 5/8	3	5,9	1
Всього	41		33,65

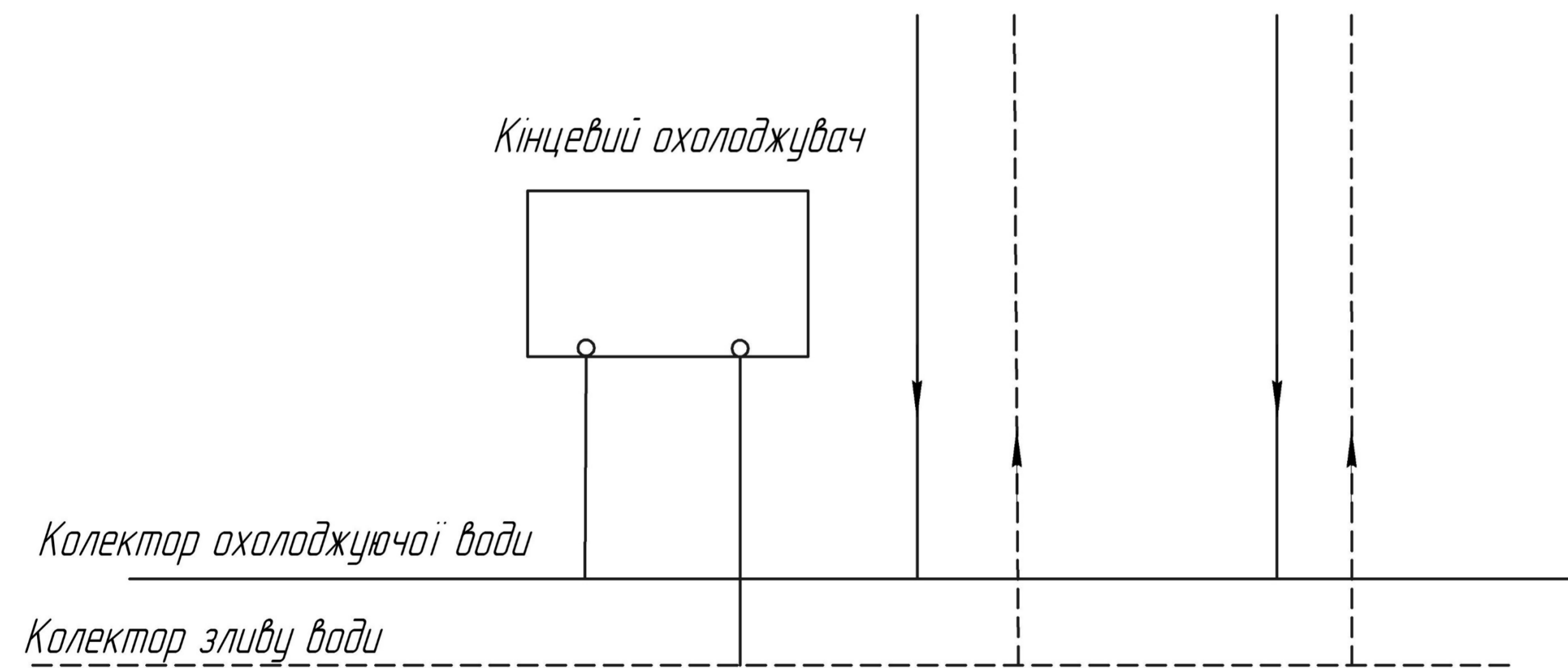
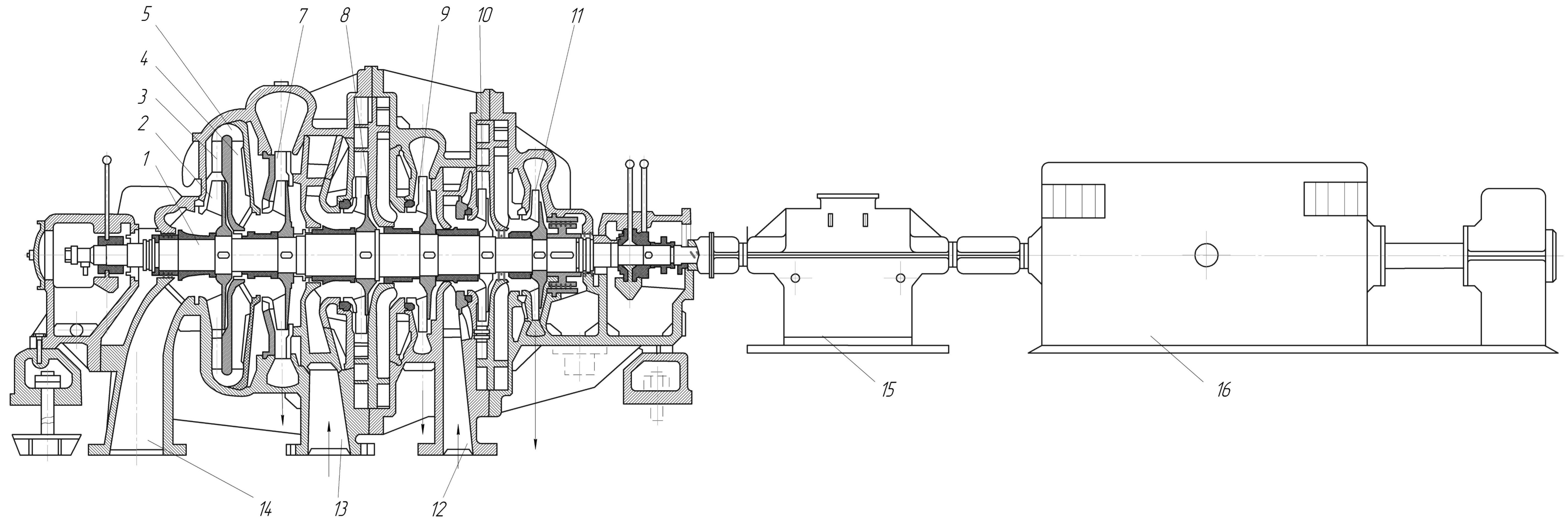
ПЛАН ЦЕХУ



ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ



ПОВІТРЯНИЙ ТУРБОКОМПРЕСОР З СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ

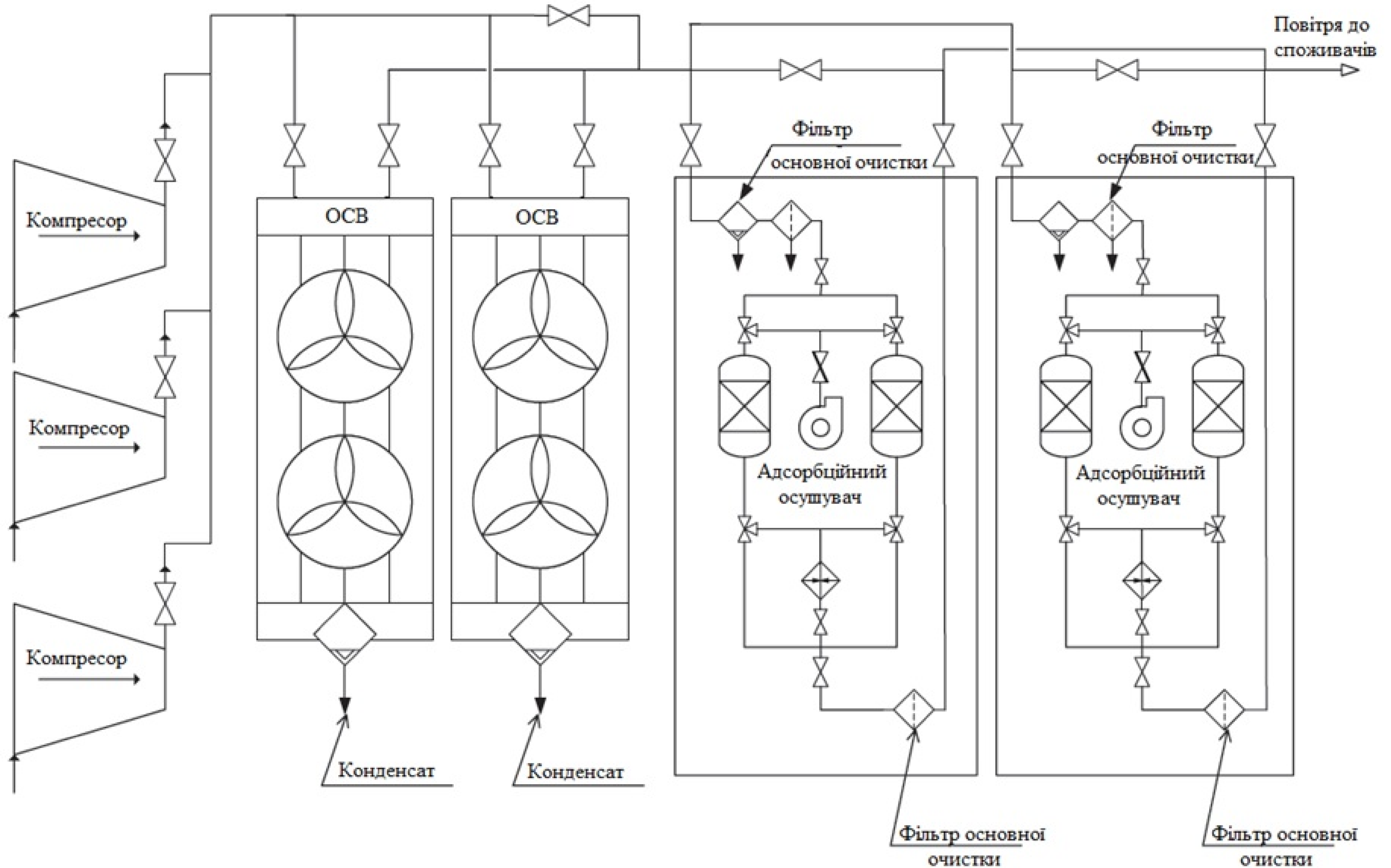


Основні технічні характеристики компресора

Тип	К-1500-62-2
Робоче середовище	повітря
Продуктивність, м ³ /хв	14,90
Тиск всмоктування, кПа	95,2
Тиск нагнітання, МПа	0,736
Початкова температура, °С	20
Температура на виході з компресора, °С	100
Споживана потужність, МВт	9,6
Частота обертання роторакомпресора, про/хв	14550
Змащення підшипників	примусова циркуляція

№ п.п.	Примітки
1	вал
2	робоче колесо
3	кільцевий дифузор
4	зворотний направляючий канал
5	направляючий апарат
6	робоче колесо
7	кільцевий дифузор
8	робоче колесо
9	робоче колесо
10	робоче колесо
11	робоче колесо
12	канали для подводу газу з холодильників
13	канали для подводу газу з холодильників
14	канали для всмоктування газу
15	редуктор
16	двигун

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ГЛИБОКОЇ ОСУШКИ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АДСОРБЦІЙНИХ ОСУШУВАЧІВ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ СТУПЕНІ ОСУШКИ НА БАЗІ ОСВ



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ККД ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

