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 (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності теплопостачання виробничого корпусу ПрАТ «Запорізький трансформаторний завод»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1443-з
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Теплоенергетика
(назва освітньої програми)
Усенко С. М.
(ініціали та прізвище)
Керівник к.т.н., доц., Башлій С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент д.т.н., проф., Артемчук В.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __144 Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф.__ В.Л. Коваленко
«__01__»____12_____2024__року

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

_____Усенко Сергій Миколайович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення ефективності теплопостачання виробничого корпусу ПрАТ «Запорізький трансформаторний завод»
_____
керівник роботи ___Башлій С.В., к.т.н., доц._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_02__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи: Аналіз технологічних циклів ПрАТ «Запоріжтрансформатор», баланс середньодобового споживання енергії.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _1) Аналіз ефективності системи енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор» 2) Визначення доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху ПрАТ «Запоріжтрансформатор» 3) Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження комбінованої системи теплопостачання 4) Охорона праці та техногенна безпека
5 Перелік графічного матеріалу: 1) Аналіз ефективності енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор» 2) Схема цеху 3) загальний вигляд печі 4) Принципова схема утилізації теплової енергії відхідних газів в умовах

ливарного цеху ПрАТ «ЗТР»5) Загальний вигляд котла-утилізатора 6) Визначення оптимального співвідношення між джерелами теплоти 7) техніко-економічні показники енергозберігаючих заходів в ливарному цеху ПрАТ "ЗТР" 8) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ефективності системи енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор»	30.09.2024	
2	Визначення доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху ПрАТ «Запоріжтрансформатор»	15.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження комбінованої системи теплопостачання	25.10.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека	10.11.2024	

Студент _____ С. М. Усенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ С.В Башлій.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І. Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Усенко С. М. Підвищення ефективності теплопостачання виробничого корпусу ПрАТ «Запорізький трансформаторний завод». Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 Теплоенергетика, науковий керівник С.В. Башлій. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

В роботі проведено аналіз існуючої системи енергоспоживання підприємства ПрАТ «Запоріжтрансформатор» і ливарного цеху зокрема. Визначено напрямки енергозбереження і підвищення енергоефективності в елементах даних систем. На основі аналізу енергоспоживання запропоновано заходи з енергозбереження на зазначеному об’єкті виходячи з економічної доцільності їх впровадження, визначено структуру та послідовність впровадження запропонованих заходів з енергозбереження. Розрахунковим експериментом методом перебору за критерієм мінімізації собівартості 1Гкал теплової енергії встановлено оптимальне співвідношення між джерелами теплоти. В економічному розділі визначено економічні показники комбінованої системи теплоутилізації для обраного об’єкта дослідження.

Ключові слова: ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, УТИЛІЗАЦІЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

ABSTRACT

Usenko S. M. Increasing the efficiency of heat supply of the production building of PrJSC "Zaporizhzhia Transformer Plant". Qualification final work for obtaining a higher education degree of master in specialty 144 Heat and Power Engineering, scientific supervisor S.V. Bashliy. Zaporizhzhia National University.

Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The work analyzes the existing energy consumption system of the enterprise PrJSC "Zaporizhtransformator" and the foundry in particular. The directions of energy saving and increasing energy efficiency in the elements of these systems are determined. Based on the analysis of energy consumption, energy saving measures are proposed at the specified facility based on the economic feasibility of their implementation, the structure and sequence of implementation of the proposed energy saving measures are determined. The calculation experiment using the brute force method based on the criterion of minimizing the cost of 1 Gcal of thermal energy established the optimal ratio between heat sources. The economic section determines the economic indicators of the combined heat and power system for the selected research object.

Keywords: ENERGY CONSUMPTION, HEAT ENERGY, HEAT SUPPLY, USE OF SECONDARY ENERGY RESOURCES, ECONOMIC FEASIBILITY

ЗМІСТ

Вступ ……8

1 Аналіз ефективності системи енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор»……...……10

1.1 Характеристика виробництва ПрАТ «Запоріжтрансформатор»…...10

1.2 Структура енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор».....14

1.3 Аналіз системи теплопостачання ПрАТ «Запоріжтрансформатор»18

1.4 Аналіз енергоспоживання ливарного цеху…….22

1.5 Обґрунтування доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху……..30

1.6 Заходи з підвищення ефективності системи теплопостачання, що пропонуються…….33

2 Визначення доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху ПрАТ «Запоріжтрансформатор»…….....36

2.1 Розрахунок теплового навантаження цеху…….36

2.2 Утилізація теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху……...39

2.3 Розрахунок комбінованої системи теплопостачання ……48

3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження комбінованої системи теплопостачання……..54

3.1 Розрахунок оптимальних співвідношень між джерелами теплоти комбінованої системи теплопостачання……..54

3.2 Розрахунок економічної доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного обладнання ……..61

3.3 Розрахунок економічних показників впровадження запропонованих заходів в умовах ливарного цеху ПрАТ «ЗТР»……..64

4 Охорона праці та техногенна безпека……67

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища...67

4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії……..68
4.2.1 Природне і штучне освітлення ……70
4.2.2 Санітарно - побутові приміщення ……...72
4.2.3 Шум і вібрація в ливарному цеху ……...72
4.3 Заходи з поліпшення умов праці ……73
4.4 Заходи з поліпшення умов праці ……....75
4.5 Засоби індивідуального захисту……..77
4.6 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки ……..……...78
4.7 Пожежна безпека……...83
4.8 Охорона навколишнього середовища…….85
Висновки …….87
Перелік посилань ……90

ВСТУП

Машинобудування є найважливішою галуззю промисловості. Рівень розвитку машинобудування у вирішальній мірі визначає стан усіх інших галузей промисловості, визначає продуктивність праці у виробництві сукупного продукту й, в остаточному підсумку – рівень життя людей.

Сучасне машинобудування складається з великої кількості галузей та виробництв. До машинобудування відноситься електротехнічна промисловість.

На даному етапі електротехнічна промисловість України переживає складний період. Висока вартість енергоносіїв, а також неефективне їх використання веде до великих втрат на підприємстві, а саме: підвищується собівартість виробляємої продукції – це веде до того, що вона стає не настільки конкурентоспроможною, як продукція закордонних підприємств, у наслідок чого, підприємство змушено компенсувати високу вартість своєї продукції і її неконкурентоспроможність, скороченням обсягів виробництва, зменшенням заробітної плати, звільненням робітників з підприємства. Усе це негативно позначається на стані економіки країни в цілому [1].

Виходячи із цього можна припустити, що вихід із ситуації, що склалася, необхідно шукати на самім підприємстві. Підприємство не може вплинути на політику ціноутворення на енергоносії, але воно в силах змінити себе й пристосувати своє виробництво до умов сьогоднішньої економіки.

Цього можна досягти за рахунок заміни обладнання, що вичерпало свій енергетичний потенціал, розробки нових виробничих технологій, підвищення ефективності систем енергопостачання на підприємстві.

Основні напрямки енергозберігаючої політики в машинобудуванні пов'язані з удосконаленням діючих технологій і устаткування, оптимізацією режимів роботи й коефіцієнта завантаження основного технологічного устаткування.

До основних видів енергії, що споживається даною галузей, відносяться електрична енергія, теплова і хімічна енергія твердого, рідкого і газоподібного палива, теплова енергія пари і гарячої води, механічна енергія.

Різноманітні види ресурсів використовуються в якості рушійної сили, в технологічних процесах, для опалення, освітлення, вентиляції, господарсько-побутових потреб тощо.

Одним з основних видів продукції, що випускаються електротехнічною промисловістю в Україні, є різні модифікації трансформаторів.

При виготовленні даного виду продукції у великих обсягах використовується пара. Виробництво пари є енергоємним процесом. Це пов'язано з великими втратами енергії при його виробництві.

Сьогодні гостро стоїть проблема раціонального використання енергії. Це пов'язано з прагненням зменшити паливну складову в собівартості продукції підприємства, що випускається. Істотної економії палива можна досягти за рахунок утилізації та використання вторинний енергетичних ресурсів (ВЕР).

До ВЕР відносяться димові гази від спалювання палива.

Димові гази з високою температурою потрапляють у атмосферу. Дане положення призводить до значних втрат теплової енергії і, як наслідок, до перевитрати природного газу. Тепло димових газів, що виходять з печі, може бути частково використано, якщо на їхньому шляху буде встановлено теплоутилізатор.

Нагрівання води в теплоутилізаторі економить паливо і підвищує ККД пічної установки. Гаряча вода з теплоутилізатора може бути спрямована не тільки в цеху, а й для різних господарських потреб, що в свою чергу забезпечить скорочення споживання теплової енергії.

1 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРАТ «ЗАПОРІЖТРАНСФОРМАТОР»

1.1 Характеристика виробництва ПРАТ «ЗТР»

З 1947 року почалася історія одного з кращих у світі підприємств по виробництву трансформаторного і реакторного устаткування – Запорізького трансформаторного заводу (ПАТ « ЗТР»).

Сьогодні ЗТР по праву вважається лідером науково-технічної думки СНД. Більш 80% усіх трансформаторів країн СНД виготовлені на «Запоріжтрансформаторі». Усі тринадцять атомних станцій і 75% теплових і гідроелектростанцій країн СНД використовують у своїх технологіях трансформатори виробництва ЗТР.

Виробничі потужності ЗТР дозволяють виготовляти повний спектр трансформаторного устаткування:

– генераторні підвищувальні трансформатори – трифазні від 63 МВА до 1250 МВА й однофазні до 667 МВА; номінальною напругою до 1150 кВ;

– двох- і трьохобмоточні автотрансформатори: трифазні від 63 МВА до 500 МВА й однофазні до 657 МВА, найбільша номінальна напруга 1150 кВ, можливі будь-які комбінації напруги;

– двох- і трьохобмоточні трансформатори для підстанцій: двохобмоточні трансформатори без обмеження потужності й комбінації напруг: трьохобмоточні трансформатори потужністю від 6,3 МВА до 500 МВА;

– трансформатори власних потреб для електростанцій;

– трансформатори й реактори для ліній електропередач постійного струму на напругу постійного струму до ± 750 кВ і змінного струму до 750 кВ;

– спеціальні трансформатори: пічні, перетворювальні та інші;

– масляні розподільні трансформатори, включаючи герметичні, сухі розподільні трансформатори;

– закриті токопроводи для електростанцій і підстанцій;

– шунтувальні реактори;

– заземлюючі реактори;

– керовані підмагнічуванням шунтувальні реактори: однофазні до 120 МВАр, 750кВ і трифазні до 200 МВАр.

Керовані підмагнічуванням шунтувальні реактори – найбільш економічний спосіб компенсації реактивної потужності в лініях електропередачі, який не має аналогів у світі;

– системи моніторингу й керуванні автономної діагностики трансформаторів і реакторів.

Виробнича й випробувальна база заводу дозволяє забезпечити виготовлення виробів по прогресивним технологічним процесам і на сучаснім технологічнім устаткуванні з необхідним контролем якості. Виконувати випробування виробів у повному обсязі, передбаченому національними й міжнародними стандартами й спеціальними вимогами замовників. Підприємство ПРАТ «ЗТР» поставляє продукцію у різні країни світу. Географія поставок:

– успішні поставки у 83 країни світу;

– поставки для різних кліматичних, сейсмічних та географічних умов;

– 35% електроенергії Аргентини «протікає» через трансформатори виробництва ПРАТ «ЗТР»;

– 45% електроенергії Єгипту «протікає» через трансформатори виробництва ПРАТ «ЗТР».

На даний час завод має у своєму складі 14 корпусів, які у свою чергу складаються з декількох підрозділів. Структура підприємства ПРАТ «ЗТР» наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура підприємства ПРАТ «ЗТР»

№ п/п	Повне найменування підрозділів підприємства	Загальна площа,тис.м^2
1	2	3
1	Збиральний корпус №1: Трансформаторний цех №1 Цех термовакуумної обробки	39,640
2	Збиральний корпус №2: Трансформаторний цех №2 Цех високовольтних випробувань	37,231
3	Зварювальний корпус	48,048
4	Корпус магнітодротів: Цех магнітопровідний Механічний цех Електроремонтний цех Цех нестандартного технічного обладнання Цех капітального ремонту устаткування	36,722
5	Апаратний корпус №1: Апаратний цех Гальванічний цех Інструментальний цех	27,264
6	Ливарний корпус	4,308
7	Ізоляційний корпус	4,063
8	Цех комплектування виробів	4,063
9	Ковальний корпус	1,366
10	Деревообробний корпус	9,947
11	Автотрансформаторний корпус	3,888
12	Котельня №1	1,378
13	Складське гос-во	
14	Вуглекислотна станція	

У останні роки на заводі виконане технічне переоснащення деяких цехів і агрегатів основного виробництва. Були проведені заходи енергозбереження для даних технологічних процесів, з урахуванням заходів щодо захисту навколишнього середовища.

На ділянках виробництва були проведені енергозберігаючі заходи.

Паливом і енергоносіями завод, забезпечується з боку:

– електроенергією - від ВАТ « ЗОЕ»;

– водою технічною - від КП «Водоканал»;

– тепловою енергією і парою, киснем, газоподібним аргоном, природним, доменним газами, азотом і стиснутим повітрям - власного виробництва.

У останні роки на заводі виконане технічне переоснащення деяких цехів і агрегатів основного виробництва з урахуванням заходів щодо захисту навколишнього середовища.

Нижче перераховані енергетичні об'єкти й устаткування ПАТ "Запоріжтрансформатор". Котельня №1 обладнана котлами ТС-20 4 штуки, сумарна продуктивність по парі 100 т/год. Введена в експлуатацію приблизно у 1962 році, стан задовільний.

Котельня №3 обладнана 8 котлами, продуктивністю 20 т/год, стан добрий. Введена в експлуатацію у 1991 року. Компресорна станція обладнана компресорами, сумарною продуктивністю 290 м³/год. Введена в експлуатацію у 1961 році, стан задовільний. Ацетиленова станція обладнана компресорами, продуктивністю 10 м³/год. Введена в експлуатацію у 1965 році, стан задовільний. Киснева станція обладнана кисневими, повітряними компресорами, продуктивність складає 150 м³/год. Введена в експлуатацію у 1984 році, стан задовільний. Вуглекислотна станція обладнана компресорами, сумарною продуктивністю 120 кг/год. Введена в експлуатацію у 1988 році, стан задовільний. Насосне господарство обладнане насосами в кількості 61 штук, стан задовільний.

На даний час завод має у своєму складі 14 корпусів, які у свою чергу складаються з декількох підрозділів. У функціонуванні підприємства приймає участь деревообробний цех, призначений для переробки деревини, виготовлення необхідних для виробництва деталей або тари, та утилізації відходів деревообробного виробництва.

1.2 Структура енергоспоживання ПрАТ «Запоріжтрансформатор»

У таблицях 1.2, 1.3, 1.4 приведені дані про структуру енергоспоживання заводу.

Таблиця 1.2 – Теплопостачання заводу ПРАТ «ЗТР»

Найменування показників	Роки				
	2020	2021	2022	2013	2014
Загальне виробництво теплоенергії власними джерелами, Гкал	130737	127851	125718	122612	123786
пари:					
– кількість, тон	110557	130253	137339	120463	103258
гарячої води:					
– кількість, Гкал	40113	34489	31821	28516	24821
Спожито теплоенергії всього, Гкал	130737	127310	125891	122709	123780
у тому числі:					
– виробниче споживання	106737	115310	115891	98709	84780
– комунально-побутове споживання	2350	2249	3447	6112	5008

Таблиця 1.3 – Баланс споживання теплової енергії підрозділами підприємства

Найменування показників	Роки				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6
Споживання всього на підприємстві, Гкал	130737	127310	125891	124709	123780
Втрати в магістральних мережах, Гкал	2630	2800	3050	3300	3560
Споживання основними цехами, Гкал:					
-трансформаторний цех №1	12159	12762	14460	30690	32940
-цех магнітодроту					
-апаратний цех	12102	12436	3969	2449	2620
-деревооброблюючий цех	8243	11471	7586	8078	8150
-ізоляційний цех	4852	5193	6178	7800	7745
-трансформаторний цех №2	4780	3189	3661	3408	3500
-цех термовакуумної	10216	10440	13429	24670	25881
обробки	28354	35072	31367	-	-
-ливарний цех	381	929	1012	1100	1240
-автотрансформаторний цех	956	935	1045	1080	1145
-електроремонтний цех	437	401	461	570	658
-теплосиловий цех	594	596	887	945	1105
-вуглекислотна станція	4242	4391	4461	4790	4872
-станція теплового центру	198	183	185	200	256
-цех високовольтних -	12	12	13	15	15
випробувань	8078	6817	6140	6200	6275
-зварювальний цех	1197	1385	1299	1267	1282
-складське гос-во	-	-	7661	9449	10582
-цех комплектування	131	98	95	124	132
господарський цех					

Таблиця 1.4 – Показники енергоспоживання заводу

Найменування показників	Одиниці вимірів	Роки		
		2022	2023	2024
Природний газ	тис. $м^3$ тис. грн.	18718 39775,75	17250 37691,25	16560 36183,6
Теплова енергія	Гкал. тис. грн.	125891 1636,6	124709 1621,3	123780 1609,14
Електроенергія	тис. кВт·год тис. грн.	26704 5531,4	30990 6632,66	33544 8604,16

На рисунку 1.1 зображена діаграма енергоспоживання заводу з 2022 – 2024 р.р.

