

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(голова назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності сорто-заготівельного стану в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1442
спеціальності 144 Теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Теплоенергетика

(назва освітньої програми)

Гурський І.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник д.т.н., проф., Пазюк М.Ю.

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

Рецензент ст. викл. Таратута В.О.

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

Заперіжжя

2023

**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., доц.  В.Л. Коваленко
« _____ » _____ 2023 року

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

Гурському Іллі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності сорто-заготівельного стану в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь»

керівник роботи Газюк М.Ю., д.т.н., професор

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

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с _____

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.



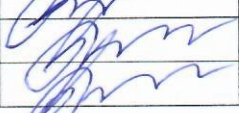
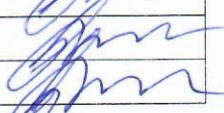
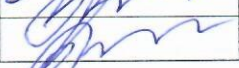
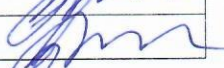
3 Вихідні дані до роботи: середньодобове споживання електроенергії цехів передільного виробництва; електроспоживання основного обладнання прокатного цеху; встановлена потужність цехів передільного виробництва, споживання палива основним обладнанням прокатного цеху; схема сорто-заготівельного стану 1050.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Прокатне виробництво та перспективи підвищення енергетичної ефективності сорто-заготівельного стану 2) Заходи з підвищення енергоефективності процесу прокату металу на сорто-заготівельному стані 3) Техніко-економічне обґрунтування.

5 Перелік графічного матеріалу 1) енергетичне обстеження цехів передільного виробництва 2) аналіз ефективності енергоспоживання прокатного цеху 3) схема сорто-заготівельного стану 1050 4) схема повторного використання тепла 5) в

енергетичний баланс повторного використання тепла 6) економічне обґрунтування енергозберігаючих заходів 7) дослідження залежності параметрів системи повторного використання теплової енергії 8) комплексний техніко-економічний розрахунок показників запропонованих заходів 9) висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
Розділ 2	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
Розділ 3	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		

7 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Прокатне виробництво та перспективи підвищення енергетичної ефективності сорто-заготівельного стану	30.09.2023	
2	Заходи з підвищення енергоефективності процесу прокату металу на сорто-заготівельному стані	15.10.2023	
3	Техніко-економічне обґрунтування	25.11.2023	

Студент  І.О. Гурський
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи М.Ю Пазюк.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гурський І.О. Підвищення енергоефективності сорто-заготівельного стану в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник Пазюк М.Ю. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2023.

Розглянуто актуальність підвищення енергетичної ефективності сорто-заготівельного стану за рахунок вдосконалення системи транспортування електричної енергії, а також модернізації електроприводу та системи управління технологічним процесом.

Для модернізації системи нагріву прокату запропоновано повторно використовувати енергію, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження. Виконано техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження заходів з підвищення енергоефективності.

Ключові слова: ЕКТРОПРИВІД, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ОПТИМАЛЬНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ, РЕКУПЕРАТИВНИЙ НАГРІВАЛЬНИЙ КОЛОДЯЗЬ, ТЕПЛООБМІННИК, КОЛОДЯЗЬ УПОВІЛЬНЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ, СОРТОВИЙ ПРОКАТ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Gursky I.O. Improving the energy efficiency of the billet mill in the conditions of PJSC "Dniprospestal".

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 144 – Heat Power Engineering, supervisor Pazyuk M.Y. Zaporizhia National University.

Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, 2023.

The urgency of increasing the energy efficiency of the sort-harvesting mill by improving the system of transportation of electric energy, as well as the modernization of the electric drive and the process control system is considered.

To modernize the heating system of rolled products, it is proposed to reuse the energy discharged in slow-cooling wells. A feasibility study of the effectiveness of the implementation of measures to improve energy efficiency was carried out.

Keywords: ELECTRIC DRIVE, ENERGY CONSUMPTION, OPTIMAL OPERATING MODE, RECUPERATIVE HEATING WELL, HEAT EXCHANGER, SLOW COOLING WELL, LONG PRODUCTS, ENERGY EFFICIENCY

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Прокатне виробництво та перспективи підвищення енергетичної ефективності сорто-заготівельного стану.....	8
1.1 Аналіз енергетичного аудиту підприємства	8
1.2 Енергетичне обстеження прокатного цеху.....	13
1.3 Характеристика системи електропостачання.....	20
1.4 Оцінка фактичного стану електричної та механічної частини електричного приводу стану 1050.....	22
2 Заходи з підвищення енергоефективності процесу прокату металу на сорто-заготівельному стані	42
2.1 Модернізація системи нагріву прокату шляхом повторного використання енергії, що відводиться у колодязях.....	42
2.2 Підвищення енергоефективності електроприводу стану	82
3 Техніко-економічне обґрунтування	84
3.1 Розрахунок показників ефективності модернізації системи нагріву прокату.....	85
3.2 Дисконтовані показники ефективності заходів з підвищення енергоефективності процесу прокату металу на стані 1050.....	99
Висновки	113
Перелік посилань	114

ВСТУП

Нині Україна є однією з провідних країн-виробників металургійної продукції у світі. Продукція металургійного комплексу є основою індустріалізації національної економічної системи загалом. Металургійний комплекс забезпечує виробництво таких конструкційних матеріалів, як чавун, сталь, видобуток і виплавку алюмінію, прокат тощо.

В Україні вже сформувалися усталені технології виробництва та прокату металу, якими користуються металургійні підприємства й до сьогодні. Прокатні вироби у залежності від виду прокату поділяються на чотири групи: сортовий прокат, листовий, спеціальний прокат, труби. Сортний прокат складає 43 % в долі експорту прокатної продукції досягнувши рівня 4 277 млн. т продукції на рік. У прокатному виробництві енергоємність продукції перевищує світові показники більш, ніж на 35%.

Згідно з наказом щодо галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 року визначено, що оптимальним шляхом рішення проблеми підвищення енергоефективності прокатного виробництва є його інвестиційно-інноваційний розвиток. Завдяки такому вибору забезпечується комплексний розвиток галузі за рахунок реалізації заходів, направлених на технічне оновлення виробництва, використання науково-технічного потенціалу країни і формування високотехнологічного виробництва.

Для підвищення енергоефективності процесу прокату металу впроваджують наступні енергозберігаючі заходи:

- модернізація системи нагріву прокату шляхом повторного використання енергії, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження;
- модернізація електроприводу сорто-заготівельного стану;
- впровадження системи управління технологічним процесом прокату.