$$\eta = \frac{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_1 Q_{\text{comp}} \left(\frac{R_{2+i}}{R_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{\text{max}} \eta_{\text{pad}} \eta_{\text{dv}}} - t_1 \sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_1 Q_{\text{comp}} \left(\frac{R_{2+i}}{R_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{\text{max}} \eta_{\text{pad}} \eta_{\text{dv}}} - \sum_{i=0}^m R_{2+i} \left(B_0 + B_1 e^{\frac{-R_{2+i}}{B_2}} \right)}{t_1 \sum_{i=0}^m 2 \binom{n}{n-1} R_1 Q_{\text{comp}} \left(\frac{R_{2+i}}{R_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{\text{max}} \eta_{\text{pad}} \eta_{\text{dv}}} + t_1 \sum_{i=0}^m 3r_{\text{cl}} \left[\frac{2 \binom{n}{n-1} R_1 Q_{\text{comp}} \left(\frac{R_{2+i}}{R_1} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \frac{1}{\eta_{\text{max}} \eta_{\text{pad}} \eta_{\text{dv}}}}{\sqrt{3} U \cos \phi} \right]^2 + \frac{1}{t_{\text{pust}}} 3r_{\text{cl}} \int_0^{t_{\text{max}}} I_n^2(t) dt} - \frac{t_1 \sum_{i=0}^m R_{2+i} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-R_{2+i}}{C_2}} \right) - t_2 \sum_{i=m}^k R_{2+i} \left(C_0 + C_1 e^{\frac{-R_{2+i}}{C_2}} \right)}$$