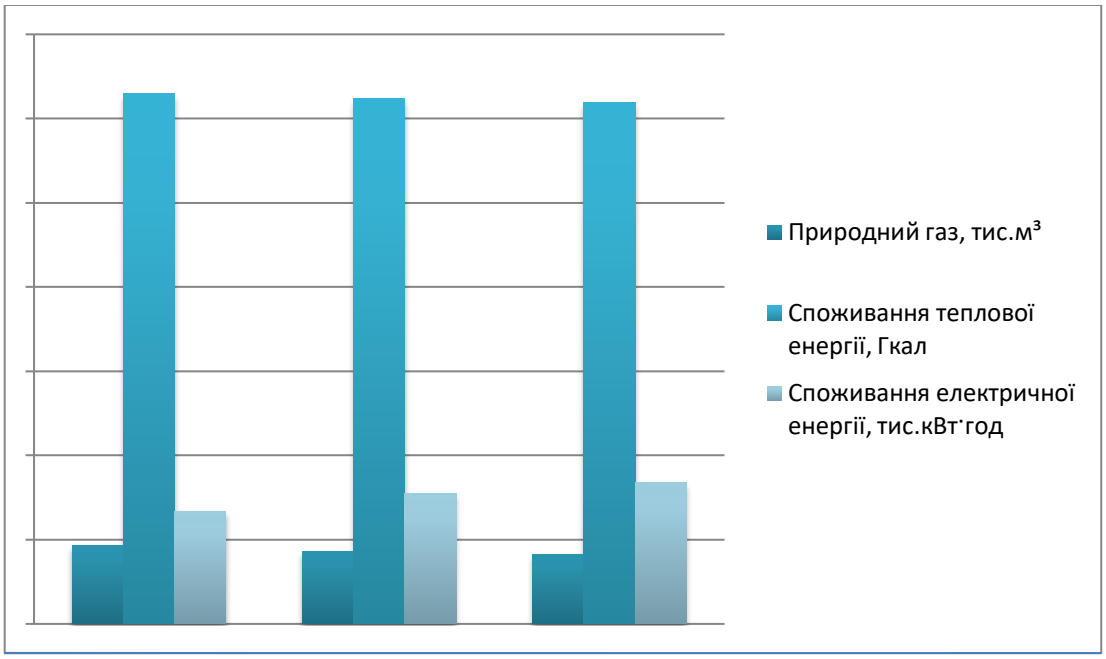


Рисунок 1.1 – Діаграма енергоспоживання заводу з 2022 - 2024 р.р.

Виходячи з аналізу даних енергоспоживання заводу, видно що основний відсоток споживання припадає на теплову та електричну енергії.

На 2022 рік ПРАТ «ЗТР» виробив продукції на суму 3550,3 млн. гривень. У таблиці 1.5 наведено витрати енергоресурсів на виробництво одного

трансформатора (на прикладі трансформатора ТДЦ – 125МВА, ціна якого складає 7390,962 тис. грн).

Таблиця 1.5 – Витрати енергоресурсів на виробництво одного трансформатора

№	Найменування показників	Кількість енергії витраченої на вироблення одного трансформатору	Тариф на енергоносії, грн	Витрати на один трансформатор, грн
1	Теплова енергія	257,6 Гкал	400	103040
2	Електрична енергія	69831,4 кВт·год	0,28	19552,8
3	Природній газ	32393 $м^3$	1228	39779

За даними таблиці 1.5 будуємо кругову діаграму, де у відсотковому співвідношенні зобразимо витрати енергоносіїв на виробництво одного трансформатора (рисунок 1.2).

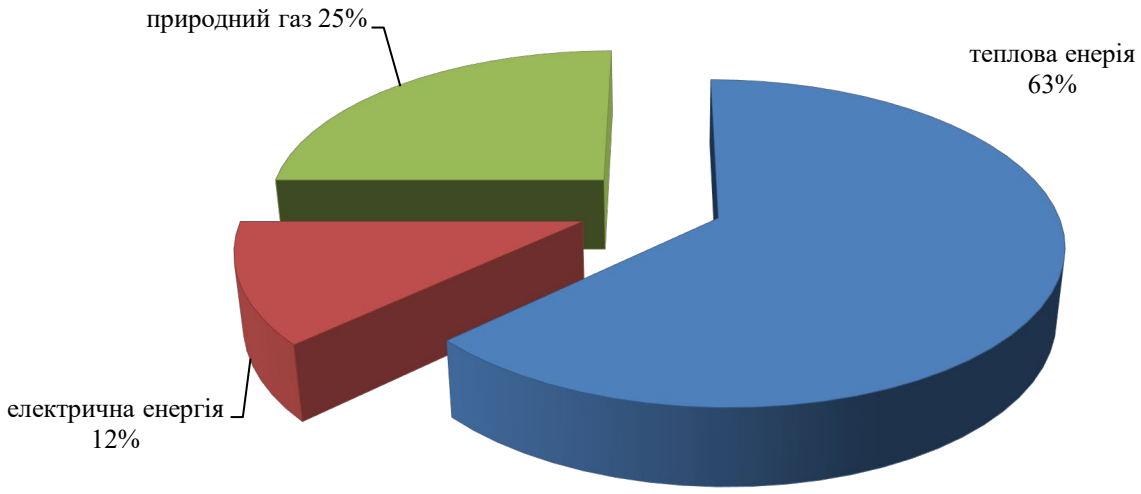


Рисунок 1.2 – Відсоткове співвідношення витрат енергоресурсів на виробництво одного трансформатора

З рисунку 1.2 видно, що на виробництво одиниці продукції ПРАТ «ЗТР», за фінансовими витратами найбільшу частку складає теплова енергія (63%).

Розглянемо систему теплопостачання ПрАТ «Запоріжтрансформатор» та можливі заходи підвищення енергоефективності постачання теплової та електричної енергії, зокрема ливарного цеху підприємства, оскільки він виділяється з інших наявністю паропроводу для теплопостачання, хоча може бути забезпечений даним енергоресурсом за рахунок власних джерел теплоти, зварювального цеху та гальванічної ділянки апаратного корпусу, в яких можливе проведення заходів із збереження енергії.

1.3 Аналіз системи теплопостачання ПрАТ «Запоріжтрансформатор»

Нижче перераховані енергетичні об'єкти й устаткування ПрАТ «Запоріжтрансформатор».

Котельня №1 обладнана котлами ТС-20, сумарною продуктивністю по пару 100 т/год. Введена в експлуатацію у 1972 році.

Котельня №3 обладнана 8 котлами, продуктивністю 20 т/год.

Основним джерелом паропостачання підприємства є котельня №1. У котельні знаходиться парові котли марки ТС-20, характеристика яких наведена у таблиці 1.6. Паливом для котлів служить природний газ.

Водопостачання котельні здійснюється з міського водопроводу ПК «Водоканал». Забір повітря на горіння здійснюється з вулиці та безпосередньо з котельного приміщення. Тяга димових газів здійснюється димососами, встановленими окремо для кожного котла.

Газова котельня основної площадки працює в паровому режимі і призначена для покриття теплових навантажень на водяне опалення адміністративних будівель, системи вентиляції цехів, технологію та

забезпечення гарячого водопостачання основної площадки та опалення і гарячого водопостачання ПК ПрАТ «Запоріжтрансформатор».

На території ПРАТ «ЗТР» теплова магістраль має протяжність більше 3000 метрів. В більшій мірі, в магістралі задіяні труби діаметру Ду-108 мм, повітряної прокладки. Ізоляційним матеріалом служить шлакова вата. Теплопроводи мають розпізнавальне забарвлення та маркувальні таблички.

Таблиця 1.6 – Теплотехнічне устаткування ТСЦ

№	Показники	Котел 1	Котел 2	Котел 3	Котел 4
1	2	3	4	5	6
1	Тип, марка котла	ТС-20	ТС-20	ТС-20	ТС-20
2	Рік встановлення, введення до експлуатації	1950/1972	1951/1972	1953/1972	1953/1972
3	Енергоносій, що виробляється	пара	пара	пара	пара
4	Продуктивність, т/год	25	25	25	25
5	Тиск, кгс/см^2	16	16	16	16
6	Температура вихідних газів, °С	150	150	150	135
7	ККД (нетто), %	90,8	90,5	91,8	90,8
8	Вид палива	природний газ			
9	Номінальні питомі витрати палива, кг у.п./Гкал	160,0	160,0	160,0	160,0

На даний час у ТСЦ у постійному режимі працюють два котли номінальною загальною продуктивністю 31,25 Гкал/год. Теплове максимальне навантаження котельні складає 26,8 Гкал/год – це менше 85% від загальної

потужності котельної установки. У результаті неповного навантаження зменшується ККД, збільшується втрати енергії та палива.

Теплова енергія, що виробляється котельнею, потрібна для забезпечення опалення та вентиляції, гарячого водопостачання (ГВП) та технологічних потреб підприємства (рисунок 1.3).

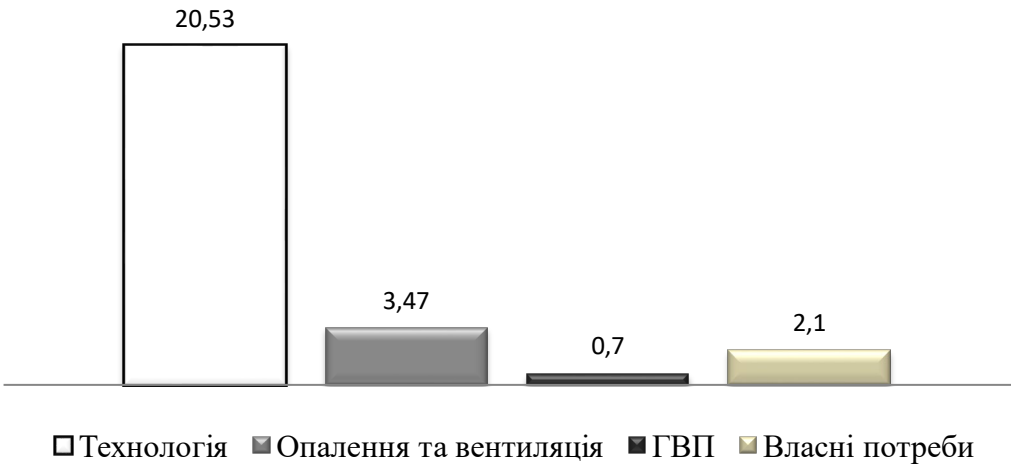


Рисунок 1.3 – Розподіл споживання теплової енергії при максимально-зимовому режимі

Як вже вище було зазначено, теплове навантаження котельної, з урахуванням втрат тепла в паропроводах і зовнішніх теплових мережах, при максимально-зимовому режимі складає: 26,8 Гкал/год.

В тому числі:

– опалення та вентиляція: 3,47 Гкал/год;

– гаряче водопостачання (середнє): 0,7 Гкал/год;

– технологія: 20,53 Гкал/год;

– власні потреби: 2,1 Гкал/год.

Завод працює у 3 робочі зміни, тобто 24 год/добу. Споживання теплової енергії протягом доби не змінюється. Календарний графік підприємства складає 251 робочій день на рік. Дані про максимальну потребу підрозділів

підприємства у тепловій енергії наведені у зведеній таблиці 1.7 та зображені у відсотковому співвідношенні на рисунку 1.7.

Таблиця 1.7 – Теплове споживання підрозділами підприємства

№	Підрозділи підприємства	Тепловий потік, Гкал/год			Σ витрата, Гкал/год
		Опалення та вентиляція	ГВП	Технологія	
1	2	3	4	5	6
1	Збиральний корпус №1	0,5	0,065	5,1	5,665
2	Збиральний корпус №2	0,4	0,067	4,8	5,267
3	Зварювальний корпус	0,13	0,052	1,3	1,482
4	Корпус магнітопроводів	0,05	0,049	1,2	1,299
5	Апаратний корпус	0,135	0,05	1,13	1,315
6	Ливарний цех	0,104	0,03	-	0,134
7	Ізоляційний корпус	-	-	-	-
8	ЦКВ корпус	0,25	0,015	2,9	3,165
9	Ковальний корпус	0,025	0,019	-	0,044
10	Деревообробний корпус	0,325	0,013	2,4	2,738
11	Автотрансформаторний	0,195	0,01	0,9	1,105
12	Складське гос-во	0,13	0,01	-	0,14
13	Вуглекислотна станція	-	0,02	0,8	0,82
14	Інші	1,226	0,3	-	1,526
Всього:		3,47	0,7	20,53	24,7

Як видно з таблиці 1.7 найбільшими споживачами теплової енергії ПРАТ «ЗТР» є збиральний корпус №1 (21%) та збиральний корпус №2 (18%).

1.4 Аналіз енергоспоживання ливарного цеху

В таблиці 1.8, 1.9, 1.10 за видами наведено витрати ливарного цеху на теплопостачання в залежності від періоду року і динаміку по роках.

Таблиця 1.8 – Теплоенергія (гаряче водопостачання)

Місяць/рік	ГВП, Гкал				
	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.	2023р.
Січень	79	112	97	99	83,5
Лютий	76	109	80,5	81,2	86,5
Березень	77	103	96	92,7	117
Квітень	74,5	57,5	44	78,3	112,6
Травень	31	28	16,7	42,32	67,94
Червень	1,8	2,25	3,3	13,6	23,9
Липень	1	0,99	4,18	13,40	22,61
Серпень	0,87	0,74	16,7	22,71	28,71
Вересень	32	19,98	32	39,6	47,2
Жовтень	67	72	48	76,35	104,7
Листопад	143	48	76	89,75	103,5
Грудень	119	46	92	106,26	120,52
Всього:	702,17	599,46	606,38	755,18	918,68

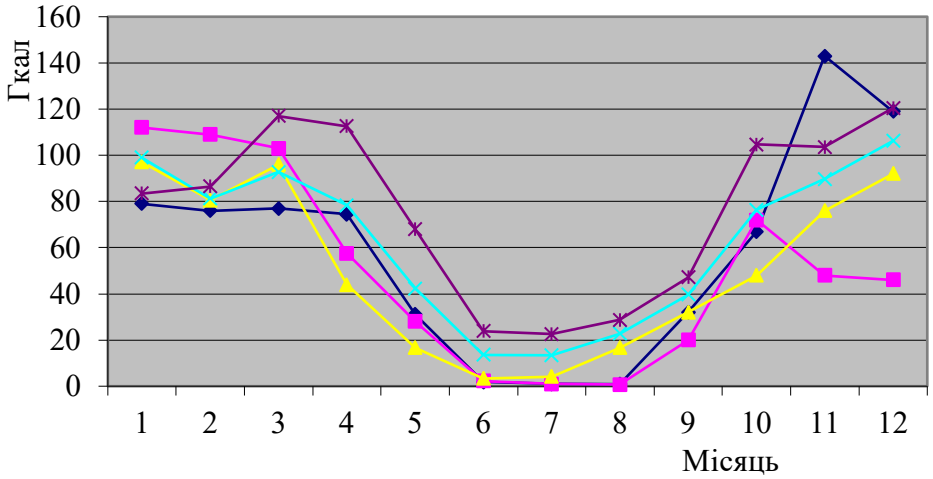


Рисунок 1.4 – Помісячне споживання теплової енергії (ГВП) в ливарному цеху

Таблиця 1.9 – Теплоенергія (опалення)

Місяць/рік	Опалення, Гкал				
	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	108	164	40	165	147,1
Лютий	141	104	67	97	134,4
Березень	92	64	61	55,8	70,3
Квітень	7	0	0	10,99	21,98
Жовтень	38	22	12	22,15	32,3
Листопад	115	45	41	55,32	69,64
Грудень	110	95	103	92,715	82,43
Всього:	611	494	324	498,975	558,15