1 ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СОРТО-ЗАГОТІВЕЛЬНОГО СТАНУ

1.1 Аналіз енергетичного аудиту підприємства

Підприємство було засноване в 1932 році в місті Запоріжжя, як частина потужного державного металургійного комплексу. Сьогодні ПАТ «Дніпроспецсталь» - ключовий виробник сортової неіржавіючої сталі на ринках СНД, а в Україні – безперечний лідер в даному сегменті.

Першим директором заводу інструментальних сталей (первинна назва заводу), що керував ним аж до початку 60-х років, був Олександр Трегубенко, металург, лауреат Ленінської премії. На його честь названа одна з вулиць Запоріжжя. Заводу було присвоєно ім'я А. Н. Кузьміна - міністра чорної металургії СРСР, одного з перших директорів Запоріжсталі [19].

У 2012 році була запущена газоочистка в електросталеплавильному цеху № 3, після реконструкції був запущений цех з виробництва феромолібдена. Електрометалургійний завод "Дніпроспецсталь" ввів в експлуатацію пилогазоочисного споруди турецької компанії CVS Makina для відбору та фільтрації викидів від дугових печей в сталеплавильному цеху №3 СПЦ-3.

У довідкових матеріалах до пуску газоочистки наголошується, що введене в експлуатацію нове обладнання дозволить "Днепроспецсталі" здійснювати відбір і фільтрацію викидів від забруднюючих технологічних джерел, оскільки існуючі газоочисні установки СПЦ-3, введені в експлуатацію в 70-х роках минулого століття, вже не відповідають екологічним вимогам до очищення технологічних газів в результаті експлуатації сталеплавильних агрегатів [16].

У рамках програми з виведення Запоріжжя з екологічної кризи "Дніпроспецсталь" планує забезпечити очищення технологічних газів

відповідно до нормативів екологічного нагляду за рахунок використання сучасної газоочисної установки з рукавними фільтрами. Частка СПЦ-3 в загальному обсязі виплавленої продукції становить 65%.

На жаль, криза теж не обійшов «Дніпроспецсталь» стороною. Зменшення кількості замовлень після серйозного стрибка 2007 - 2008 років змусило підприємство коригувати свою роботу відповідно до нової ринкової ситуацією. Завод зумів уникнути зупинки, оптимізував виробництво і навіть знайшов інвестиції для проведення модернізації в умовах кризи (установка в травні нової лінії фінішної обробки продукції Loeser в прокатному цеху).

Виробництво сталі на ДСС представлено чотирма сталеплавильними цехами, де встановлені основні електродугові печі відкритого типу ємністю від 55 до 60 т, індукційні печі ємністю 4 і 8 т, печі електрошлакового (ЕШП) і вакуумно-дугового (ВДП) переплавки. Застосовуючи ці технології, ДСС отримує злитки вагою від 0,6 до 7,4 т і листові злитки вагою від 8,9 до 14,7 т.

У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч ємністю 4 тонни. Для виробництва більш ніж 30 марок швидкорізальної та інструментальної сталі, що задовольняє вимогам стандартів ГОСТ, DIN, ASTM, застосовується процес ASEA-STORA (холодне і гаряче ізостатичне пресування при температурі 1100-1150°C і тиску 1000атм)[20].

У сталеплавильному цеху №2 встановлений аргонно-кисневий конвертер для виробництва сталі дуплексним методом: виплавка ведеться у відкритій печі електродуги, після чого продування в конвертері і обробка на установці піч-ківш, що дозволяє отримати низьковуглецеву корозійностійкої нержавіючу сталь. Цех обладнаний індукційної піччю ємністю 8 т для виробництва жароміцних сталей і спеціальних сплавів.

У сталеплавильному цеху №3 отримують високоякісну сталь шляхом обробки напівпродукту на установці піч-ківш з подальшим вакуумуванням розплаву в вакууматора фірми Mannesmann Demag. Сталеплавильний цех №5 обладнаний печами ЕШП і ВДП різної ємності, що дозволяють виробляти зливки вагою 0,9-6 т і листові злитки вагою 9,3-20 т.

Технологія ЕШП передбачає переплави із застосуванням хімічно активного шлаку, що забезпечує отримання сталі і спеціальних сплавів, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: авіаційної, оборонної, а також теплової та атомної енергетики.

Передільне виробництво ДСС представлено прокатним цехом, до складу якого входять: сорто-стан заготовки 1050 і сортові стани 550 і 325, калібрувальним цехом, ковальським цехом, ковальсько-пресовим цехом, цехом ад'юстажної обробки металу і термічним цехом. Вся продукція, діаметром більше 20мм, підлягає ультразвуковому контролю відповідно до стандарту EN10308.

У калібрувальному цеху ДСС виробляють круглі холоднотягнуті прутки діаметром 2 – 45мм, круглі прутки із спеціальною обробкою поверхні діаметром 1,9 – 50мм і калібровані прутки шестигранного перетину, діаметром вписаного кола 12 – 46мм.

Великогабаритні поковки круглого, квадратного і прямокутного перерізу з різних марок сталі є продукцією ковальсько-пресового цеху. У цеху встановлені гідравлічні преси зусиллям 60МН і 32МН, оснащені 5-ти і 10-ти тонними маніпуляторами. У цеху знаходяться ділянки для термообробки, правки та оздоблення поковок, а також для ультразвукового контролю якості.

Ковальський цех виробляє продукцію з високоміцних інструментальних сталей і сплавів, швидкорізальних і нержавіючих марок сталі, також спеціалізується на виробництві прутків з важко деформуються легованих марок сталі. У цеху встановлено дві радіально-кувальні машини номінальним зусиллям 10МН і 3,4МН.

У термічному цеху і на відповідних ділянках передільних цехів виконуються нормалізація і різні види відпалу металопродукції.

Цех ад'юстажної обробки металу проводить механічну обробку поверхні прутків діаметром 20–200 мм, остаточна обробка прутків зі спецобробкою до кола 160 мм виробляється на верстаті RPS 327. У цеху

встановлено дві лінії для обточування та спеціальної обробки поверхні. Тут проходять заключну обробку прутки, що надходять з прокатних станів 550, 325 і 280, а також ковальського і ковальсько-пресового цехів [15].

На сорто-заготівельному стані 1050 прокатного цеху із злитків вагою 3,6-6,5 т отримують заготовку для подальшої прокатки на сортових станах, а також виробляють прутки діаметром 130–280мм. Сортіві прокатні стани 550 і 325 випускають продукцію діаметром від 8 до 130мм, з поверхнею в стані після прокатки або механічно оброблену. За даними енергоаудита підприємства був складений баланс середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва, який зведений до таблиці 1.1 за якою була побудована діаграма середньодобового споживання електроенергії, яка відображена на рисунку 1.1.