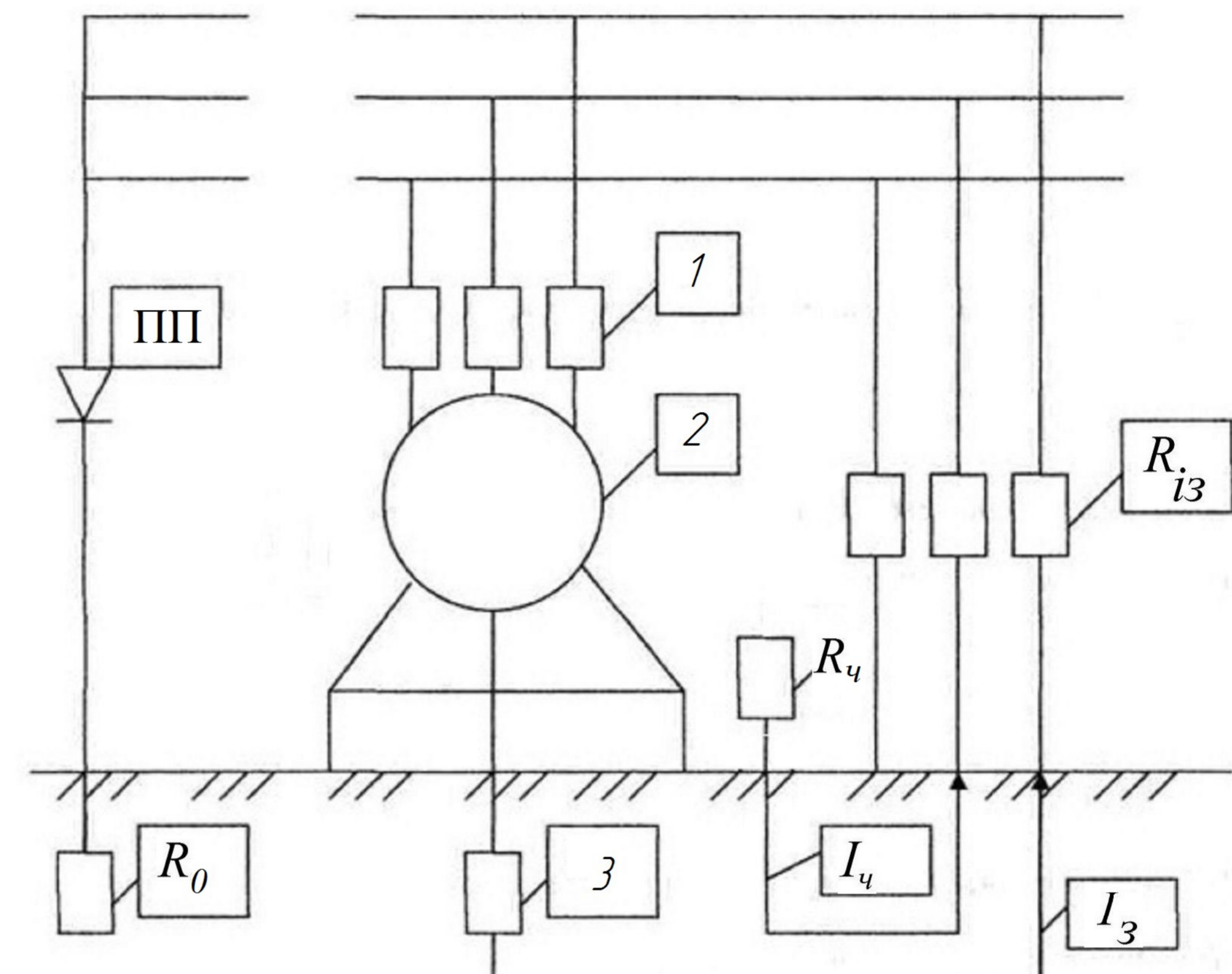
**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ
ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ В КИСНЕВО-КОМПРЕСОРНОГО ЦЕХУ
ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»**