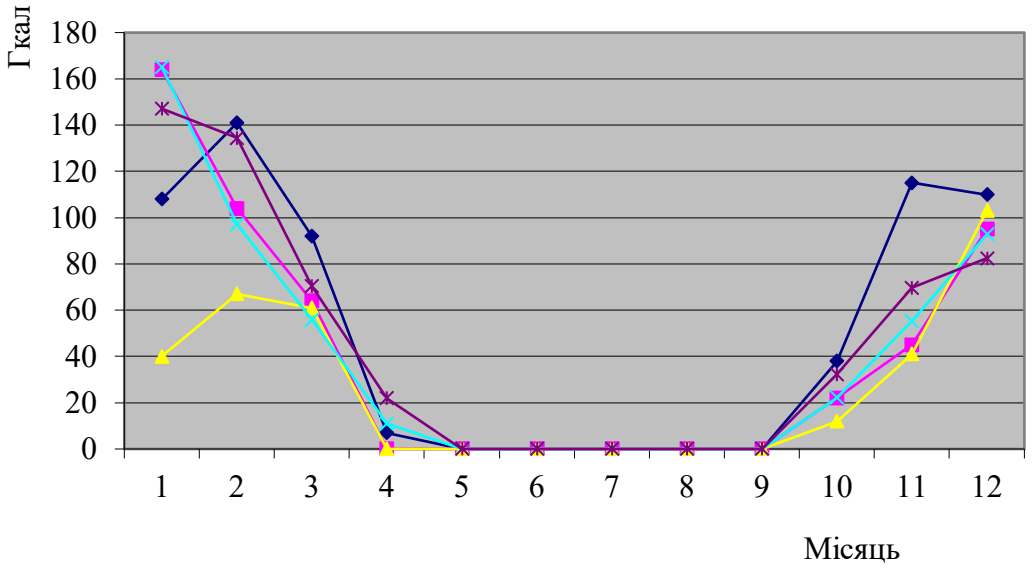


Рисунок 1.5 – Помісячне споживання теплової енергії (опалення) в ливарному цеху

Таблиця 1.10 – Теплоенергія (пара)

Місяць/рік	Пар, Гкал				
	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	877	762	709	812	747
Лютий	833	785	667,5	835	791,2
Березень	876	901	705,5	895	982,6
Квітень	901	731	489	586,7	684,4
Травень	727	712	413	464,60	516,19
Червень	528	521	368	427,65	487,3
Липень	604	578	350	420,28	490,56
Серпень	550	473	413	453,20	493,39
Вересень	433	458	438	482,8	527,6
Жовтень	975,34	507	500	592,7	685,4
Листопад	793	795	794	780,95	767,9
Грудень	1066	825	832	789	746
Всього:	9163,34	8048	6679	7539,87	7919,54

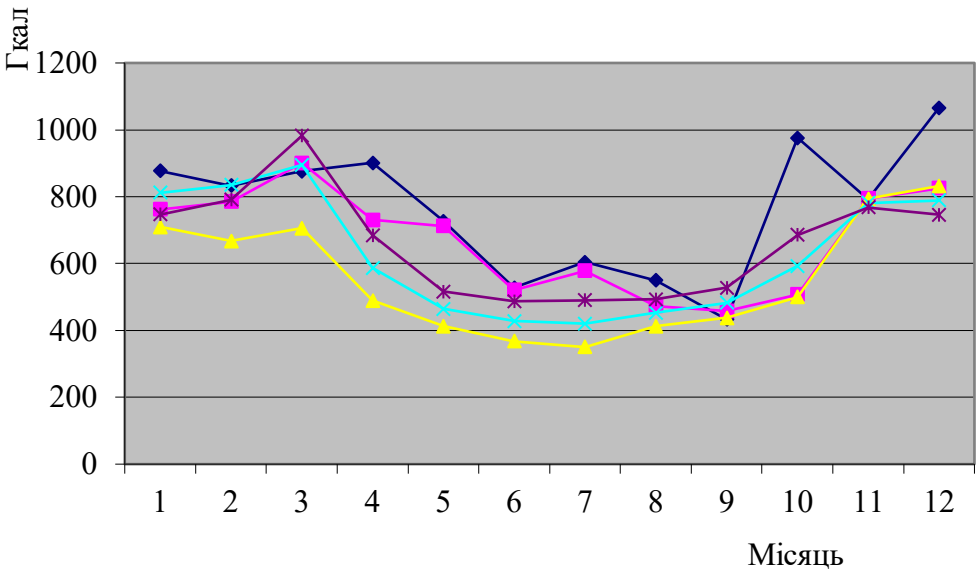


Рисунок 1.6 – Помісячне споживання теплової енергії (пари) в ливарному цеху

Таблиця 1.11 – Стиснуте повітря (на технологію), Гкал

Місяць/рік	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	450	650	512	761,1	1075
Лютий	500	665	581	805	1121
Березень	523	672	603	861	1249
Квітень	515	619	635	895,5	1156
Травень	504	618	595	814,5	1034
Червень	528	617,8	749	913,5	1078
Липень	587	743	782	967	1152
Серпень	580	667	595	905,5	1216
Вересень	527	699	687	1001,5	1316
Жовтень	617	784	836	1050,5	1265
Листопад	561	665	862,8	1047,4	1232
Грудень	637	656	793	991	1189
Всього:	6529,0	8055,8	8230,8	11013,5	14083,0

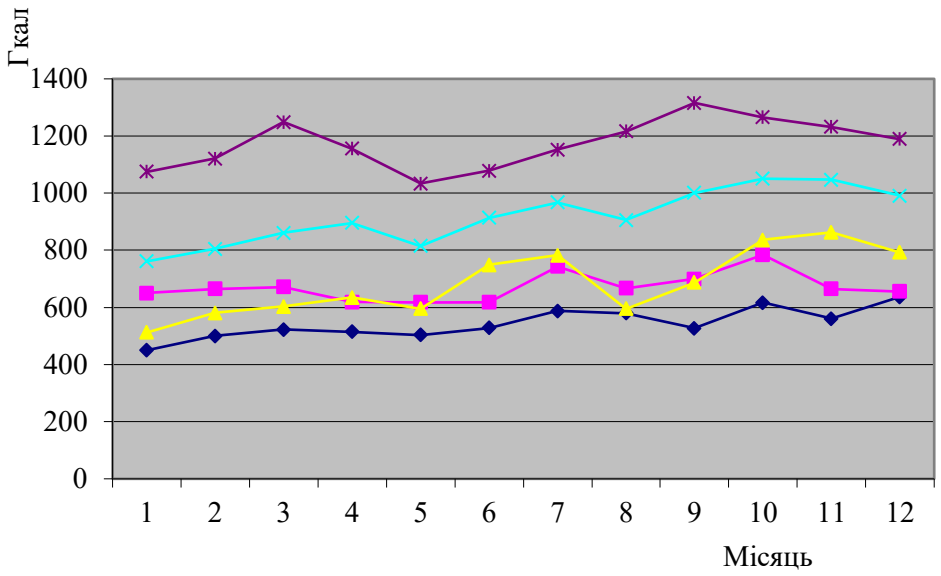


Рисунок 1.7 – Помісячне споживання стисненого повітря (на технологію) в ливарному цеху

Таблиця 1.12 – Споживання природного газу, тис.м^3

Місяць/рік	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	63,60	69,70	12,50	24,00	56,09
Лютий	71,90	39,90	20,40	24,30	50,65
Березень	78,80	38,20	21,30	32,87	51,38
Квітень	74,20	47,00	25,00	32,20	39,38
Травень	81,80	37,70	19,80	30,44	41,09
Червень	77,90	34,30	26,80	35,32	43,84
Липень	80,40	45,50	31,70	37,75	43,80
Серпень	80,70	25,10	26,60	36,92	47,25
Вересень	78,80	32,90	24,40	38,40	52,40
Жовтень	81,90	17,10	26,75	40,13	53,52
Листопад	79,50	25,00	27,86	35,63	43,39
Грудень	75,30	23,53	24,28	38,39	52,51
Всього:	924,80	435,93	287,39	406,36	575,29

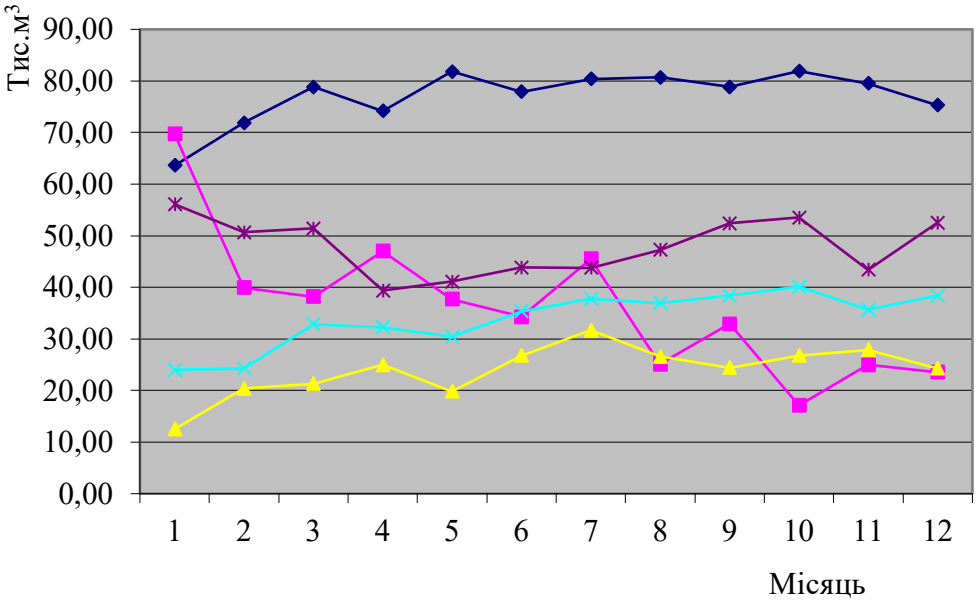


Рисунок 1.8 – Помісячне споживання природного газу в ливарному цеху

Таблиця 1.13 – Споживання питної води, м^3

Місяць/рік	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	2879,80	3402,57	1465,96	1935,89	1532,53
Лютий	2784,74	3422,03	1402,95	1938,07	1719,88
Березень	3285,86	3136,40	1895,67	2002,55	2288,09
Квітень	3118,45	2493,77	1690,94	1459,96	2438,07
Травень	2828,26	2201,66	1450,70	1692,48	1934,26
Червень	2494,60	1833,07	1241,44	1490,24	1739,04
Липень	2235,13	3124,67	1367,20	1549,16	1731,11
Серпень	2379,83	1753,30	1928,27	2270,52	2612,77
Вересень	3202,67	2241,19	1946,11	2176,65	2407,18
Жовтень	3857,87	2330,67	1868,88	2631,58	3394,28
Листопад	4011,62	1229,14	2168,26	2811,17	3454,07
Грудень	4783,24	866,10	2096,69	2761,61	3426,53
Всього:	37862,07	28034,57	20523,07	24719,87	28677,81
Каналізація від питної води складає 84,45%					

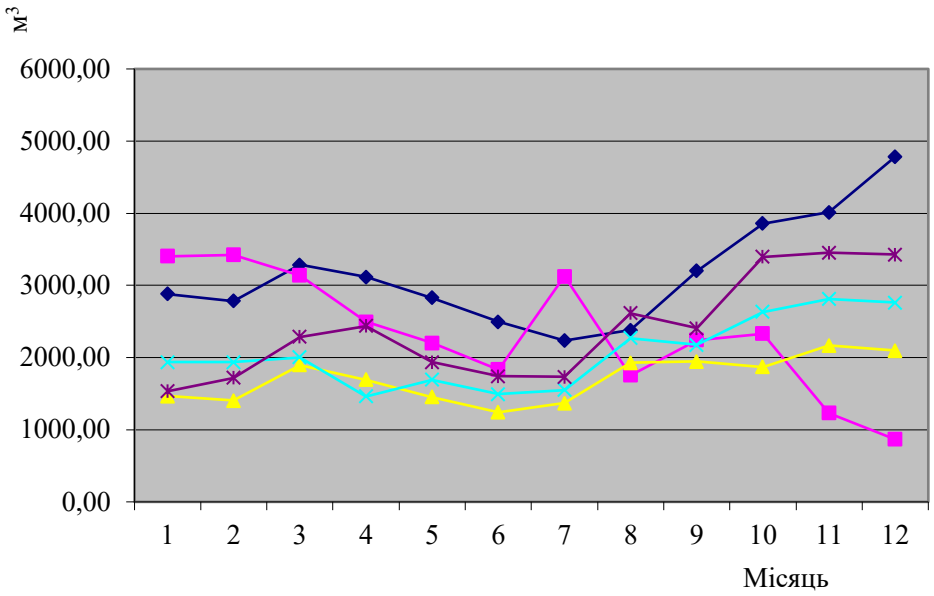


Рисунок 1.9 – Помісячне споживання питної води в ливарному цеху

Таблиця 1.14 – Споживання технічної води, м^3

Місяць/рік	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.	2022р.
Січень	12417,00	16995,00	8325,00	5320,00	2680,00
Лютий	11075,00	8977,00	7423,00	5320,00	6098,00
Березень	11718,00	10000,00	7520,00	4890,00	8900,00
Квітень	11230,00	11252,00	6300,00	5498,00	8000,00
Травень	12945,00	11120,00	7100,00	7350,00	7600,00
Червень	13826,00	10384,00	8900,00	8850,00	8800,00
Липень	15112,00	13397,00	9564,00	9632,00	9700,00
Серпень	14290,00	14098,00	7023,00	8096,50	9170,00
Вересень	11444,00	12528,00	6620,00	7710,00	8800,00
Жовтень	14463,00	12884,00	6100,00	7075,00	8050,00
Листопад	12123,00	8700,00	5000,00	6400,00	7800,00
Грудень	14920,00	8450,00	8293,00	8046,50	7800,00
Всього:	155563,00	138785,00	88168,00	84188,00	93398,00

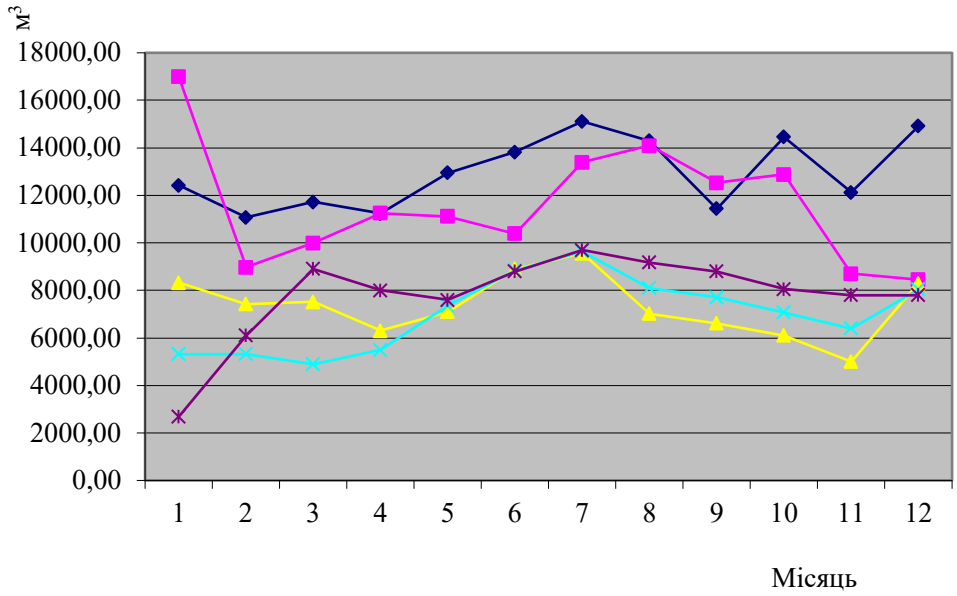


Рисунок 1.10 – Помісячне споживання технічної води в ливарному цеху

Річне споживання енергетичних ресурсів ливарного цеху представлено в зведеній таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Річне споживання енергетичних ресурсів ливарного цеху підприємства ПрАТ «Запоріжтрансформатор»

№п/п	Види енергоресурсів	Одиниці виміру	Обсяги споживання				
			2019р.	2020р.	2021р.	2022р.	2013р.
1	Електроенергія	кВт·год	5803996	5784130	5815184	7445935	9096789
2	Теплоенергія (власне виробництво)	Гкал	4005,5	4197,3	4840,2	4807,5	5479,4
3	Природний газ	тис.м^3	624,8	535,9	587,3	506,4	575,3
4	Технічна вода	м^3	155563	138785	88168	84188	93398
5	Питна вода	м^3	37862	280345	20523	24720	28678

Обсяг витрат на енергоресурси ливарним цехом за 2013 рік представлені на рисунку 1.10.