Таблиця 1.1 – Баланс середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва

№ з/п	Назва цеху	Споживання електроенергії	
		кВт·год	%
1	Термічний цех	9000	3,19
2	Калібрувальний цех	12570	4,46
3	Ковальсько-пресовий цех	18800	6,67
4	Обдирне відділення ковальського цеху	6400	2,27
5	Ковальський цех	20000	7,1
6	Ділянка підготовки сирого матеріалу	30900	10,97
7	Прокатний цех	150000	53,25
8	Цех ад'юстажної обробки металу	4000	1,42
9	Енергосиловий цех	30000	10,65
Разом		281670	100

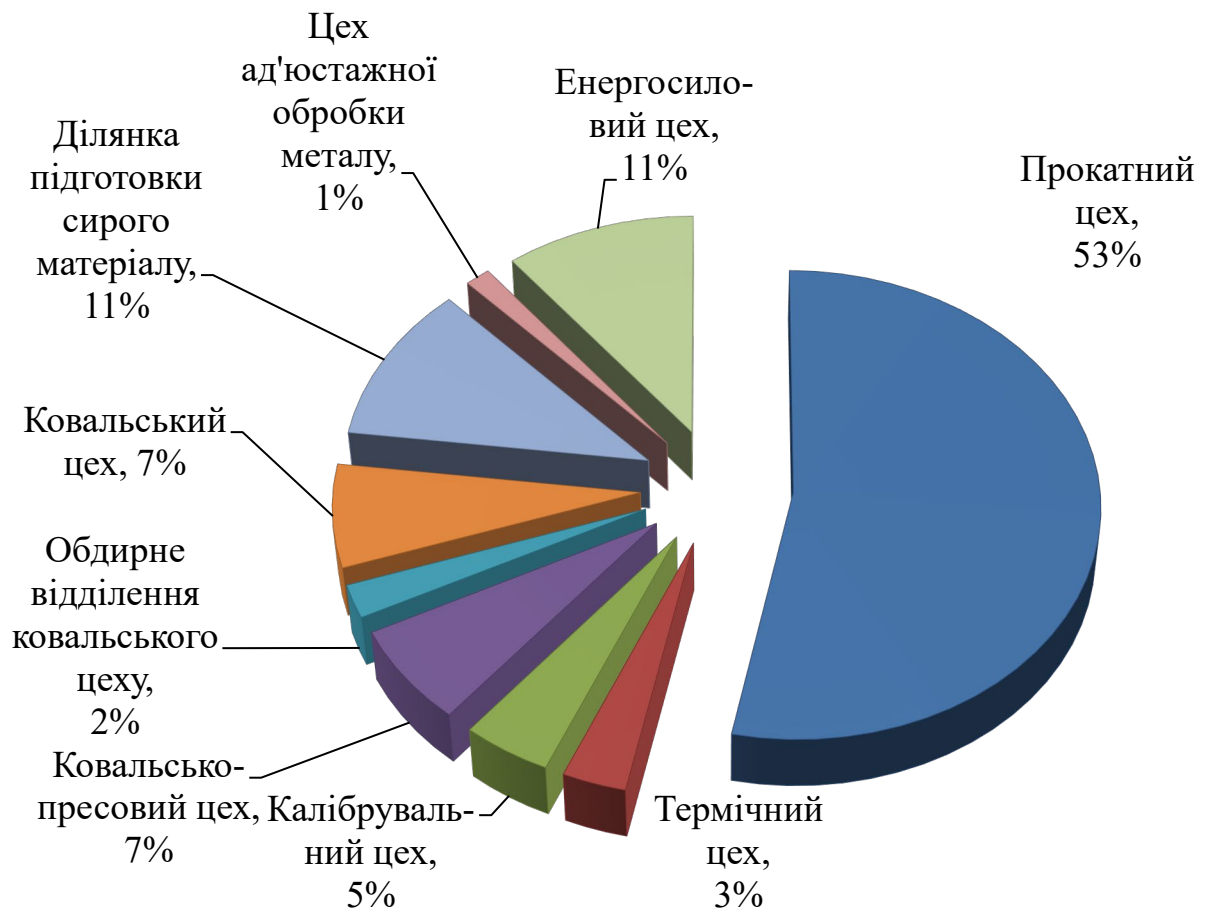


Рисунок 1.1 – Діаграма середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва

Проаналізувавши діаграму середньодобового споживання електроенергії по КТП цехів передільного виробництва виявлено основного електроспоживача – прокатний цех, баланс середньодобового споживання електроенергії по КТП якого склав 53% від загально цехового споживання на підприємстві.

Згідно з отриманими даними енергоаудита ПАТ «Дніпроспецсталь» проведено аналіз встановленої потужності споживачів цехів підприємства. Дані аналізу представлені в таблиці 1.2.

Аналіз діаграми показав, що прокатний цех має найбільшу встановлену потужність серед цехів передільного виробництва. Оскільки в прокатному цеху виявлене найбільш енергоємне виробництво доцільно провести його енергетичне обстеження, що дозволить виявити вузьке місце.

Таблиця 1.2 – Встановлена потужність цехів передільного виробництва

Назва цеху	Встановлена потужність P , кВт	
	Напруга U , 0,4 кВ	Напруга U , 6 кВ
Прокатний цех	44042	30500
Ковальський цех	4592	1260
Термічний цех	1628	-
Калібрувальний цех	3256	1500
Ділянка підготовки сирого матеріалу	833	-
Енергосиловий цех	22902	17150
Цех ад'юстажної обробки металу	3200	-
Ковальсько-пресовий цех	1820	7000

1.2 Енергетичне обстеження прокатного цеху

До складу прокатного цеха до входять: сорто-заготівельний стан 1050 і сортові стани 550 і 325, цех ад'юстажної обробки металу, обдирка, травлення та фінальна обробка.

На сорто-заготівельному стані 1050 прокатного цеху із злитків вагою 3,6-6,5 т отримують заготовку для подальшої прокатки на сортових станах, а також виробляють прутки діаметром 130–280мм.

Сортові прокатні стани 550 і 325 випускають продукцію діаметром від 8 до 130мм, з поверхнею в стані після прокатки або механічно оброблену.

Обробка поверхні продукції здійснюється на безцентрових обдирних верстатах в ході повністю механізованого процесу. На ділянці обробної лінії прокатного цеху обробка прутків діаметром 120-280 мм всього марочного сортаменту заводу вагою до 2,6 тонн [13].

Цех ад'юстажної обробки металу проводить механічну обробку поверхні прутків діаметром 20–200 мм, остаточна обробка прутків зі спецобробкою до кола 160 мм виробляється на верстаті RPS 327. У цеху встановлено дві лінії для обточування та спеціальної обробки поверхні. Тут проходять заключну обробку прутки [22].