№ п/п	Економічні показники	Заміна повітря- охолоджувачів	Підігрів мережевої води парових котлів	Загальні показники
1	Капітальні витрати, млн. грн	5,8	1,8	7,6
2	Економічний ефект, млн. грн	10,92	7,9	18,82
3	Ефективність капіталовкладень	1,88	4,39	2,48
4	Термін окупності, років	0,53	0,23	0,40

Оцінка факторів виробничого та трудового процесу електрика

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці.			Довготривалість дії фактору за зміну %
				1 ступ.	2 ступ.	3 ступ.	
1	3-4 кл. небезпеки напруженість електромагнітного поля, кВ	5	7,5	1,5р	-	-	85
2	Вібрація локальна, дБ	92	95	3	-	-	80
3	Шум, дБА	80	90	-	10	-	80
4	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, °С	27	31	-	4	-	90
	-Швидкість руху повітря, м/с	0,3	0,5	-	-	-	90
	-Відносна волога повітря,%	65	64	-	-	-	90
5	Тяжкість та напруженість праці	Категорія середньої важкості 2б; помірно-напружена					

Захист від ураження електричним струмом



Принципова схема захисного заземлення електрообладнання цеху

- ПП - пробивний запобіжник;
- R_0 - заземлення нульової точки трансформатора;
- R_{iz} - опір ізоляції;
- I_3 - струм, замикання на землю;
- I_q - струм, що протікає через людину;
- 1 - плавкі вставки;
- 2 - електродвигун;
- 3 - заземлюючий пристрій.

Довжина електродів: $l=10$ м

Діаметр електрода: $d=0,011$ м

Довжина сполучної штиби: $L=50$ м

Опір заземлюючого пристрою: $R_3=1,68$ Ом

Кількість електродів: $n=5$ шт.

Опір сполучної штиби: $R_{ш}=3,64$ Ом

Глибина розташування середини електрода: $t=5,5$ м

1. Досліджено наукову задачу, яка полягає в обґрунтуванні оптимального режиму роботи електромеханічної системи виробництва й розподілу стиснутого повітря та умов його реалізації шляхом управління електроприводом компресора.
2. Сформульовано й вирішено задачу параметричної оптимізації режиму роботи електромеханічного комплексу. Як цільову функцію запропоновано використовувати значення ККД електромеханічного комплексу, яке розраховується в кожному циклі двопозиційного управління електроприводом компресора. Накладено обмеження на допустиму кількість включень електродвигуна за певний період часу й на значення тиску повітря в пневмосистемі. Сутність її вирішення полягає у використанні можливостей управління електроприводом компресора з метою підвищення енергетичної ефективності систем перетворення й розподілу стиснутого повітря.
3. Використання вторинної теплоти від повітряохолоджувачів на попередній нагрів води для подавання в парові котли дає змогу зекономити близько 1,7 млн. м³ природного газу.
4. Техніко-економічні розрахунки показали, що капітальні вкладення на модернізацію системи охолодження становить близько 7,6 млн. грн. За рахунок цього заходу можна досягти зниження споживання електричної енергії вартістю близько 11 млн. грн., і заощаджувати природного газу вартістю 7,9 млн. грн. Термін окупності впровадження даної системи складе – 0,5 років, що є, безперечно, економічно доцільним.