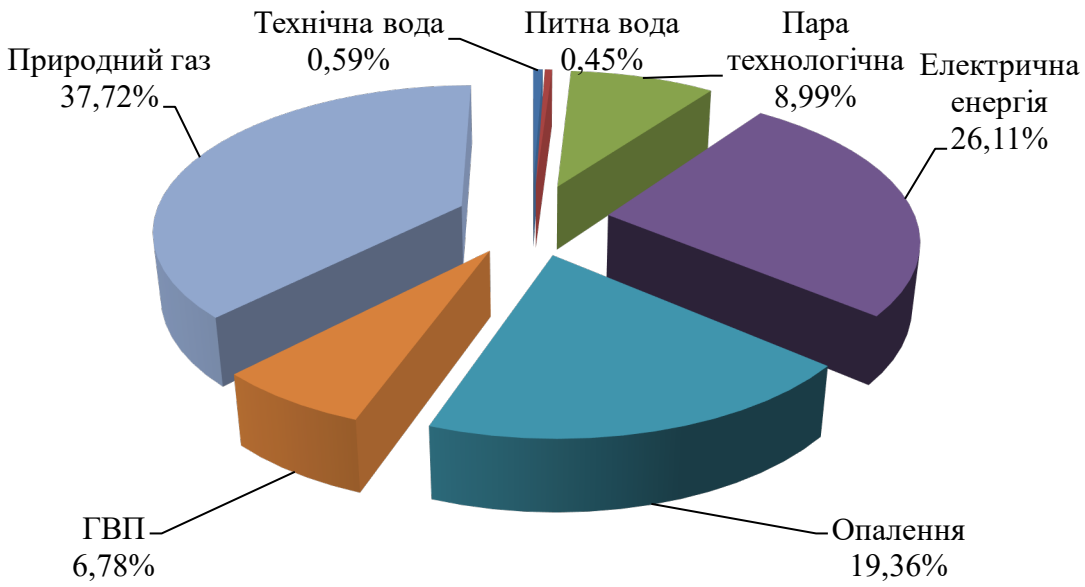


Рисунок 1.11 – Співвідношення витрат на енергоресурси ливарним цехом за 2013 рік.

Аналіз динаміки споживання енергетичних ресурсів ливарним цехом підприємства ВАТ «Запоріжтрансформатор» показує, що в останні роки простежується стійка тенденція до збільшення їх обсягів таблиця 1.14.

Із даних таблиці 1.14 бачимо, що енергоспоживання ливарним цехом у 2022р. збільшилось порівняно із попереднім роком. При цьому у 2022 р. мало місце найбільше збільшення обсягів споживання природного газу (на 29,4%.), електроенергії (на 18%), теплової енергії (на 15,6%), питної води (на 13,8%), технічної води (на 9,9%).

1.5 Обґрунтування доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху

Для досягнення найбільшого економічного ефекту, від економії енергетичних ресурсів, потрібно скласти раціональний план впровадження заходів енергозбереження [12]. В першу чергу рекомендовано впроваджувати

енергозберігаючі заходи на ділянці споживання теплової енергії, далі на ділянці транспортування її споживачеві і в останню – на ділянці генерації.

З огляду на перелік запропонованих заходів можна скласти порядок їх проведення та вибір найбільш ефективних і можливих за даних умов.

Децентралізація теплопостачання є першим заходом. Втрати в мережі складають 30% по довжині теплопроводу. Децентралізація надасть змогу зменшити довжину птеплопроводів, що в свою чергу зменшить теплові втрати, також відпадає необхідність в ремонті та обслуговуванні трубопроводів.

Для кожного споживача може бути встановлений децентралізований котлоагрегат з необхідними технічними характеристиками.

Впровадження децентралізації забезпечить отримання економії енергоресурсів та надасть змогу суттєво знизити навантаження котельні.

Утилізація тепла вихідних газів – є другим енергозберігаючим заходом. Обстеження об’єкта дозволяє зробити висновок, що продукти спалювання з високою температурою на пряму потрапляють у атмосферу.

На об’єкті відсутні теплоутилізатори на виході печей. В результаті температура відхідних димових газів складає 700°С. Дане положення призводить до значних втрат теплової енергії і, як наслідок, до перевитрати природного газу.

Встановлення теплоутилізатору, на виході печей дозволить знизити температуру відхідних газів. Отриману теплову енергію пропонується використовувати для опалення приміщення та гаряче водопостачання.

Теплоту відхідних газів і приховану теплоту пароутворення водяної пари можна корисно використовувати. Використання теплоти відхідних димових газів і прихованої теплоти пароутворення водяної пари називається методом глибокої утилізації теплоти димових газів.

В даний час існують різні технології реалізації даного. Метод глибокої утилізації теплоти димових газів дозволяє збільшити ККД паливоспоживаючої установки на 2 – 3%, що відповідає зниженню витрати палива на 4-5 кг у.п. на 1 Гкал виробленого тепла [6]. При впровадженні даного методу, існують

технічні складнощі і обмеження пов'язані в основному зі складністю розрахунку процесу тепломасобміну при глибокій утилізації тепла відхідних димових газів і необхідністю автоматизації процесу, однак ці складнощі можна вирішити при сучасному рівні технологій.

В даний час температуру відхідних димових газів за котлом приймають не нижче 120 – 130 °С з двох причин: для виключення конденсації водяної пари на лежаках, газоходах та димових трубах і для збільшення природної тяги, знижує напір димососа. При цьому температура відхідних димових газів безпосередньо впливає на значення q_2 – втрати тепла з димовими газами, однією з основних складових теплового балансу котла.

Наприклад зниження температури відхідних димових газів на 40°С при роботі котла на природному газі і коефіцієнті надлишку повітря 1,2 підвищує ККД котла брутто на 1,9%. При цьому не враховується прихована теплота пароутворення продуктів згоряння.

На сьогоднішній день переважна більшість водогрійних і парових котельних агрегатів у нашій країні, що спалюють природний газ, не оснащені установками, які використовують приховану теплоту пароутворення водяної пари. Це тепло втрачається разом з димовими газами.

В даний час застосовуються методи глибокої утилізації тепла відхідних газів шляхом використання рекуперативних, змішувальних, комбінованих апаратів, що працюють при різних прийомах використання теплоти, що міститься у вихідних газах. При цьому дані технології використовуються на більшості котлів за кордоном, що спалюють природний газ та біомасу.

Найбільш часто використовуваний метод глибокої утилізації тепла димових газів полягає в тому, що продукти згоряння природного газу після котла (або після водяного економайзера) з температурою 130 – 150 °С поділяються на два потоки. Приблизно 70 – 80% газів направляються по головному газоходу і надходять в конденсаційний теплоутилізатори поверхневого типу, решта газів направляється в байпасний газохід. В теплоутилізаторі продукти згоряння охолоджуються до 40 – 50 °С, при цьому

відбувається конденсація частини водяної пари, що дозволяє корисно використовувати як фізичну теплоту димових газів, так і приховану теплоту конденсації частини водяної пари, що містяться в них. Охолоджені продукти згоряння після краплевіддільника змішуються з неохолодженими продуктами згорання, що проходять по байпасному газоходу і при температурі 65 – 70 °С відводяться димососом через димову трубу в атмосферу. У якості середовища, що нагрівається, в теплоутілізторі може використовуватися вихідна вода для потреб хімводопідготовки або повітря, що надходить потім на горіння. Для інтенсифікації теплообміну в теплоутилізаторі можлива подача випарів атмосферного деаератора в основний газохід.

Результатом впровадження даного методу, є підвищення ККД котла брутто на 2-3%, з урахуванням використання прихованої теплоти пароутворення водяної пари.

1.6 Заходи з підвищення ефективності системи теплопостачання, що пропонуються

Згідно проведеного аналізу енергоспоживання підприємства проблема енергозбереження, завдання зниження енергоємності продукції є актуальною.

У структурі вартості виливки до 25% становлять витрати на енергоносії. Зниження цієї частки істотним чином позначається на собівартості кінцевого виробу [9].

Ливарне виробництво залежить від цінової політики на ринку на сировинні матеріали, паливо, електроенергію, транспорт. В даний час структура собівартості виливків така: енерговитрати і витрати на паливо становлять 50-60%, витрати на вихідні матеріали (піски, глини, фарби, смоли, шихтові матеріали і феросплави) - 30-38%, інше - 8-17%.

Основним споживачем енергії і, в той же час, головним джерелом ВЕР в ливарному виробництві є плавильні та нагрівальні печі. Більшість паливних плавильних агрегатів мають тепловий ККД на рівні (35-45)%, у термічних печах цей показник знаходиться в межах (25-30)%, а нагрівальні печі, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі, мають тепловий ККД всього 7-12%. При цьому енергія, не використовувана в технологічному процесі, не просто розсіюється, але, як правило, викидається разом з газами, що відходять в атмосферу забруднюючи навколишнє середовище. Таким чином, утилізація ВЕР важлива не тільки з точки зору енергозбереження, але і з позицій охорони природи [10].

Існує декілька способів утилізації ВЕР, що містяться у відхідних газах:

- рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари;
- підігрів повітря для технологічних цілей або опалення цеху;
- нагрів води для технологічних чи побутових потреб.

Кожен з них має свої особливості і технічні засоби, вибір визначається економічними показниками й конкретними заводськими умовами. У першому наближенні можна вважати, що за допомогою повітря підігрівачів можна використовувати 60-70% тепла відхідних газів, охолодивши їх, таким чином, до 180-220 °С на виході. Водопідігрівачі (економайзери) дозволяють одержувати навіть трохи більшу ефективність утилізації тепла - до 70-75% і використовувати низькотемпературні гази, що відходять (з середньою температурою 150-200 °С). Разом з тим використання повітря підігрівачів носить сезонний характер, а установки підігріву води вимагають ресиверів, компенсуючих несинхронність подачі та споживання води.

Використання гарячого повітря для інших технологічних агрегатів, наприклад, для сушіння піску, попереднього нагріву заготовок, сушіння стрижнів після фарбування і т.п., припускає паралельний режим роботи і зменшує маневреність обладнання. Як правило, в подібних випадках необхідно зберігати альтернативні джерела тепла: газові пальники, електронагрівачі і т.п.

Рекуперація (повернення) частини теплової енергії в піч - один з найбільш раціональних способів використання високотемпературних (> 700 °С) ВЕР, і, хоча ККД більшості рекуператорів не перевищує 30-40%, їх використання зберігає автономність пічної установки, забезпечує скорочення питомої витрати палива і дозволяє істотно поліпшити технологічні характеристики печі.

Найбільш ефективним є об'єднання систем, що реалізують в собі всі перераховані способи утилізації ВЕР, що дозволяє довести к.к.д. плавильної або нагрівальної установки до 75-80% [9,10].

Серйозною проблемою ливарного виробництва залишається екологія, так як при виплавці та позапічної обробці ливарних сплавів, виготовленні форм і стержнів, заливці і вибивка ливарних форм, очищенню виливків виділяється значна кількість пилу і шкідливих газів, які негативно впливають на навколишнє середовище. Наприклад, при виробництві 1 т виливків з чорних сплавів виділяється близько 50 кг пилу, 250 кг оксиду вуглецю, 1,5-2,0 кг оксиду сірки і 1,0 кг вуглеводнів [11].

Найбільш перспективними напрямками розвитку ливарного виробництва, що знижують екологічну небезпеку, є:

- розробка й освоєння екологічно безпечних та безвідходних процесів і обладнання,

− застосування регенерації відпрацьованих сумішей на місцях їхнього утворення з поверненням (до 95%) у виробництво,

− утилізація твердих відходів і використання їх в дорожньому будівництві і для засипки відпрацьованих кар'єрів і шахт,

− створення замкнутих циклів водопостачання.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ТЕРМІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ ПрАТ «ЗАПОРІЖТРАНСФОРМАТОР»

2.1 Розрахунок теплового навантаження цеху

Згідно висновків, які були зроблені в першій частині, щодо доцільності впровадження заходів підвищення енергоефективності, можна почати більш детальне дослідження об´єкта, розрахувати кожен с методів, та обрати відповідне обладнання.

Розрахуємо теплове навантаження на опалення будівлі. Годинна витрата тепла на потреби опалення визначається за укрупненими показниками. Навантаження на опалення визначається за кліматологічними даними для м. Запоріжжя:

– розрахункова максимально-зимня температура зовнішнього повітря для проектування опалення: $t_{мзоп}$ = -22ºС;

– середньо-зимова температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон: $t_{сз}$ = -0,4ºС;

– температура у точці злому: t = +3,8ºС;

– тривалість опалювального сезону на рік: T = 174 дні.

Годинна витрата тепла на опалення допоміжних та адміністративних будівель визначається за укрупненими показниками згідно [1].

$$Q_{оп} = q_o \cdot a \cdot V \cdot (t_{зовн} - t_н), \tag{2.1}$$

де q_o – питома теплова характеристика будівлі у ккал/м³·год·град;

a – поправочний коефіцієнт для промислових, житлових та громадських будівель;

V – зовнішня кубатура будівлі (або його опалювальної частини), м³;

$t_{зовн}$ - середня температура опалювального приміщення, ºС;

$t_н$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення, ºС.

Згідно даних підприємства:

– площа цеху: F = 1324 м²;

– висота: H = 13,725 м;

– опалювальний обсяг: V = 4447 м³;

– площа остекління: F = 144,3 м²;

– матеріал стель: залізобетонна плита,цегла.

– середня температура у приміщеннях: $t_{сер}$ = +18ºС.

Отже,згідно (2.1)

$$Q_{оп} = 0{,}45 \cdot 1{,}134 \cdot 4447 \cdot (18 + 22) = 90772{,}16 \text{ ккал}$$

Теплове навантаження на опалення визначається за укрупненими показниками:

– площа: F = 4248 м²;

– висота цеху: H = 15,265 м;

– висота прольоту прольоту в осях И-Д з аераційним ліхтарем:

H = 17,4 м;

– опалювальний обсяг: V = 64845,72 м³;

– площа остікління цеху: F = 1210,25 м²;

– площа остікління аераційного ліхтаря: F = 307,44 м²;

– матеріал стін: залізобетонна стеля цегла;

– матеріал перекриття: залізобетонна стеля.

Середня температура повітря всередині цеху згідно [1]: $t_{сер}$= +16ºС.

$$Q_{оп} = 0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}134 \cdot 64845 \cdot (16 + 22) = 1536{,}86 \text{ Гкал/рік}.$$

де k=1,1 – коефіцієнт, який враховує витрату тепла на підігрів зовнішнього повітря, яке надходить у будівлю шляхом інфільтрації через аераційні ліхтарі.

Теплове навантаження на потреби ГВП визначається за формулою:

$$Q_{ГВП} = B_{душ} \cdot C \cdot (t_{г.в.} - t_{х.в.}) \cdot n, \quad (2.2)$$

- де $B_{душ}$ – витрата гарячої води на душеву у груповій установці зі змішувачем згідно [2], $B_{душ}$ = 270 л/год;

C – теплоємність води, C = 1 ккал/кг·град;

$t_{г.в.}$ - температура гарячої води, приймаємо $t_{г.в.}$ = 60°С;

$t_{х.в.}$ - температура холодної води, приймаємо $t_{х.в.}$ = 5°С;

n – кількість душових сіток, приймаємо згідно даних підприємства , n = 18 шт.

Отже, згідно формули (2.2):

$$Q_{ГВП} = 270 \cdot 1 \cdot (60 - 5) \cdot 18 = 267\ 300 \text{ ккал.}$$

Сумарна максимально-годинна витрата тепла на потреби опалення та навантаження на ГВП,:

$$\Sigma Q_{макс.год} = Q_{оп} + Q_{ГВП}, \quad (2.3)$$

$$\Sigma Q_{макс.год} = 105 + 1787 + 311 = 2{,}2 \text{ МВт}.$$

Необхідно врахувати, що усі розрахунки для навантаження системи опалення є для зовнішньої температури мінус 22ºС. Оскільки середня температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон для м. Запоріжжя згідно кліматологічних умов складає мінус 0,4°С, отже, середнє максимальне

навантаження системи опалення складе 0,77 МВт, при температурі зовнішнього повітря мінус 10ºС навантаження складе 1,22 МВт.

2.2 Утилізація теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху

На підприємстві ВАТ «ЗТР» використовуються камерні нагрівальні і термічні печі, опалювальні природним газом. Більшість з них фізично застаріли і потребують повної або часткової модернізації та мають ряд істотних недоліків. Серед них: великі теплові втрати з газами, нерівномірність нагріву садки, високий угар металу при нагріванні. Крім того, термічні камерні печі характеризуються істотними витратами теплоти на розігрів кладки, що пов'язано з періодичністю роботи, обумовленої заданим графіком нагріву.

У структурі втрат переважну роль відіграють втрати які йдуть з димовими газами - 65%. Також істотні втрати теплопровідністю через футеровку печі і на її періодичний розігрів - 25%. За рахунок недосконалості процесу спалювання палива втрачається до 10%.

Основною причиною неефективного використання палива є та обставина, що експлуатований в даний час парк печей представлений в основному агрегатами, побудованими в другій половині минулого століття. Існуюча в той час концепція будови печей передбачала забезпечення високої продуктивності, а питань економії не приділялося належної уваги. В наслідок чого питома витрата палива на одиницю продукції в країнах СНД 2-5 разів перевищує показники промислово-розвинених країн. Вік деяких печей досягає 20-30 років. Вони неекономічні через використання в них застарілих вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів. Також на енергоефективності термічних виробництв позначається незначне завантаження печей, нерідко складова 20-30% від номінальних значень [12-15].