За даними енергетичного аудиту прокатного цеху складена таблиця 1.3 з описом основного обладнання та аналізом його електроспоживання. За даними таблиці побудована діаграма електроспоживання основного обладнання прокатного цеху, яка зображена на рисунку 1.2.

Таблиця 1.3 – Основне обладнання прокатного цеха

№ з/п	Назва	Рік виробництва	Потужність, тис.кВт	Робочий час, год/рік	Споживання електроенергії, тис.кВт год/рік
1	Стан 1050	1961	16,5	3893	64240
2	Стан 550	1960	5,2	1946	10122
3	Стан 325	1963	4,8	1825	8760
4	Ад'юстаж лінії обробки 80-180	1972	2,3	2920	6716
5	Ад'юстаж заготовки	1972	1,08	486	525
6	Ад'юстаж мілкового сортаменту	1970	0,56	1703	953
7	Ад'юстаж великого сортаменту	1970	0,58	2433	1411
8	Обдирка	1974	0,87	559	486
9	Травлення	1974	0,15	97	146
10	Фінальна обробка	2008	0,9	3893	3504

Виробництво сортового прокату енергоємний процес в якому обладнання прокатного цеху витрачає різні види енергії. Для визначення пріоритетного напрямку енергомодернізації процесу прокату металу необхідно дослідити всі енергоресурси, що споживає основне обладнання

прокатного цеху. Якісний аналіз надасть можливість вибору одного чи декількох об'єктів подальшого дослідження.

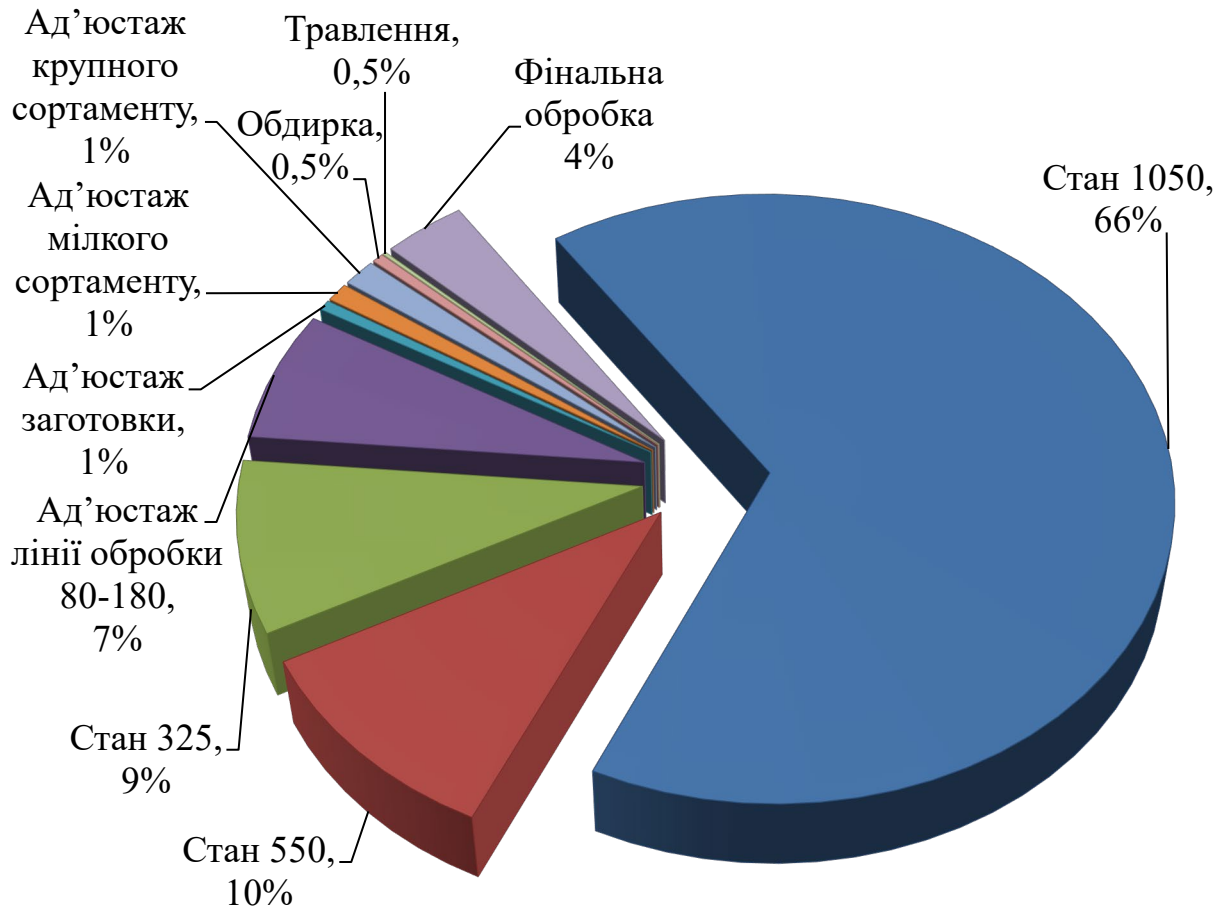


Рисунок 1.2 – Електроспоживання основного обладнання прокатного цеху

За даними енергетичного аудиту складений оперативний звіт витрат палива у прокатному цеху за звітний період січень 2014 року, який відображений в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Витрати палива у прокатному цеху

Споживачі	Споживання палива	
	За планом, т.у.п.	Фактичне, т.у.п.
Стан 1050	1527,4	1959
Стан 550	333,3	344
Стан 325	215,6	133
Лінія обробки	49,5	140

На рисунку 1.3 відображена діаграма яка відображає витрати палива основного обладнання у прокатному цеху.