В умовах постійного зростання цін на природний газ, тривалої нестабільності в промисловості та енергетиці, питання вибору енергоносіїв та їх ефективного та економного витрачання виходять на перший план.

Сьогодні найбільш часто джерелом теплової енергії термічного обладнання є природний газ, рідше - електроенергія. Це так звана спадщина, що залишився ще з часів СРСР, коли в умовах економічної стабільності і низького рівня цін на енергоносії, особливо, на природний газ, перевагу, як правило, віддавалася газового нагріву. Низька теплотехнічна і технологічна ефективність використання природного газу компенсувалася його невисокою вартістю.

Сьогодні ж визначальним фактором при порівнянні газ-електроенергія є зіставлення вартості необхідної теплової енергії в еквіваленті 1 кВт/год. Як показують розрахунки, вартість необхідної теплової енергії, одержуваної спалюванням природного газу, в 1,5-1,6 рази дорожче електроенергії. Крім ефективності та економічності використання електричний нагрів володіє і іншими перевагами: точністю і стабільністю підтримки і регулювання температури і потужності; мобільністю, технологічністю і компактністю конструкцій печей; простотою пуску та експлуатації; високою якістю нагрівання; екологічністю. Враховуючи дані фактори, можна зробити висновок, що правильний вибір теплоносія в процесах нагрівання і термообробки металів є досить актуальним питанням, що вимагає оперативного вирішення [15]

Вимоги до роботи нагрівальних печей включають в себе:

– забезпечення заданої продуктивності;

– забезпечення якості нагріву, що задовольняє технологів по структурі і за механічними властивостями металу, за ступенем утворення окалин та зневуглецювання;

– ефективне використання палива, характеристикою якого служить питома витрата енергії на одиницю продукції в кг. палива на 1 тонну продукції;

– відповідність екологічним нормам по гранично допустимим викидам в атмосферу пилу та шкідливих газів: CO, CO_2, NO_x, SO_2, C_20H_{12} та інших вуглеводнів;

– механізація праці при експлуатації та ремонті печі та автоматизація її теплового режиму.

В ливарному цеху встановлено три термічних прохідних печі, котрі працюють на природному газі. В цеху, цілодобово працює одна з печей, періодично працюють дві печі. Нагрівальні печі Т-240 цеху належать до дрібносерійного виробництва з режимом нагрівання й термічною обробкою заготівель у печах з упорядкованою садкою. Характеристики нагрівальних печей типу Т-240 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 − Характеристики нагрівальних печей типу Т-240

№ п/п	Найменування параметру	Позначення	Одиниця виміру	Величина параметру
1	Продуктивність печі (максимальна)	$G_П$	т/год	0,5
2	Кількість працюючих горілок	n	шт	10
3	Витрата палива	$B_Г$	м^3/год	22
4	Теплова потужність печі	$Q_{ПЕЧ}$	ккал/год	174719
5	Корисна теплова потужність	$Q_{КОР.ПОТ}$	ккал/год	16439
6	Потужність холостого ходу	$Q_{Х.Х}$	$Q_{КОР.ПОТ}$	82730
7	Коефіцієнт витрати повітря	a	−	1,1
8	Час одного циклу роботи печі	τ	год	10-12
9	Температура газів в печі	$t_{ПЕЧ}$	°С	1050
10	Температура вихідних газів	$t_{ВИХ}$	°С	710
11	Об’єм вихідних газів	V	м^3/год	500
12	Втрати тепла: а) з вихідними газами б) з хімдопалюванням в) з окалиною г) в навколишнє середовище	 q_2 q_3 q_4 q_5	 % % % %	 54,79 0,002 0 34,18
13	Коефіцієнт надлишку повітря	$a_{ух}$	−	1,97
14	КПД печі	$\eta_{ТЕРМ}$	%	9

Основними параметрами роботи печей є:

- продуктивність - $G_{піч}$, кг/год;
- питома витрата тепла- B, ккал/кг;
- питома витрата палива- B_m, ккал/кг;
- ККД. і К.І.Т. печі.

Необхідно відзначити, що нагрівальні печі Т-240 характеризуються перемінним по зонах температурним режимом і необхідністю досягнення розподілу температур по зонах робочого простору з витримкою строго певної по технологічній інструкції температури в зоні. Кількість тепла, що подається в різні зони печі, розрізняються на 10-15 °С.

Експлуатаційні теплові й температурні режими роботи нагрівальних печей зафіксовані в заводських технологічних інструкціях до нагріву виробів.

У задачу налагоджувальних робіт входило - забезпечення точного відтворення заданої зміни температур нагріву по зонах при найбільшій економічності (тобто найменшій витраті палива) і при дотриманні умов, що характеризують якісне нагрівання (при найменшій температурній нерівномірності нагріву, без поверхневих дефектів: тріщин, оплавлення).

Слід зазначити, що основна продукція цеху - випуск спеціальних деталей, пов'язаних з виробництвом авіадвигунів. Тому якісне нагрівання під ковку й «термообробку йде з підвищеними вимогами до температурного режиму роботи печей, і як наслідок, до зниження ККД печей.

Нагрівальні печі № Т-240 що працюють на природному газі, призначені для нагріву заготівок до температур встановленим по зонах, відповідно до технологічної інструкції. Печі побудовані за проектом, розробленим ОГЄ ЗПО «Моторостроитель». Температура в печах задається й реєструється на приладі КСП-3. Задана температура підтримується автоматично шляхом зміни витрати газу за допомогою виконавчого механізму ІП-2/120. Контроль нагріву по зонах здійснювався за допомогою оптичного пірометра. На печах встановлене по 16 інжекційних пальників ВП-42 конструкції «Стальпроекта». Димові гази віддаляються через димоходи у верхній частині зводу.

Існуючі термічні печі металургії й машинобудування потребують підвищення показників використання палива. Одним з основних напрямів енергозбереження в нагрівальних печах є глибока утилізація теплоти димових газів на виході з робочого простору печей. Для утилізації фізичного тепла димових газів, що виходять після технологічних печей застосовуються котли-утилізатори (КУ). Це дозволяє отримати додаткову продукцію у вигляді насиченого або перегрітого пара, гарячої води та призводить до економії палива на підприємстві.

Котли-утилізатори призначені для отримання безпаливної пари за рахунок використання тепла відхідних газів технологічних агрегатів.

Котел утилізатор – це котел, в конструкції якого немає своєї топки, принцип його дії заснований на використанні тепла, що утворюється в виробничих процесів, наприклад, поява гарячих газів в металургійній промисловості. Великі парові котли-утилізатори мають всі ознаки котлоагрегата, крім пристосувань для спалювання палива.

Котли-утилізатори відрізняються від парових котлів та іншого котельного обладнання тим, що вони використовують для свого функціонування енергію відпрацьованих газів, наприклад, вихлопних газів, які утворюються при згорянні палива.

З метою захисту навколишнього середовища від забруднення та отримання додаткової електроенергії, газ спалюють у котлах-утилізаторах. При згоранні газу утворюється теплова енергія, за допомогою якої вода, що пропускається через труби, перетворюється на пару. Продуктивність пари в котлах-утилізаторах, безпосередньо залежить від обсягу та якості утилізованого газу [12-15].

Використання парових котлів утилізаторів має ряд переваг:

- зменшення вихлопу забруднюючих речовин в атмосферу;
- зниження витрат на очищення газів;
- більш раціональне використання палива.

Котел-утилізатор дозволяє використовувати енергію теплового двигуна в максимальній мірі, саме тому такі котли-утилізатори мають високий ККД у порівнянні з іншими видами котельного обладнання. Застосування парових установок - котлів-утилізаторів в різних областях промисловості дозволяє реалізовувати енергозберігаючі технології.

Котли-утилізатори, парові водогрійні котли та енерготехнологічні парові котли-утилізатори за своєю конструкцією можуть бути з природною або примусовою циркуляцією, котельне обладнання з барабаном або без барабана (прямоточні парові котли) і т.д. У теплоенергетиці застосовується величезна кількість парових котлів енергетичних, котлів водогрійних і котлів-утилізаторів різних за потужністю, за тепловим схемами, і по параметрах [12-15].

Принципова схема котла-утилізатора представлена на рисунку 2.1.

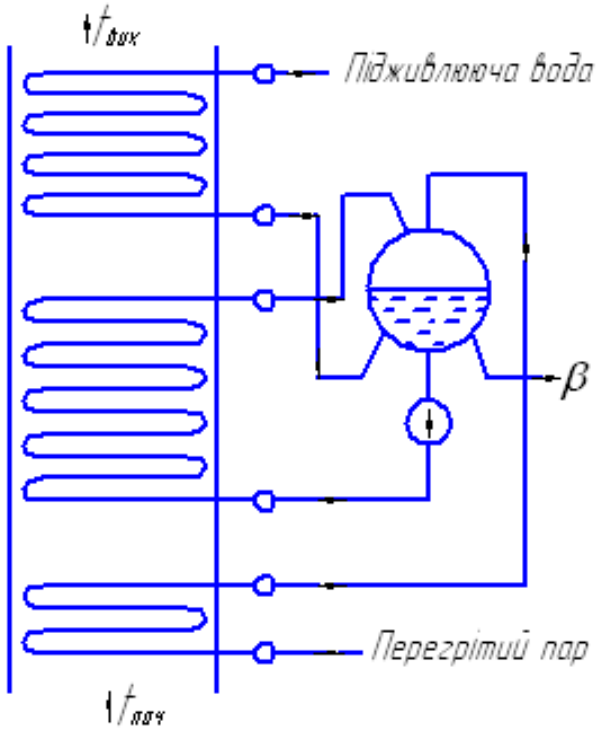


Рисунок 2.1 – Принципова схема котла-утилізатора

За результатами розрахунку котла утилізатора отримуємо дані по ймовірному корисному використанню теплоти відхідних газів.

Сумарне вироблення пари печами складає D = 0,3 - 0,5 т/год кожна.

Для даного проекту згідно розрахунків пропонується котел утилізатор УПГ-0,3-0,6 з паропродуктивністю 0,03 т/год, та температурою гріючих газів 700 ^{0}С.

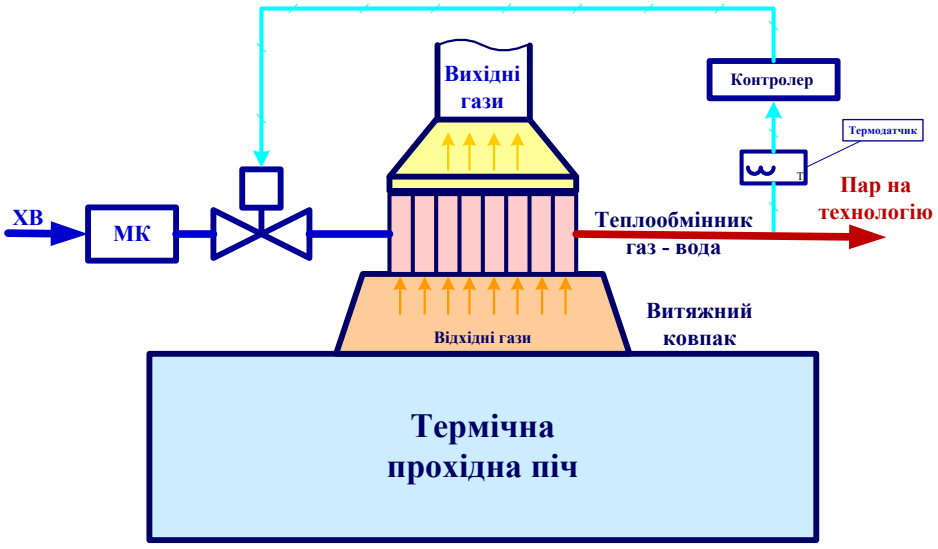
Таблиця 2.2 - Технічна характеристика котла-утилізатора УПГ-0,3-0,6

№п/п	Найменування і розмірність показника	Значення
1	Паропродуктивність, т/год	0,5
2	Робочий тиск пари, МПа (кг/см^2)	0,4(4)
3	Температура пари, ^{0}С	151
4	Температура живильної води, ^{0}С	105
5	Витрата гріючих газів, кг/год	100
6	Температура гріючих газів, ^{0}С	700
7	Температура газу на виході, ^{0}С	142
8	Габаритні розміри, мм, не більше – довжина – ширина	 1320 1800

Для підбору котла утилізатора використовуємо вихідні дані параметрів роботи печей, а також коефіцієнти котрі впливають на ефективність використання котлів утилізаторів: β – коефіцієнт враховує невідповідність режимів роботи печей та котла утилізатора, приймаємо рівним 1; ζ – коефіцієнт втрат котла утилізатора в навколишнє середовище, приймаємо рівним 0,12; η – ККД котельного агрегату, що заміщуємо, приймаємо 0,86. В залежності від режиму роботи печі витрата димових газів становить 350 – 500 м^3/год.

За результатами розрахунку котла утилізатора отримуємо дані по ймовірному корисного використання теплоти відхідних газів.

Пропонується утилізувати теплову енергію відхідних газів печі для отримання технологічної пари і пари для опалення ділянок цеху. Схему утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування наведено на рисунку 2.2.



Умовні позначення: ХВ – холодна вода; МК – магнітний коагулятор.

Рисунок 2.2 – Технічна пропозиція з утилізації теплової енергії відхідних газів термічного устаткування ливарного цеху

Для даного проекту згідно розрахунків пропонується водяний котел утилізатор КВ-115-20 з продуктивністю 0,5 т/год, та температурою гріючих газів 230^{0}С. Сумарне вироблення води за рахунок трьох печей складає D = 1,3 - 1,5 т/год.

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика котла-утилізатора КВ-115-20

№п/п	Найменування і розмірність показника	Значення
1	Продуктивність, т/год	0,5
2	Робочий тиск пари, МПа (кг/см^2)	0,4(4)
3	Температура пари, ^{0}С	151
4	Температура живильної води, ^{0}С	105
5	Витрата гріючих газів, кг/год	100
6	Температура гріючих газів, ^{0}С	700
7	Температура газу на виході, ^{0}С	142
8	Габаритні розміри, мм, не більше – довжина – ширина	 1320 1800

Для котла утилізатора продуктивністю 0,5 т/год потрібна потужність складає 18750 ккал/год.

$$Q = 0{,}5 \cdot 0{,}625 \cdot 10^6 = 18750 \text{ ккал/год;}$$

Об’єм газу котрий потрібний для такої потужності:

$$V = \frac{18750}{0{,}91 \cdot 8200} = 2{,}5 \text{ м}^3\text{/год.}$$

Тривалість роботи термічних печей за тиждень – 5 днів, за добу – 12 год. Отже тривалість роботи однієї печі за рік складає:

$$t = 52 \cdot 5 \cdot 12 = 3120 \text{ год.}$$

Сумарний об’єм газу за рік:

$$V = 2{,}5 \cdot 3120 = 7800 \text{ м}^3.$$

Економія умовного палива:

$$B_{ум} = V \cdot K, \qquad (2.4)$$

де $B_{ум}$ – кількість витраченого пічного палива в тоннах умовного палива;

V – кількість витраченого казаново-пічного палива в натуральних одиницях виміру;

K – коефіцієнт для переведення натурального палива в умовне.

$$B_{ум} = 7800 \cdot 3/862 = 27{,}15 \text{ т у.п.}$$

2.3 Розрахунок комбінованої системи теплопостачання

Комбіновану систему теплопостачання можна розрахувати з використанням планування експерименту.

Планування експерименту - вибір плану експерименту, що задовольняє заданим вимогам, сукупність дій спрямованих на розробку стратегії експериментування (від отримання апріорної інформації до отримання працездатною математичної моделі або визначення оптимальних умов). Це цілеспрямоване управління експериментом, що реалізовується в умовах неповного знання механізму досліджуваного явища. [6]

У процесі вимірювань, наступної обробки даних , а також формалізації результатів у вигляді математичної моделі , виникають похибки і втрачається частина інформації, що міститься у вихідних даних. Застосування методів планування експерименту дозволяє визначити похибка математичної моделі і судити про її адекватності. Якщо точність моделі виявляється недостатньою , то застосування методів планування експерименту дозволяє модернізувати математичну модель з проведенням додаткових дослідів без втрати попередньої інформації і з мінімальними витратами.

Мета планування експерименту - знаходження таких умов і правил проведення дослідів при яких вдається отримати надійну і достовірну інформацію про об'єкт з найменшою витратою праці, а також представити цю інформацію в компактній і зручній формі з кількісною оцінкою точності.[7]

Серед основних методів планування, що застосовуються на різних етапах дослідження, використовують:

- планування відсіває експерименту, основне значення якого виділення з усієї сукупності факторів групи істотних факторів, що підлягають подальшому детальному вивченню;
- планування експерименту для дисперсійного аналізу, тобто складання планів для об'єктів з якісними факторами;

- планування регресійного експерименту, що дозволяє отримувати регресійні моделі (поліноміальні і інші);

- планування екстремального експерименту, в якому головне завдання - експериментальна оптимізація об'єкта дослідження;

- планування при вивченні динамічних процесів і т.д.

Під плануванням експерименту розуміється процедура вибору числа дослідів та умов їх проведення, необхідних для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. Всі змінні, що визначають досліджуваний об'єкт, змінюються одночасно за спеціальними правилами. Результати експерименту представляються у вигляді математичної моделі, що володіє певними статистичними властивостями, наприклад мінімальною дисперсією оцінок параметрів моделі.

Для експериментаторів, які не займаються плануванням багатофакторного експерименту, найбільш звичним методом дослідження є однофакторний експеримент. Він полягає в тому, що варіюється один фактор на декількох рівнях, а всі інші фактори підтримуються постійними.

Вплив інших факторів оцінити не можна. Висновки про вплив досліджуваного фактора можуть суттєво відрізнятися в залежності від рівня фіксування інших факторів.

Однак на практиці доводиться мати справу з багатофакторними об'єктами, де однофакторний експеримент неефективний.

У багатофакторних планах одночасно варіюється кілька факторів, а не кожен окремо.

План повинен бути складений так, щоб при статистичній обробці була можливість добре проаналізувати експеримент, перевірити чи існують ефекти досліджуваних факторів, визначити величину цих ефектів (не побачити неіснуючі і не "прогледіти" дійсні ефекти), знайти найменший значущий ефект і т.д. Оцінки ефектів факторів можна вважати достовірними тільки тоді, коли ні неоднорідність експериментальних одиниць, ні інші невраховані фактори не в змозі привести до отриманого результату.

У плануванні експерименту сам експеримент розглядається як об'єкт дослідження та оптимізації. Тут здійснюється оптимальне управління веденням експерименту, в залежності від характеру досліджуваного об'єкта і цілей дослідження обґрунтовано вибираються тип планування експерименту, метод обробки даних.

Планування багатофакторних експериментів - новий підхід до організації та проведення екстремальних досліджень складних систем. Мета планування експерименту - витяг максимуму інформації при заданих витратах на експеримент або мінімізація витрат при отриманні інформації, достатньої для вирішення завдань. Планування експерименту дозволяє урівняти число дослідів поставленому завданню.

Планування багатофакторних експериментів з скороченням перебору варіантів є потужним засобом підвищення ефективності досліджень і зменшення витрат часу на експеримент. У прикладі плану 2^{7-4} для восьми факторів, кожен з яких змінюється на двох рівнях, кодованих +1 і -1, ці зміни наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Дробовий факторний план 2^{7-4}

Номер експерименту	Фактори							
	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_4(X_1X_2)$	$X_5(X_1X_3)$	$X_6(X_2X_3)$	$X_7(X_1X_2X_3)$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1

У порівнянні з повним перебором цей план скорочує число дослідів в 16 разів. Якби ставилося повний факторний експеримент, то це вимагало б $N = 2^7 = 128$ дослідів; а в даному плані $N = 8$.

Незважаючи на малу кількість дослідів, такий дробовий факторний план має такі властивості:

Симетричністю щодо центру експерименту: алгебраїчна сума елементів

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ji} = 0 \tag{2.5}$$

Ортогональним будь-яких двох векторів-стовпців плану: сума почленного добутків і їх елементів дорівнює нулю.

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ji} X_{ui} = 0, j \neq u, \; u = 1, 2...k \tag{2.6}$$

Нормуваннями: сума квадратів елементів кожного стовпця дорівнює числу дослідів.

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ij}^2 = N \tag{2.7}$$

Задачу складання багатофакторного плану можна вирішити у програмі Exel.

Обираємо для нашого планування експерименту min та max від різних джерел теплоти.

Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари: min = 7982 кВт·год, оскільки виходимо з вартості мінімально можливого для встановлення котла, max = 24750 кВт·год, оскільки пари потребується не більше 9% від загального теплоспоживання.

Підігрів повітря на потреби технології: min = 6946 кВт·год, тобто мінімально можлива вартість обладнання для отримання гарячого повітря, max = 72941 кВт·год., оскільки можлива утилізація всієї теплоти, що надходить від відхідних газів термічних печей.

Нагрів води на потреби опалення і ГВП: min = 9768 кВт·год - необхідна теплова енергія тільки на ГВП, що складає не більше 7% від загальних витрат підприємства на енергоресурси за рік, . max = 34750 кВт·год - сума витрат на опалення та ГВП на рік, що складає в сумі близько 26 % від суми витрат.

Таблиця 2.5 - Планування експерименту min та max значень потужності

Назва досліду	max, кВт·год	min, кВт·год
Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари	24750	7982
Підігрів повітря на потреби технології	72941	6946
Нагрів води на потреби опалення і ГВП	34750	9768

Розподілимо данні для планування експерименту у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Планування експерименту виробленої теплової енергії при min та max потужності джерела

Номер експерименту	Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари, кВт·год	Підігрів повітря на потреби технології, кВт·год	Нагрів води на потреби опалення і ГВП, кВт·год	$Q_{\sum}$, кВт·год
1	24750	72941	34750	132441
2	7982	72941	34750	115673
3	24750	6946	34750	66446
4	7982	6946	9768	24696
5	24750	72941	9768	107459
6	7982	72941	9768	90691
7	24750	6946	9768	41464
8	7982	6946	9768	24696
∑				603566

Сума теплового постачання:

$$\sum_{i=1}^{8} X_{ij}^{2} = 603566 \text{ тис. кВт·рік.}$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії проводиться за формулою 2.8.

- вільний член рівняння, тис. кВт·год:

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \overline{X}_{ij}}{N} \qquad (2.8)$$

$$Q_0 = 75445{,}75;$$

- коефіцієнт регресії і-го фактора:

$$Q_1 = \frac{\sum_{u=1}^{N} X_u}{N} \qquad (2.9)$$

Q_1 = 16366 тис.кВт·год;

Q_2 = 39943,5 тис. кВт·год;

Q_3 = 9136,25 тис. кВт·год.

Таким чином, рівняння регресії має вигляд

$Q\sum$ = 75445,75+16366·$З_{рт}$+39943,5 ·$З_{пп}$+9136,25·$З_{нв}$

Таким чином можна зробити висновок, що найбільше витрат припадає на підігрів повітря на потреби технології, менше всього – на нагрів води на потреби опалення і ГВП.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Розрахунок оптимальних співвідношень між джерелами теплоти комбінованої системи теплопостачання

З метою зниження теплових витрат на паропостачання, опалення та ГВП від центральної котельні та для підвищення тим самим енергетичної ефективності цеху рекомендовано розглянути ряд заходів. Методом планування експремента при пошуку оптимальних співвідношень розглянути економічні показники комбінованої системи теплопостачання.

Визначимо min та max витрати на реалізацію кожного заходу окремо не виходячи за межі технічної доцільності, тобто потреби цеху в кожному енергоресурсі.

Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари: min = 92,104 тис.грн, оскільки, згідно таблиці 2.8, виходимо з вартості мінімально можливого для встановлення котла, max = 285,592тис.грн., оскільки пари потребується не більше 9% від загального теплоспоживання.

Підігрів повітря на потреби технології: min = 65,591тис.грн, тобто мінімально можлива вартість обладнання для отримання гарячого повітря, max = 583,771 тис.грн., оскільки можлива утилізація всієї теплоти, що надходить від відхідних газів термічних печей.

Нагрів води на потреби опалення і ГВП: min = 20,626 тис.грн. - необхідна теплова енергія тільки на ГВП, що складає не більше 7% від загальних витрат підприємства на енергоресурси за рік, . max = 150,326 тис. грн. - сума витрат на опалення та ГВП на рік, що складає в сумі близько 26 % від суми витрат, згідно табл. 2.8.

Зведену таблицю обмежень вартості реалізації кожного заходу в структурі комбінованої системи теплопостачання, не виходячи за межі технічної доцільності їх впровадження наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Обмеження щодо вартості впровадження елементів комбінованої системи теплопостачання

Назва досліду	Max, тис. грн.	Min, тис. грн.
Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари	285,592	92,104
Підігрів повітря на потреби технології	583,771	65,591
Нагрів води на потреби опалення і ГВП	150,326	20,626

Застосовуючи метод планування багатофакторних експериментів з скороченням перебору варіантів, що є потужним засобом підвищення ефективності досліджень і зменшення витрат часу на експеримент, встановлюємо оптимальні співвідношення між джерелами теплоти комбінованої системи теплопостачання. В даному випадку (таблиця 3.2), план з кількістю варіантів 2^{7-4} для восьми факторів, кожен з яких змінюється на двох рівнях, кодованих +1 і -1, з урахуванням обмежень таблиці 3.1.

Таблиця 3.2 Розподіл витрат за методом планування експерименту з урахуванням min та max потужності обладнання

Номер експерименту	Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари, тис.грн	Підігрів повітря на потреби технології, тис.грн	Нагрів води на потреби опалення і ГВП, тис.грн	Сумарні витрати, тис.грн.
1	2	3	4	5
1	285,592	583,771	150,326	1,019,689
2	92,104	583,771	150,326	826,201

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
3	285,592	65,591	150,326	501,509
4	92,104	65,591	150,326	308,021
5	285,592	583,771	20,626	889,989
6	92,104	583,771	20,626	696,501
7	285,592	65,591	20,626	371,809
8	92,104	65,591	20,626	178,321
∑				4792,04

Сума витрат

$$\sum_{i=1}^{8} X_{ij}^2 = 4792{,}04 \text{ тис. грн·рік;}$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії:

- вільний член рівняння:

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} \overline{X}_i}{N} \qquad (3.1)$$

$$B_0 = \frac{4792{,}04}{8} = 599 \text{ тис. грн.;}$$

- Коефіцієнт регресії і-го фактора:

$$B_1 = \frac{\sum_{u=1}^{N} \overline{P}_u S_{iu}}{N} \qquad (3.2)$$

$$B_0 = \frac{1746{,}4}{8} = 218{,}3 \text{ тис. грн;}$$

B_2 =364,857 тис.грн.;

B_3 =93,954 тис.грн.

Таким чином, рівняння регресії має вигляд

Витрати = 599+218,3· $B_{рт}$ +364,857 · $B_{пп}$ +93,954 · $B_{нв}$

У процентному співвідношення коштів між джерелами теплової енергії зобразимо на рисунку 3.1.

$B_{рт}$ = 10%, $B_{пп}$ =64%, $B_{нв}$ =26%

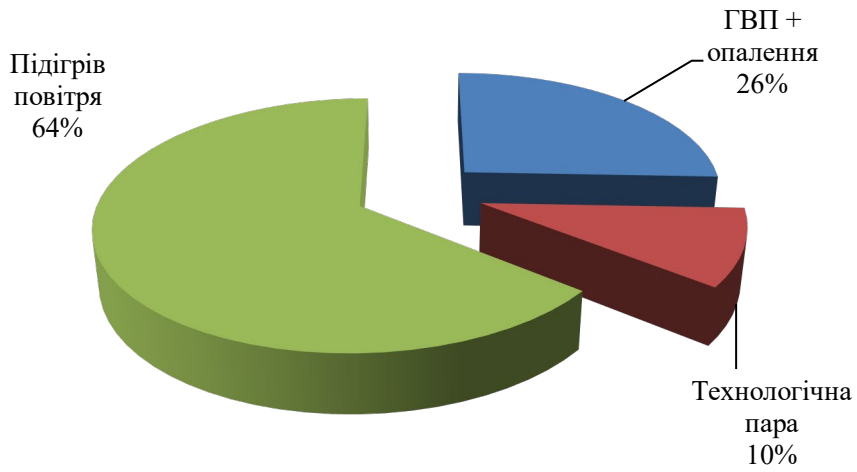


Рисунок 3.1 Співвідношення коштів між джерелами теплової енергії

Термін окупності впровадження комбінованої системи рахуємо за формулою

$$T_{ок} = \frac{K}{E} \tag{3.3}$$

де K- капіталовкладення, тис.грн;

E- економія, тис.грн. ;

$$T_{ок} = \frac{677091}{235028} = 2{,}88 \text{ років.}$$

Таким чином можна зробити висновок, що найбільше витрат припадає на підігрів повітря на потреби технології, менше всього – на нагрів води на потреби опалення і ГВП.

При застосуванні переборного методу можна отримати найбільш економічно - доцільну вартість 1Гкал, для цього планується перебір всіх можливих варіантів сполучення різних джерел теплової енергії. У таблиці 3.3

зобразимо переборний метод з різним процентним співвідношенням частки джерел теплової енергії за вартістю впровадження проекту.

Таблиця 3.3 - Переборний метод із зазначенням вартості проектів

Номер комбінації	Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари	Підігрів повітря на потреби технології	Нагрів води на потреби опалення і ГВП	Всього
	Вартість впровадження, тис. грн.			
1	2	3	4	5
1	171,36	479,31	61,07	711,73
2	209,43	528,47	14,09	751,99
3	133,28	399,42	131,54	684,23
4	95,20	362,55	169,12	686,87
5	57,12	565,34	23,49	695,94
6	247,51	516,18	14,09	777,78
7	152,32	467,02	75,16	694,50
8	114,24	511,71	126,84	752,79
9	38,08	577,63	18,79	694,50
10	285,59	319,54	155,02	760,15
11	228,47	374,84	126,84	730,15
12	76,16	479,31	84,56	690,02
13	114,24	497,74	61,07	693,05
14	133,28	424,00	112,74	690,02
15	266,55	411,71	89,26	767,52
16	218,280	364,857	93,954	677,09
17	228,47	467,02	56,37	751,86
18	38,08	540,76	46,98	625,81
19	171,36	460,87	75,16	707,39

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
20	114,24	485,45	70,47	670,15
21	247,51	417,86	89,26	754,63
22	209,43	442,44	79,86	731,73
23	247,51	436,29	75,16	758,97
24	152,32	473.16	70,47	695,94
25	114,24	516,18	46,98	677,39
26	190,39	522,32	23,49	736,20
27	228,47	497,74	32,88	759,10
28	38,08	583,77	14,09	635,94
29	57,12	559,19	28,19	644,50
30	247,51	362,55	131,54	741,60
31	152,32	516,18	37,58	706,07

Представимо переборний метод з позначенням собівартості виробленої теплової енергії, представленої в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Переборний метод з різних джерел теплової енергії

Номер комбінації	Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари	Підігрів повітря на потреби технології	Нагрів води на потреби опалення і ГВП	Собівартість теплової енергії, грн/Гкал
	Відсоткове співвідношення, %			
1	2	3	4	5
1	9	78	13	860,4
2	11	86	3	847,1
3	7	65	28	843,7
4	5	59	36	841,2

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
5	3	92	5	839,9
6	13	84	3	838,1
7	8	76	16	835,8
8	6	67	27	831,4
9	2	94	4	860,0
10	15	52	33	835,0
11	12	61	27	814,0
12	4	78	18	785,0
13	6	81	13	759,0
14	7	69	24	743,4
15	14	67	19	734,3
16	10	64	26	726,5
17	12	76	12	730,2
18	2	88	10	741,5
19	9	75	16	746,9
20	6	79	15	770,4
21	13	68	19	795,0
22	11	72	17	824,8
23	13	71	16	855,0
24	8	77	15	857,0
25	6	84	10	836,0
26	10	85	5	835,9
27	12	81	7	838,7
28	2	95	3	841,0
29	3	91	6	843,1
30	13	59	28	847,4
31	8	84	8	853,0

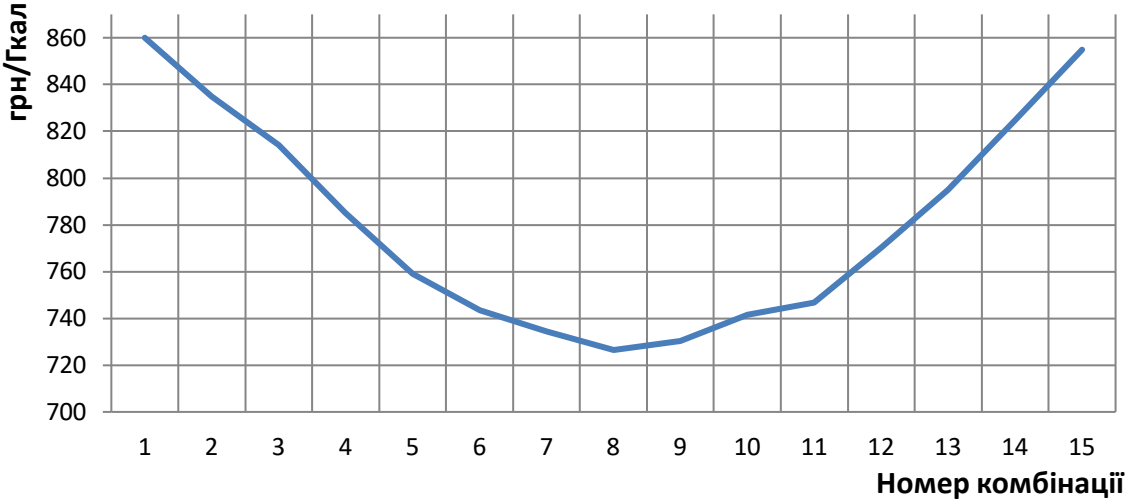


Рисунок 3.2 - Результат методу перебору комбінацій

Таким чином методом перебору за критерієм мінімізації собівартості 1Гкал теплової енергії встановлено оптимальне співвідношення між джерелами теплоти. Витрати її склали: на технологічну пару -10%, ГВП і опалення – 26%, підігрів повітря – 64%.