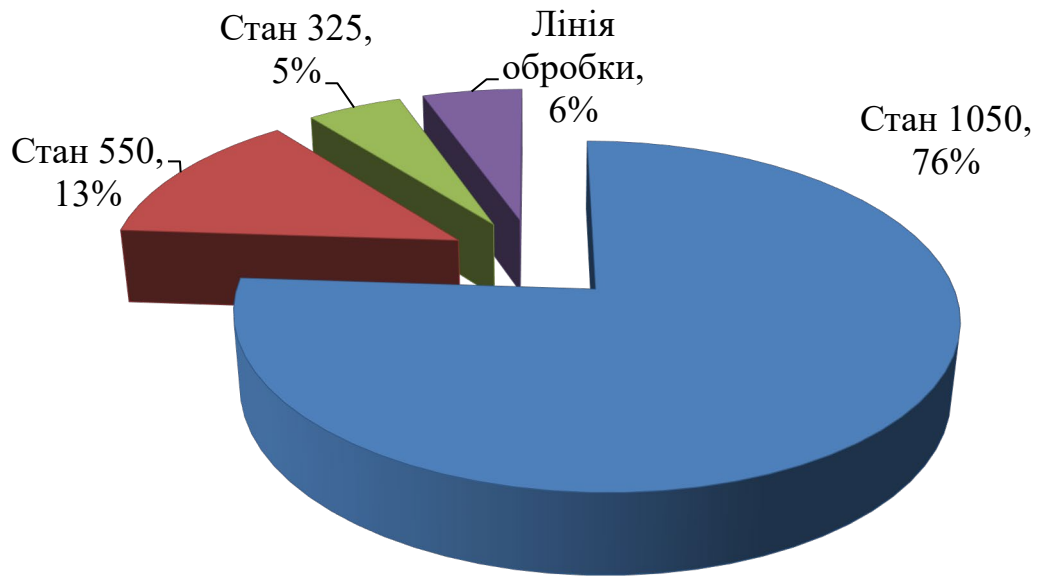


Рисунок 1.3 – Витрати палива основного обладнання прокатного цеху

Стиснене повітря на підприємстві виробляє своя власна компресорна станція. Система подачі стислого повітря до місця споживання загальна для всього прокатного цеха. Вона підтримує тиск стислого повітря 4 амт. кг·с/м².

Проаналізувавши дані енергоаудита прокатного цеху за січень 2014 р складена таблиця 1.5, яка відображає структуру споживання стисненого повітря обладнанням прокатного цеха. На рисунку 1.4 зображена діаграма структури споживання стисненого повітря обладнанням прокатного цеха.

Таблиця 1.5 – Структура споживання стисненого повітря

Споживачі	Споживання за планом			Споживання фактичне		
	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн
Стан 1050	829,1	173,71	144	820,8	263,34	216,2
Стан 550	116	173,69	20,1	114,8	263,34	30,2
Стан 325	128,2	173,75	22,3	127	263,64	33,4
Лінія обробки	694,3	173,71	120,6	679,3	263,34	178,9
Ад'юстаж заготовки	697,5	173,71	121,2	689,9	263,34	181,7
Ад'юстаж дрібного сорту	132,2	173,72	23	130,3	263,34	34,3
Ад'юстаж великого сорту	563,6	173,7	97,9	554	263,34	145,9

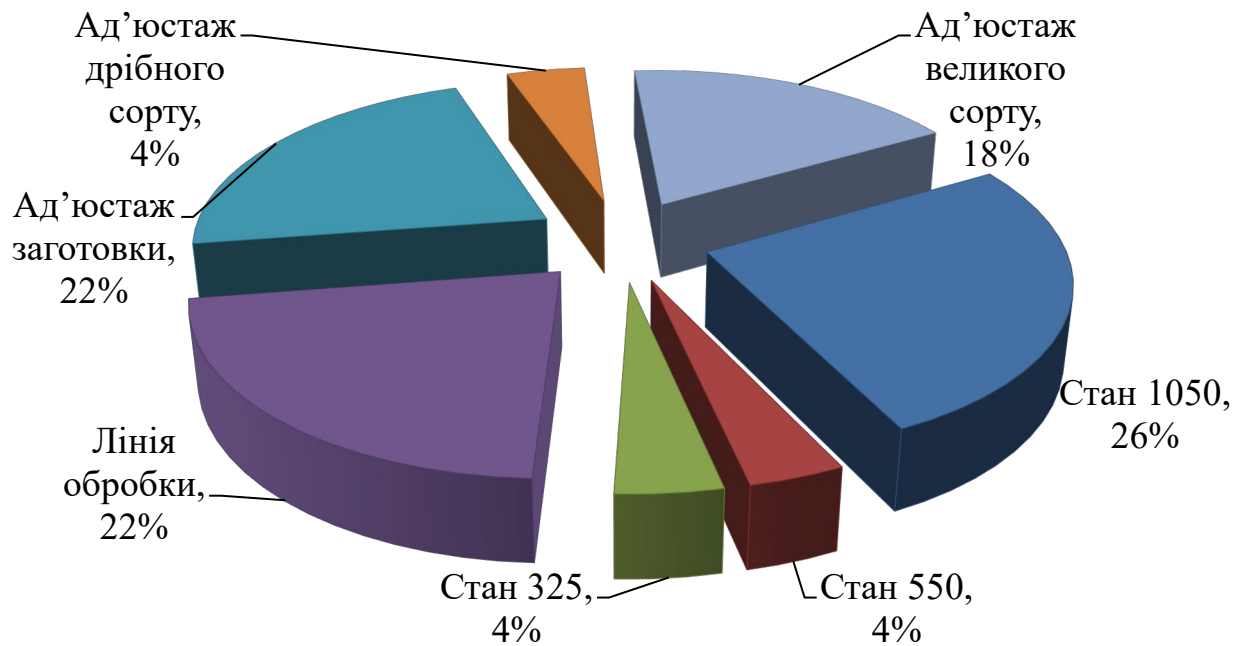


Рисунок 1.4 – Структура споживання стисненого повітря

Ще одним важливим енергоресурсом на підприємстві є пара. Дані енергоаудита прокатного цеху за січень 2014 р представлені у таблиці 1.6, які відображають структуру споживання пари обладнанням прокатного цеха.

Таблиця 1.6 – Структура споживання пари

Споживачі	Споживання за планом			Споживання фактичне		
	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн
Стан 1050	364	753	274	332	1080	358
Стан 550	92	753	69	84	1080	90,7
Стан 325	92	753	69	84	1080	90,7
Лінія обробки	209	753	157	190	1080	205,2
Ад'юстаж заготовки	137	753	103	125	1080	135
Ад'юстаж дрібного сорту	127	753	95,7	116	1080	125,3
Ад'юстаж великого сорту	166	753	125	151	1080	904

На рисунку 1.5 зображена діаграма структури споживання пари обладнанням прокатного цеха.

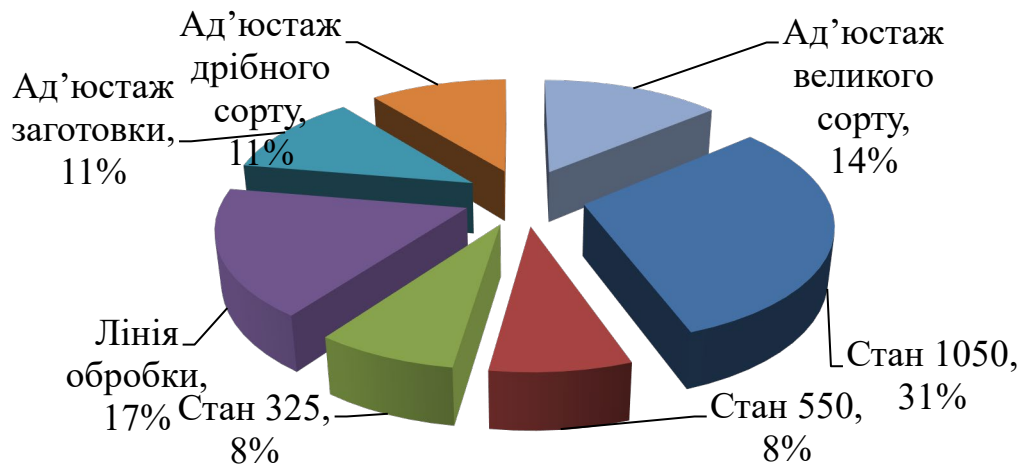


Рисунок 1.5 – Структура споживання пари

Для охолодження частин основного обладнання, що нагріваються під час технологічного процесу, використовують технічну воду. Також її використовують для охолодження гарячих блюмів, які виходять з блюмінга та станів. На підприємстві є своя власна свердловина [26].

Проаналізувавши енергоаудит прокатного цеху дані споживання технічної води обладнанням прокатного цеху представлені у таблиці 1.7, яка відображає структуру. Згідно з таблицею побудована діаграма (рисунок 1.6).

Таблиця 1.7 – Структура споживання технічної води

Споживачі	Споживання за планом			Споживання фактичне		
	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн	Кількість, тис.м ³	Ціна, грн/ тис.м ³	Сума, тис.грн
Стан 1050	156	650	102	207	650	17509
Стан 550	57	650	38	283	650	184
Стан 325	31	650	20	71,3	650	46,4
Лінія обробки	2	650	1,3	16	650	10,4
Адж'юстаж заготовки	1,8	650	1,2	16	650	10,4
Адж'юстаж дрібного сорту	0,6	650	0,4	3	650	2
Адж'юстаж великого сорту	2,3	650	1,5	5	650	3,3

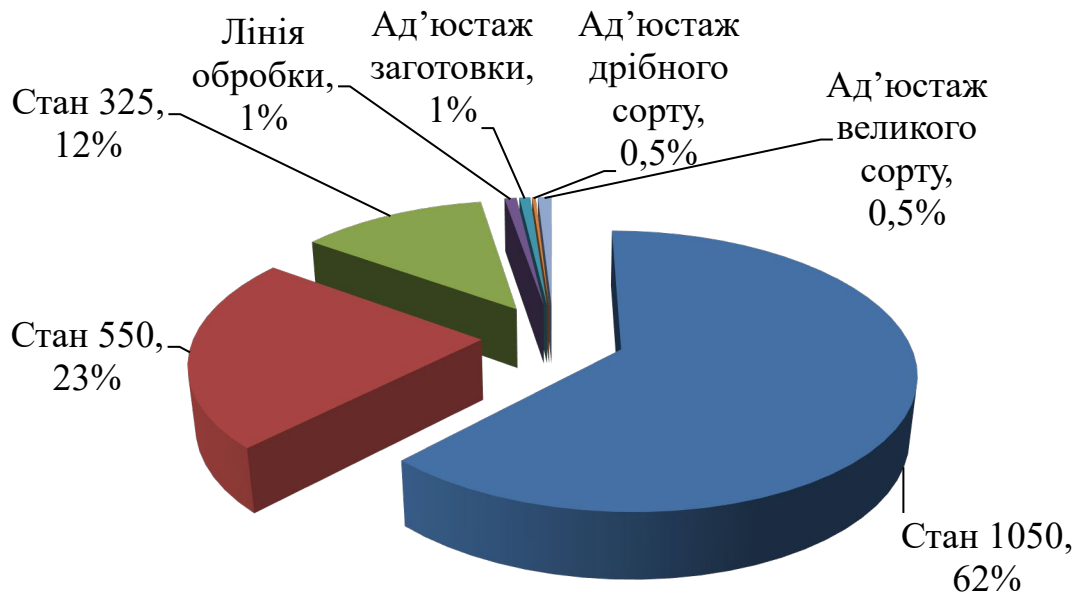


Рисунок 1.6 – Структура споживання технічної води

Згідно з аналізом енергоаудита прокатного цеху основним споживачем енергетичних ресурсів є сорто-заготівельний стан 1050. Доля електроспоживання складає 66%, палива - 76% , стисненого повітря - 26%, пари - 31%, технічної води стан споживає 62 % від загально споживання прокатного цеху.

Проаналізувавши дані по енергоспоживанню побудована діаграма споживання енергоресурсів сорто-заготівельним станом 1050, яка зображена на рисунку 1.7.

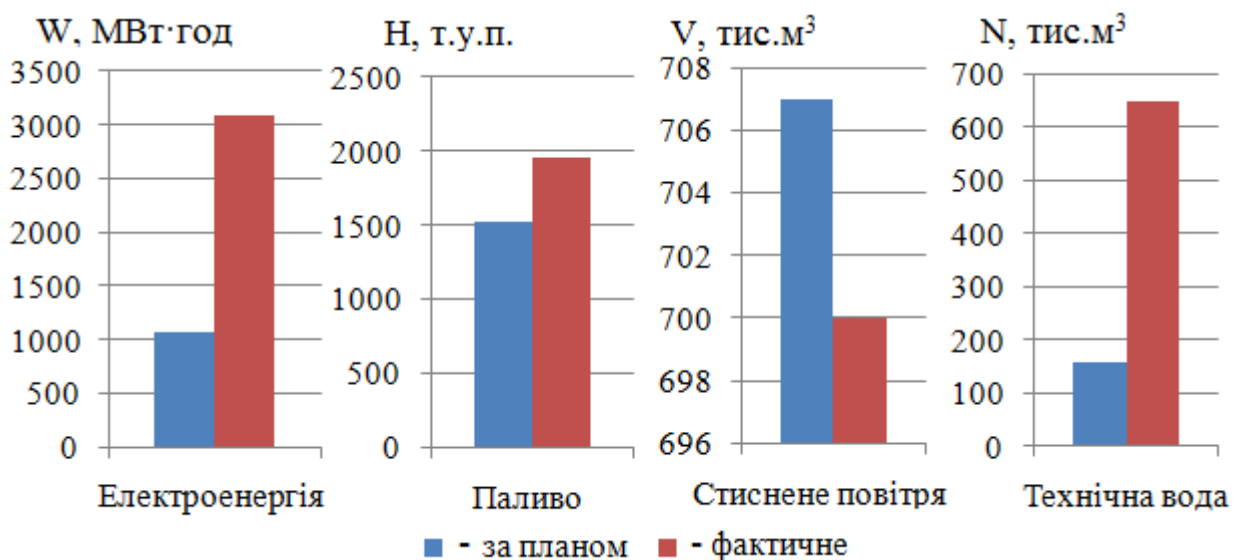


Рисунок 1.7 – Планове та фактичне енергоспоживання сорто-заготівельним станом 1050