3.2 Розрахунок економічної доцільності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного обладнання

Як приклад, зроблено розрахунок економічної ефективності утилізації теплової енергії відхідних газів термічного обладнання з перетворенням в технологічну пару. Для парового котла утилізатора розрахункової продуктивності потрібна потужність складає 18750 ккал/год. Вартість об'єму газу, який потрібний для такої потужності 7800 м^3:

$$Вартість = \sum V \cdot тариф = 7800 \cdot 3{,}9 = 30420 \text{ грн.}$$

Капіталовкладення будуть складатися з витрат на котел-утилізатор, 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 капвитрат.

Розрахунок капіталовкладень, грн.:

$$K = K_B + K_{тр} + K_м + K_{ПНР} \quad (3.4)$$

де K_B - вартість обладнання, грн.; $K_{тр}$ - транспортні витрати, грн.; $K_м$ - вартість робіт з монтажу, грн.; $K_{ПНР}$ - вартість робіт з пуско-налагодження, грн.

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

$$K_м = 68000 \cdot 0{,}07 = 4760 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати становлять:

$$K = 68000 + 4760 = 72760 \text{ грн.}$$

Загальні капітальні витрати на ЗКУ:

$$K = 72760 \cdot 3 = 218280 \text{ грн.}$$

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

–річна вигода при експлуатації котлів-утилізаторів типу УПГ-0,3-0,6 складає:

$$E = 35880 \cdot 3 = 107640 \text{ грн.}$$

– коефіцієнт ефективності капіталовкладень:

$$E_p = \frac{107640}{218280} = 0{,}49 .$$

– термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{218280}{107640} = 2{,}03 \text{ років.}$$

Зведені показники впровадження котлів-утилізаторів типу УПГ для попередньо розрахованого відсоткового співвідношення потужностей джерел теплової енергії в умовах ливарного цеху зведено до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Техніко-економічні показники впровадження котлів-утилізаторів типу УПГ в умовах ливарного цеху

№п/п	Економічні показники	Котел-утилізатор типу УПГ
1	Капітальні витрати, грн	218280
2	Економічний ефект, грн	107640
3	Ефективність капіталовкладень	0,49
4	Термін окупності, років	2,03

Вартість системи утилізації теплової енергії відхідних газів термічного обладнання з метою отримання технологічної пари за рахунок впровадження котлів-утилізаторів становить 218,3 тис. грн. За рахунок цієї системи можна знизити споживання природного газу на 23,4 тис. м^3.

Кількість теплової енергії, що виробляється КУ дорівнює 18750 ккал/год., при роботі печей 5200 год/рік, собівартість теплової енергії C_{me} буде становити:

$$C_{me} = \frac{47113}{0{,}01875 \cdot 5200} = 483{,}24 \text{ грн./Гкал}$$

Зведені техніко-економічні показники впровадження котлів-утилізаторів типу КВ для попередньо розрахованого відсоткового співвідношення потужностей джерел теплової енергії в умовах ливарного цеху зведено до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Техніко-економічні показники впровадження водогрійних котлів-утилізаторів типу КВ в умовах ливарного цеху

№п/п	Економічні показники	Котел-утилізатор типу КВ
1	Капітальні витрати, тис. грн	93954
2	Економічний ефект, тис. грн	52588
3	Ефективність капіталовкладень	0,56
4	Термін окупності, років	1,79

Вартість системи утилізації теплової енергії відхідних газів термічного обладнання з метою отримання технологічної пари за рахунок впровадження котлів-утилізаторів становить 93,95 тис. грн. За рахунок цієї системи можна знизити споживання природного газу на 11,6 тис. $м^3$.

3.3 Розрахунок економічних показників впровадження запропонованих заходів в умовах ливарного цеху ПРАТ «ЗТР»

Техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів з енергозбереження з урахуванням структури системи теплопостачання на їх основі та доцільного співвідношення між ними в умовах ливарного цеху ПРАТ «ЗТР» розраховано згідно вищенаведеного алгоритму і зведено до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів з енергозбереження в умовах ливарного цеху ПРАТ «ЗТР»

№ п/п	Економічні показники	Рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари	Підігрів повітря на потреби технології	Нагрів води на потреби опалення і ГВП	Система заходів
1	Капітальні витрати, грн.	218280	364857	93954	677091
2	Економічний ефект, грн.	107640	74800	52588	235028
3	Ефективність капіталовкладень	0.49	0.21	0.56	0.35
4	Термін окупності, років	2.03	4.88	1.79	2.88

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

Отже, на першому етапі, встановлено граничні значення витрат коштів на реалізацію кожного із запропонованих заходів з енергозбереження, виходячи з мінімально можливої і максимально доцільної утилізації для кожного з джерел теплоти. На другому, методом перебору за критерієм мінімізації собівартості 1Гкал теплової енергії встановлено оптимальне співвідношення між джерелами теплоти.

Економічний ефект від запропонованих заходів з енергозбереження в графічному вигляді представлено на рисунку 3.2.

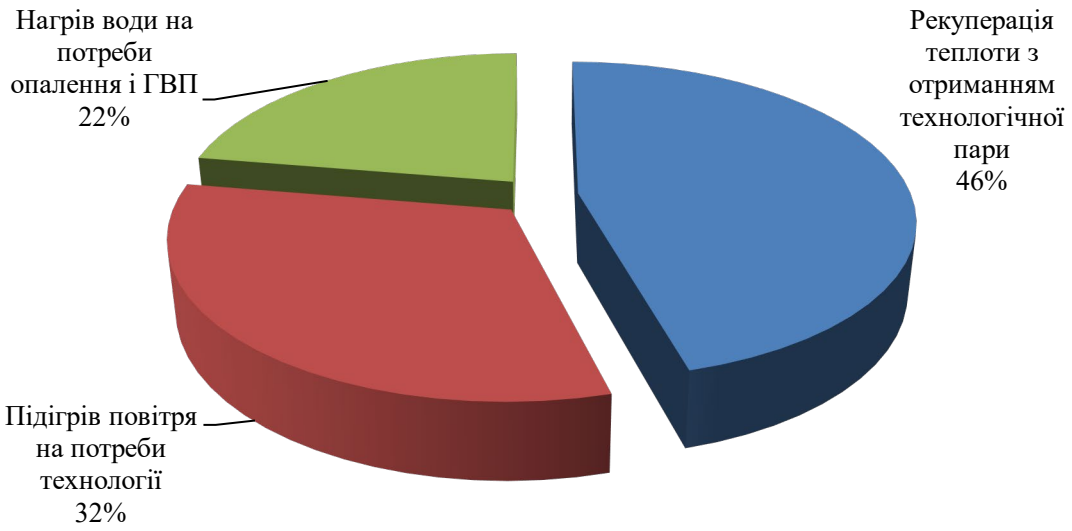


Рисунок 3.2 - Економічний ефект від запропонованих заходів з енергозбереження

Витрати теплової енергії склали: на технологічну пару -10%, ГВП і опалення – 26%, підігрів повітря – 64%. При цьому, технологічна пара забезпечуються на 75%, ГВП і опалення - на 42%, підігрів повітря – 39%. Собівартість 1 Гкал в оптимальній комбінації близько 726,5 грн/Гкал. Термін окупності комбінованої системи склав близько 3 років, що не перевищує нормативне значення

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційних і шкідливих чинників виробничого середовища

В даному дипломному проекті розглядаються питання економічної доцільності заходів підвищення енергоефективності ливарного цеху ПРАТ «ЗТР». Охорона праці при будівництві і експлуатації забезпечується прийняттям рішень у відповідності до відповідних норм і правил.

Виконання будівних, електромонтажних і налагоджувальних робіт виконується у відповідності до діючих правил ПУЕ, а також у відповідності до діючих “Будівельних норм і правил”, які затверджені Держбудом.

В умовах експлуатації обладнання ливарного цеху, існують наступні потенційні небезпеки: комутаційні, імпульсні перенапруги; перехід вищої напруги на сторону нижчої; хибна дія персоналу при оперативних переключеннях; можливість випадкових дотиків до частин, що перебувають під напругою; пошкодження ізоляції електроустановок; короткі замикання в електроустановках.

Обслуговування обладнання цеху здійснюється черговим оперативним персоналом у складі п’яти чоловік. Ремонтно-експлуатаційне обслуговування здійснюється спеціалізованими ремонтними бригадами. Електротехнологічний персонал виробничих цехів і дільниць, що не входить до складу енергослужби, яка здійснює експлуатацію електротехнологічних установок і має групу з електробезпеки II і вище, у своїх правах та обов'язках прирівнюється до електротехнічного; в технічному відношенні вона підпорядковується енергослужбі підприємства.

Керівники, в безпосередньому підпорядкуванні яких знаходиться електротехнологічний персонал, повинні мати групу з електробезпеки не нижче, ніж у підлеглого персоналу. Вони повинні здійснювати технічне керівництво цим персоналом та контроль за його роботою.

У відповідності до ПТЕ для забезпечення норм охорони праці передбачається ряд захисних заходів, направлених на забезпечення безпечних умов праці в ливарному цеху.

Виникнення короткого замикання в електроустановках, може привести до ушкодження обладнання і створити небезпеку ураження людей електрострумом. Для забезпечення безпеки людей та запобігання ушкодження обладнання проектом передбачено такі заходи: розташування обладнання з дотриманням нормативних відстаней між струмоведучими частинами та землею; використання обладнання без конструктивних недоліків; застосування надійного заземлення з відповідною нормативною величиною опору; встановлення релейного захисту окремих елементів обладнання.

4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

Для виключення можливостей випадкових торкань, або небезпечного наближення до струмоведучих частин, відповідно до проекту передбачені наступні заходи згідно з вимогами ПТЕ: індивідуальні засоби захисту від ураження електричним струмом, ізолюючі та вимірювальні електрокліщі; вказівники напруги, ізолюючі пристрої і засоби для ремонтних робіт; діелектричні рукавички, гумові килими, ізолюючі підставки, та переносні заземлення, плакати та попереджувальні знаки. В процесі експлуатації, ізолюючі засоби захисту періодично проходять випробування підвищеною напругою згідно ПТЕ.

Основні небезпечні фактори роботи електромонтера наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого та трудового процесу електромонтера

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового 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 напруженність праці	Категорія середньої важкості 2б; помірно-напружена					

У зв'язку з тим, що ливарний цех віддалений від інших забудов, спеціальні заходи щодо шумозахисту навколишньої території в проекті не застосовуються відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Оскільки вища напруга в цеху не перевищує 1кВ, то

спеціального захисту від електромагнітних полів відповідно до ГОСТ 12.1.006.-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования» не передбачається.

Отже, як видно з таблиці, умови праці відносяться до середньої тяжкості, праця помірно-напружена і потребує заходів з її поліпшення і полегшення.

4.2.1 Природне і штучне освітлення

Приміщення ливарного цеху ВАТ «ЗТР» 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 цеху:

- характер робіт постійне спостереження
- розряд зорової роботи 8
- підрозряд роботи В
- контрастність об'єкта розпізнавання велика
- тіло світле
- коефіцієнт природної освітленості $E_н$ При верхньому і комбінованому. освітленні 0,9%
- коефіцієнт природної освітленості $E_н$ 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. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, тому що різкий контраст між яскраво освітленими і неосвітленими місцями стомлює око сповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків. Для штучного освітлення використовуються стельові лампи типу ДРЛ-150, або світильники типу «Астра». Для місцевого освітлення використовуються лампи накалювання 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 освітлення - 0,5 лк. Зовнішнє освітлення підстанції, що реконструюється виконане прожекторними лампами типу СЗГ, які встановлені на спеціальних щоглах. Світильники типу СЗЛ 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 накалювання. Освітлення чарунок КМ-1 Ф виконано лампами накалювання, які встановлені в стінці чарунки , доступ до яких передбачений лише для персоналу ПС, який повинен дотримуватися усіх вимог з безпеки згідно [2].

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 в ливарному цеху

Робота устаткування, а також пульсація потужного електричного поля всередині печей ливарного цеху створюють шум і вібрацію. Тому існують різні види шуму. Серед них розрізняють механічні (вентилятори, двигуни), аеродинамічні (газоходи, насоси, вентилятори), гідродинамічні (трубопроводи). Найбільший шум - у електролізному цеху, середній - на робочому місці оператора, 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. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» обладнання котельні забезпечено від перевантажень автоматизованою системою керування. Для запобігання ураження електричним струмом при дотику до металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, слід використовувати захисне заземлення. Для розподілення електроенергії котельні встановлюють модульну шафу з автоматичним вимикачем, магнітним пускачем.

Перед пуском електродвигунів, подається попереджувальний сигнал. Особи, що обслуговують електроустановки мають кваліфікаційну групу не нижчу 3-ої. Усі частини, які проводять струм, ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, плівки, емалеві й олійні фарби, а також блокування апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів.

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 Заходи з поліпшення умов праці

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 короби, 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.

Взагалі, в залежності, від характеру діяння ЕМІ на лінії зв’язку і підімкнену до них релейну апаратуру можуть бути рекомендовані наступні способи захисту:

- застосування дводротових симетричних ліній зв’язку, добре ізольованих між собою та від землі;

- виключення застосування однодротових зовнішніх ліній зв’язку;

- екранування підземних кабелів з мідною, алюмінієвою, свинцевою оболонкою або прокладання їх в сталевих конструкціях, трубах;

- електромагнітне екранування блоків та вузлів апаратури;

- використання різного роду захисних вхідних пристроїв і грозозахисних засобів (троси, заземлюючі контури і т. ін.).

Як заходи захисту від прямого дотику застосовані: ізоляція струмоведучих частин; огородження 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 проектовані 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 знаходяться поза зоною досяжності на висоті не менше 3,2 м від рівня землі.

Розподільний пристрій 6кВ і розташоване в окремому приміщенні. Струмоведучі 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

струмоведучих 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 Інженерні рішення щодо забезпечення умов роботи з точки зору електробезпеки

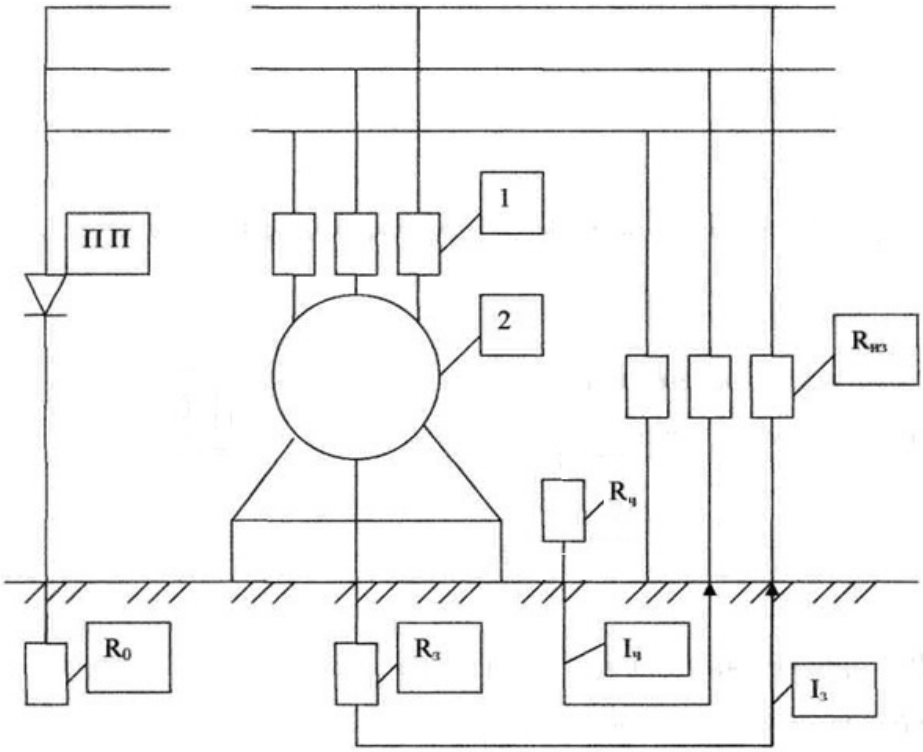
Відкриті провідні частини електроустановки за допомогою захисних провідників повинні бути приєднані до системи заземлення. В цеху застосований тип системи заземлення TN-C.