1.3 Характеристика системи електропостачання

Електроспоживачами прокатного цеху на напругу 0,4 кВ є: правильні машини, верстати, допоміжні механізми станів (550, 325), обтискна кліть стану 1050, допоміжні механізми району пил, вентиляція металевих печей ад'юстажу, вентиляція печі, вентиляція нагрівальних колодязів, ад'юстаж дрібного сорту, головний привід обтискної кліті стану (325, 550), головна і центральна частина стану 1050, ножиці, крани, освітлення (внутрішнє, робоче і аварійне) [23].

Електроприймачі 0,4 кВ отримують живлення від внутрішньоцехових підстанцій 6/0,4 кВ.

Для аналізу постачання електроенергії до стану 1050 складемо схему електричних потоків від головної підстанції на підприємстві, до стану 1050.

На рисунку 1.8 відображена схема електричних потоків від головної підстанції на підприємстві до сорто-загівельного стану 1050.

Усі елементи, що складають систему електропостачання до стану 1050, у тому числі електричні лінії й трансформатори, мають активні опори. Тому при передачі, розподілі й перетворенні електричної енергії відбуваються її втрати [12].

Більша частина втрат енергії в мережах припадає на електричні лінії й трансформатори, і звичайно в практичних розрахунках враховують втрати тільки в цих електроустановках.

Для знаходження шляхів з підвищення енергоефективності сорто-загівельного стану 1050 виявимо основних електроспоживачів сорто-загівельного стану 1050. В таблиці 1.8 представлені основні електроспоживачів сорто-загівельного стану 1050 та характеристики їх двигунів.

На сорто-загівельному стані 1050 прокатного цеху із злитків вагою 3,6 - 6,5 т отримують заготовку для подальшої прокатки на сортових станах, а

також виробляють прутки діаметром 130-280мм. Стан складається з двох лінійно розташованих клітей - обтискної і заготівельної.

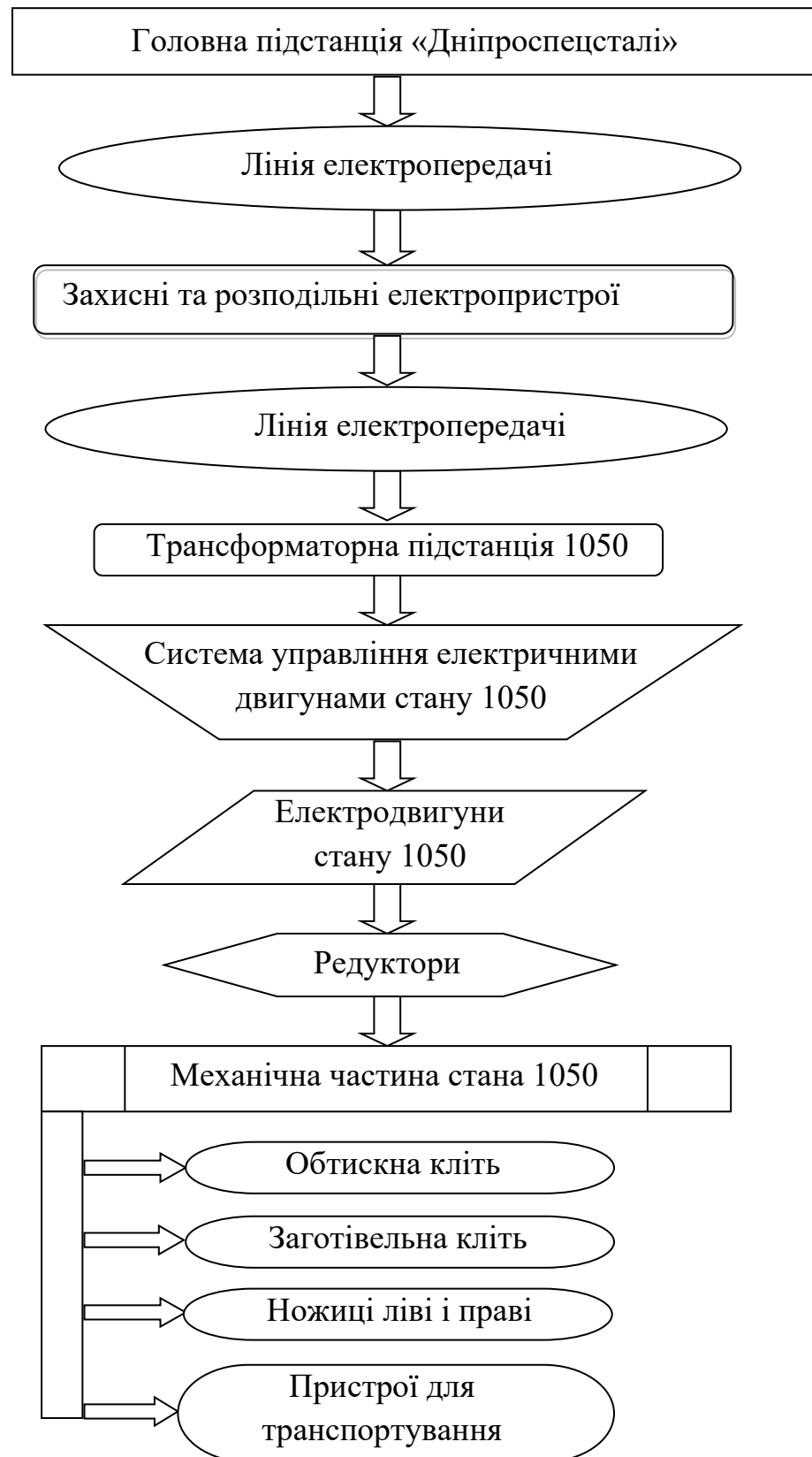


Рисунок 1.8 – Схема постачання електроенергії до стану 1050

Таблиця 1.8 – Основні електроспоживачів сорто-заготівельного стану

Основні електроспоживачі стану 1050	Потужність двигуна, кВт	Кількість двигунів, шт	Тип двигуна	Швидкість обертання, об/хв
Обтискна кліть	3550	2	П-22-150-УХЛ4	45 ÷ 90
Заготівельна кліть	3300	2	П-22-125-9К	60 ÷ 120
Ножиці 1250 т	1600	2	П - 21 - 55 - 9К	100 ÷ 300
Ножиці 900 т	280	2	П - 143- 6К	700 ÷ 1400
Пили району гарячих ножиць	185	2	Д - 818 - У2	450
Злитковіз	135	1	ДП - 95	470

Розглянемо детально технологічні характеристики основних агрегатів сорто-заготівельного, що надасть змогу виявити витрати та втрати електричної енергії в електричних та механічних частинах приводу стану 1050.