Захисне заземлення та заземлення системи блискавкозахисту будівель та споруд фабрики здійснюється за допомогою одного спільного заземлювального пристрою. В якості заземлюючих пристроїв використовуються природні і штучні заземлювачі, з'єднані сталевою смугою 40х4. Опір заземлювального пристрою, який є спільним для високовольтних і низьковольтних електроприймачів, не повинно перевищувати 0,5 Ом в будь-який час року.

У кожній споруді виконана основна система зрівнювання потенціалів, яка реалізована шляхом приєднання до головної заземлювальної шини електроустановки таких провідних частин: захисних провідників; заземлювальних провідників пристроїв захисного та блискавко заземлень; металевих труб комунікацій; металевих частин каркаса будинку (споруди) і металевих конструкцій виробничого призначення; металевих частин систем вентиляції та кондиціонування; основних металевих частин будівельних конструкцій; металевих оболонок, екранів і броні кабелів.

Всі з'єднання виконуються зварюванням. Відкрито прокладені магістралі заземлення покриваються антикорозійною фарбою.

Принципова схема заземлення електрообладнання показана на рисунку 4.1.



ПП - пробивний запобіжник;

R_0 - заземлення нульової крапки трансформатора;

$R_з$ - заземлюючий пристрій;

$R_{із}$ - опір ізоляції;

$I_з$ - струм, замикання на землю;

$I_ч$ - струм, що протікає через людину;

1 - плавкі вставки;

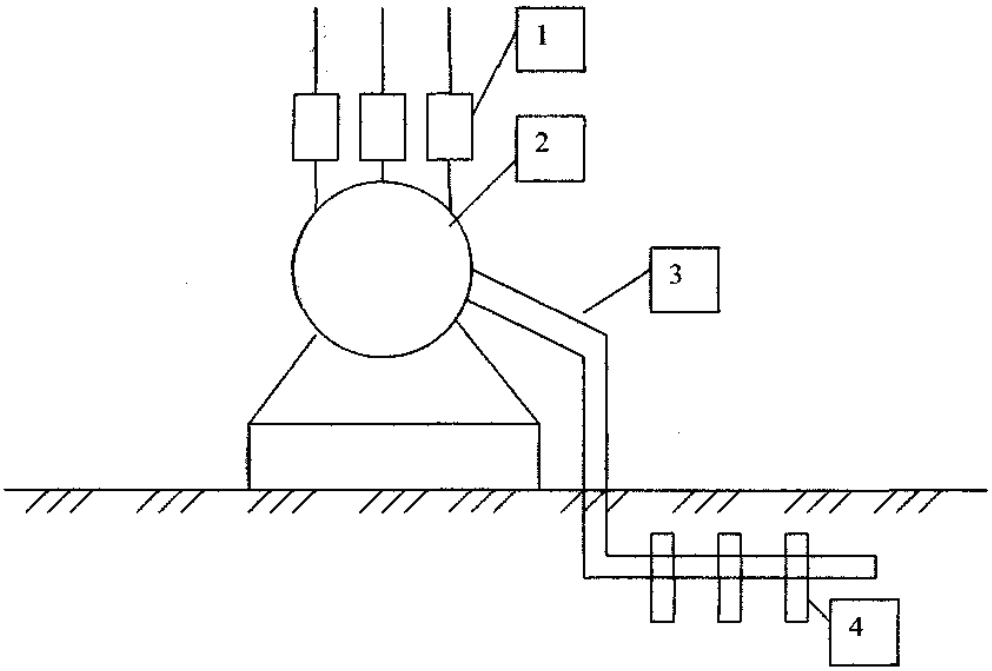
2 - електродвигун

Рисунок 4.1 Принципова схема захисного заземлення

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.

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

Схема заземлюючого пристрою показана на рисунку 4.2.



1 - плавкі вставки;

2 - електродвигун;

3 - сполучна смуга;

4 – трубчасте заземлення

Рисунок 4.2 Виконання заземлюючого пристрою

Глибина розташування середини електрода від поверхні землі:

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

де to – відстань від верхньої точки трубчастого заземлення до поверхні землі, м (t0= від 0,5 до 1 м).

У нашому випадку t0= 0,5 м.

По-перше розрахуємо: $t = 0.5 + \frac{10}{2} = 5.5$ м;

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

де RE – опір розтіканню струму одного вертикального електроду, Ом

з – питомий опір грунту 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 RE:

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

Знайдену величину *Re* порівнюємо з допустимим опором заземлюючого прибудую *Rдоп*.

Re (9,07 Ом) > *Rдоп* (4 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:

$$n' = \frac{R_e}{R_{доп}} \tag{4.2}$$

де *Rдоп* – 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:

$$n = \frac{n}{\eta_e}, \tag{4.3}$$

де - коефіцієнт використання вертикальних електродів, який враховує обопільне екранування.

Для вибору цього коефіцієнту приймаємо значення відношення відстані між електродами до їх довжини «параметр але і вибираємо зо залежно від попередньої кількості заземлень *n1* і «параметру а».

Приймемо *a = 1*. Заземлення розміщені в ряд. Тоді,:

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

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

$$L = a \cdot n \cdot l, \tag{4.4}$$

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:

$$R_ш = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t_0} \right] \tag{4.5}$$

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 $R_з$, який складається з опору вертикальних електродів і опору сполучної штиби:

$$R_з = \frac{R_е \cdot R_ш}{R_е \cdot \eta_ш + R_ш \cdot \eta_l \cdot n} \qquad (4.6)$$

де - коефіцієнт використання сполучної штиби; $\eta_ш = 0{,}72$.

Розраховуємо загальний опір заземлюючого пристрою $R_з$:

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

Набуте значення $R_з$ порівнюємо з $R_{доп}$.

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

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

4.7 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. Ливарний цех має два евакуаційних виходи в протилежних боках будівлі. Двері зі службових і допоміжних приміщень відкривається убік цеху. Мається також два пожежних сходи.

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

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 СНиП2.01.02-85 “Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений” приймається II. До будівель і споруд забезпечуються під’їзди пожежних машин.

Таблиця 4.2 – Первинні засоби вогнегасіння на підстанції

Найменування Споруди	Найменування та тип засобів вогнегасіння	Кіл-сть шт.
ВРУ – 35 кВ	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».

4.8 Охорона навколишнього середовища

Стан навколишнього середовища в Україні викликає серйозну стурбованість, оскільки є результатом економічних помилок і екологічних прорахунків, оскільки вже не можливе самовідновлення і самоочищення природного середовища, йде активна деградація і небезпечне знищення запасів природних ресурсів [10]. .

У зв'язку з цим сформульовані основні шляхи виходу України з важкої екологічної кризи:

- розробка комплексних програм по охороні природи на основі моніторингових спостережень;
- збільшення витрат на охорону природи і прискорення темпів будівництва природоохоронних об'єктів
- заборонення відступу від проектів, які завдають шкоди навколишньому середовищу і інше.

Проектовані об'єкти системи електропостачання фабрики, шкідливих джерел впливу на навколишнє середовище не мають.

Електрообладнання цеху за технологічним процесом воду і повітря не споживає, тому викидів забруднюючих атмосферу і воду немає.

Електромагнітне випромінювання від електрообладнання та кабельних ліній промислової частоти знаходиться в межах допустимих санітарних норм СН 245-75.

Радіаційне випромінювання від установлюваного електрообладнання, підвищує природний фон відсутній.

Низький рівень шуму і вібрації від встановленого електрообладнання забезпечується їх конструктивними рішеннями за рахунок низької потреби механічної енергії і становить 20 дБ, що не перевищує допустимі норми по СНіП II-12-77 «Захист від шуму".

При будівництві максимально зберігаються зелені насадження і рослинний покрив у місцях спорудження фундаментів і установки опор, після будівництва зелені насадження і рослинний покрив відновлюється.

При аварійних ситуаціях у проектованій системі електропостачання відсутні шкідливі викиди небезпечні для життя і здоров'я людей.

Враховуючи екологічну безпеку об'єкта, заходи з охорони навколишнього середовища не передбачаються.

ВИСНОВКИ

Використання вторинних енергетичних ресурсів є одним з основних напрямків енергозбереження та економії паливо-енергетичних ресурсів в Україні. Тому одним з найважливіших завдань є їх економічно обґрунтоване використання.

ПрАТ «Запоріжтрансформатор» відноситься до енергоємних підприємств із значним споживанням енергоресурсів, для якого проблема енергозбереження і зниження енергоємності продукції є актуальною. Теплова енергія на підприємстві виробляється власною котельнею, інші – покупні. Одним з основних енергоємних цехів підприємства є ливарний цех. Основним видом споживаного енергоресурсу для якого є теплова енергія, яка переважає над іншими видами. Крім того, виходячи з аналізу технології виробництва, на заводі і в ливарному цеху, зокрема, наявний величезний потенціал вторинних енергоресурсів, які в даний час не використовуються і безповоротно втрачаються. При цьому енергія, не використовувана в технологічному процесі, не просто розсіюється, але, як правило, викидається разом з газами, що відходять в атмосферу забруднюючи навколишнє середовище. Таким чином, утилізація ВЕР важлива не тільки з точки зору енергозбереження, але і з позицій охорони природи.

Основним споживачем енергії і, в той же час, головним джерелом вторинних енергоресурсів в ливарному виробництві є плавильні та нагрівальні печі. Більшість зазначених агрегатів мають тепловий ККД на рівні (35-45)%, а у термічних печах, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі, всього 7-12%

Так, в цеху крім допоміжного обладнання, встановлено три нагрівальні прохідні печі, які призначені для нагріву заготівок і є найбільшим джерелом вторинної теплоти цеху. Одним з пріоритетних напрямів енергозбереження в печах є утилізація теплоти димових газів на виході з їх робочого простору.

Отже, виходячи із специфіки підприємства та теми магістерської роботи було вирішено наступні завдання – досліджено джерела вторинної теплоти ливарного цеху зазначеного підприємства і визначено можливість її використання для технологічних та інших потреб; запропонувано заходи з енергозбереження на об’єкті виходячи з економічної доцільності їх впровадження; визначено структуру та послідовність впровадження запропонованих заходів з енергозбереження, а також розраховано оптимальне співвідношення між їх тепловою потужністю; визначено економічні показники комбінованої системи теплоутилізації.

Оскільки, в ливарному цеху теплова енергія використовується на різні потреби і в різних співвідношеннях (пара – 9%, опалення і ГВП – 19 і 7%, відповідно, і майже 38 % витрат припадає на забезпечення технологічного процесу в печах шляхом спалювання природного газу), було розглянуто і запропоновано кілька напрямів підвищення енергоефективності цеху, а саме:

- рекуперація теплоти з отриманням технологічної пари;
- підігрів повітря для технологічних цілей;
- нагрів води для потреб опалення і гарячого водопостачання.

Кожен з них має свої особливості і технічні засоби, вибір визначається економічними показниками й конкретними заводськими умовами. Найбільш ефективним є об'єднання систем, які реалізують в собі всі перераховані способи утилізації ВЕР, що дозволяє довести ККД установки до 75-80%. Однак, найбільш раціональним було б визначити оптимальну послідовність та співвідношення між запропонованими напрямами утилізації виходячи з їх економічної доцільності.

Розглянувши перелічені напрями утилізації теплоти встановлено, що отримання пари повинно проводитись в першу чергу, оскільки процес є високотемпературним із зниженням температури відхідних газів в середньому до 400°С; за допомогою повітряпідігрівачів температура газів на виході знижується до 180-220°С, а водопідігрівачі дозволяють використовувати

низькотемпературні гази, що і визначає структуру запропонованої комбінованої системи утилізації.

Отже, в роботі було проведено розрахунок запропонованої комбінованої системи теплопостачання і методом перебору визначено оптимальні частки розподілу теплового навантаження між джерелами теплової енергії: технологічною парою, гарячим повітрям і нагрівом води на потреби опалення і водопостачання. Для цього, на першому етапі, встановлено граничні значення витрат коштів на реалізацію кожного із запропонованих заходів з енергозбереження, виходячи з мінімально можливої і максимально доцільної утилізації для кожного з джерел теплоти. На другому, методом перебору за критерієм мінімізації собівартості 1Гкал теплової енергії встановлено оптимальне співвідношення між джерелами теплоти. Витрати її склали: на технологічну пару -10%, ГВП і опалення – 26%, підігрів повітря – 64%. При цьому, технологічна пара забезпечуються на 75%, ГВП і опалення - на 42%, підігрів повітря – 39%. Собівартість 1 Гкал в оптимальній комбінації близько 726,5 грн / Гкал. Термін окупності комбінованої системи склав близько 3 років, що не перевищує нормативне значення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

2. Пак Г.В. Котельні установки промислових підприємств. Тепловий розрахунок промислових котельних агрегатів. – Братськ, 2002. – 68 с.

3. Соколов Є.Я. Теплофікація та теплові мережі: Підручник для вузів. – 6-е вид., перероб. – Київ: МЕІ, 1999. – 472 с.

4. Аронов І.З. Використання тепла уходящих газів газифікованих котелень. – Київ: Енергія, 1967.

5. Рівкін С.Л., Олександров А.А. Термодинамічні властивості води та водяної пари: Довідник. 2-е вид., перероб. і доп. – Київ: Енергоатоміздат, 1984. – 80 с.

6. Каганович Б.М., Філіпов С.П. Ефективність енергетичних технологій. – Новосибірськ: Наука, 1989. – 256 с.

7. Григор'єв А.В. Промислова теплоенергетика та теплотехніка. – Київ: Енергоатоміздат, 1991. – 584 с.

8. Естеркін Р.І. Промислові парогенеруючі установки. – Ленінград: Енергія, 1980. – 400 с.

9. Жидицький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников А.В. Основи охорони праці. Підручник. 2-е вид., доп. – Львів: Афіша, 2000. – 351 с.

10. Луговий А.В., Чорний А.П. Питання практичного енергозбереження промислових підприємств // Проблеми створення нових машин і технологій: Зб. наукових праць КГПІ. – Вип. 1. – Кременчук: КГПІ, 1998. – С. 5-13.

11. Савельєв І.Н., Нікітін К.Г. Економічний аналіз. – Київ: Наука, 1995. – 198 с.

12. Праховник А.В., Соловей А.І. Енергетичний менеджмент. – Київ: НТУУ "КПІ", 2001. – 472 с.

13. ГОСТ 12.2.007.0-75 – «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги електробезпеки».

14. ДБН В.1.1-7-2002 – «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

15. СНіП 3.05.06-85 – «Електротехнічні пристрої».

16. ДСТУ 2339-94 – «Енергозбереження. Основні положення».

17. ГКД 341.004.001-94 – «Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ».

18. Баланчевадзе В.І., Барановський А.І. та ін. За ред. А.Ф. Дьякова. Енергетика сьогодні і завтра. – Київ: Енергоатоміздат, 1990. – 344 с.

19. Ліпкін Б.Ю. Електропостачання промислових підприємств та установок.

20. Енергоаудит: Збірник методичних і науково-практичних матеріалів / За ред. К.Г. Кожевникова, А.Г. Вакулка. – Київ: "Енергоресурсозбереження", 1999. – 224 с.

21. Бакалін Ю.І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. – Харків: КДПУ, 2002. – 200 с.

22. Кноринг Г.Н. Освітлювальні установки. – Ленінград: Енергоаудит, 1981. – 288 с.

23. Богословський В.Н., Сканаві А.Н. Опалення: Підручник для вузів. – Київ: Стройіздат, 1991. – 456 с.

24. Козін В.Е., Левіна Г.А. та ін. Теплозабезпечення. – Київ: Вища школа, 1980. – 315 с.

25. Хабрахманов А.Р. Вентиляційне обладнання. Опалювальне обладнання. – Москва: Енергоаудит, 1981. – 288 с.

26. Немцев З.Ф., Арсеньєв Г.В. Теплоенергетичні установки та теплозабезпечення: Підручник для вузів. – Київ: Енергоіздат, 1982. – 310 с.

27. Ананьєв В.А., Балуєва Л.Н. Системи вентиляції та кондиціонування.

28. Щекин Р.В. Справочник по теплозабезпеченню і вентиляції. – Київ: Строїтель, 1968. – 289 с.

29. Методичні вказівки до виконання організаційної та економічної частини дипломних проектів для студентів ЗДІА спеціальності 7.09010 «Теплоенергетика» / Укл. Л.С. Сердюк. – Запоріжжя, 2005. – 28 с.

30. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

31. Пак Г.В. Котельні установки промислових підприємств. Тепловий розрахунок промислових котельних агрегатів. – Братськ, 2002. – 68 с.

32. Соколов Є.Я. Теплофікація та теплові мережі: Підручник для вузів. – 6-е вид., перероб. – Київ: МЕІ, 1999. – 472 с.

33. Аронов І.З. Використання тепла уходящих газів газифікованих котелень. – Київ: Енергія, 1967.

34. Рівкін С.Л., Олександров А.А. Термодинамічні властивості води та водяної пари: Довідник. 2-е вид., перероб. і доп. – Київ: Енергоатоміздат, 1984. – 80 с.