1.4 Оцінка фактичного стану електричної та механічної частини електричного приводу стану 1050

Для виявлення ефективності режимів обробки заготовок проведемо аналіз ділянки робочих клітей.

Підвідний рольганг - призначений для передачі злитків з транспортного рольганга на робочий і є продовженням робочого рольганга перед кліттю.

Розкатний рольганг - розташований паралельно підвідному і 3-й секції транспортного рольганга. Довжина розкату рольганга 17520 мм.

Робочі рольганги і станини ролики обтискної кліті розташовані з передньої і задньої сторони кліті і служать для завдання розкату в валки і прийому їх з валків. Передній робочий рольганг складається з 9 цільнокованих роликів з кроком 600 мм. Задній робочий рольганг має 7 роликів. Кругова швидкість роликів $1 \div 3,5$ м/с. Станини ролики по два ролика з кожного боку розташовані безпосередньо в станинах кліті [25].

Маніпулятор призначений для направлення розкату з калібру в калібр і правки розкату.

Кантувач призначений для кантування на 90° злитків (розкатів).

Технічна характеристика маніпулятора:

- тип приводу лінійок - електричний;
- довжина лінійок - 5500 мм;
- максимальний робочий роз'єм - 2100 мм;
- максимальне зусилля правки, - 400 кН;
- робочий хід правих лінійок - 1800 мм;
- робочий хід лівих лінійок - 1950 мм;
- швидкість пересування лінійок, - 1 м/с;
- висота правих лінійок - 700 мм;
- висота лівих лінійок - 860 мм;
- тип кантувача - крюкової з кривошипно-рейковим приводом;
- кількість кантуючих гаків - 4 шт;
- вертикальний підйом кантуючих гаків - максимальний 860 мм;
- число підйомів гаків в хвилину - 5.

Охолодження і змащування проводиться водою. Вертикальна установка валку проводиться натискним пристроєм. Швидкість переміщення верхнього валку 135 -180 мм/с. Урівноваження верхнього валку - гідравлічне. Максимальний роз'єм валків 750 мм. Маса врівноважує деталей 40 т. Тиск в гідроциліндрі 100 кг/см². Осьове регулювання верхнього валку виконується вручну за допомогою пристрою для осьового переміщення. Робочі валки виготовлені зі сталі 60ХН.

Обтискна робоча кліть складається з двох станин закритого типу. За умовами міцності станин обтискної кліті стану зусилля прокатки в першому калібрі не повинно перевищувати 10500 кН, що відповідає зусиллю на ліву станину 8000 кН [28]. Характеристика валків кліті наведені в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Характеристика робочих клітей стану 1050

Кліть	Розмір		Довжина бочки валку, мм	Маса валку, т
	Діаметр бочки валків, мм	Діаметр шийки валків, мм		
Обтискна	1050	640	2250	19,5
Заготівельна	950	600	2330	17,35

Заготівельна кліть - двовалкова реверсійна. Швидкість прокатки заготівельної кліті до 5,5 м/с. Валки виготовлені зі спеціального чавуну, шийки валків обертаються в текстолітових підшипниках. Для змащення і охолодження шийок валків до текстолітовими вкладишів підведена вода, а також проводиться подача густого змазування для запобігання шийок валків від корозії.

Установка верхнього валку проводиться натискним пристроєм. Максимальна висота підйому верхнього валку 200 мм зі швидкістю 5,95 мм/с. Врівноваження верхнього валку гідравлічне.

Кліть має станини відкритого типу, перевалка валків здійснюється касетою за допомогою крана. Налаштування валків виробляється безпосередньо в кліті.

Підпільні кантувачі - розташовані під підйомними столами з передньої і задньої сторони заготівельної кліті і призначені для кантування розкату перед завданням в калібр на 45° або 90°, а також для переміщення розкату від одного калібру до іншого.

Ножиці гарячого різання тиском 900 т з нижнім різом призначені для обрізки й порізки прибуткової частини злитку, а в разі необхідності, при

прокатці твердих марок сталі - для обрізки донної частини перед прокаткою на заготівельній кліті. Ножиці розташовані в лінії обтискної кліті на відстані 19700 мм від осі стану.

Привід ножиць від двох електродвигунів через редуктор.

Технічні характеристики приводу ножиць:

- потужність кожного двигуна 280 кВт;
- швидкість обертання 700 - 1400 об/хв.;
- кількість різів за хвилину на першій швидкості - 6, на другій швидкості – 11;
- максимальний перетин розрізу - квадрат 300 мм на першій швидкості при температурі металу не менше 800°C;
- роз'єм ножів - 385 мм;
- довжина ножів - 1000 мм;
- висота верхнього ножа над крайкою рольгангу - 350 мм.

Ножиці 900 т обладнані скидачем обрізу з ножів. Для скидання обрізу в жолоб під рольганг за ножицями є відкидний ролик. Кількість ходів важеля скидача в хвилину - 16. Максимальна маса шматка скидається обрізу 270 кг.

Ножиці обладнані конвеєром скрапного типу для збирання обрізків. Скрапний конвеєр має довжину 38600 мм і рухається в тунелі зі швидкістю 0,107 м/с [29].

На пластинчастих ланцюгах конвеєра закріплені скребки в кількості 39 шт, на яких одночасно може перебувати до 7 т обрізків.

Конвеєр скидає обріз через завантажувальний жолоб в спеціальні коробки, які встановлені на поворотному колі діаметром 4600 мм. Вантажопідйомність поворотного круга 40 т, швидкість переміщення 0,06 м/с.

Ножиці зусиллям 1250 т ліві і праві призначені для розрізання розкату на мірні довжини, відрізки проб, а також передніх і задніх кінців розкату.

Технічна характеристика:

- максимальне зусилля різання - 1250 т;

- максимальний розріз перетину - 220·220 мм;
- температура розрізаної смуги - не менше 700°C;
- хід ножів - 300 мм; довжина ножів - 600 мм;
- перекриття ножів - 15 мм;
- розміри перетину ножа - 80·240 мм;
- тип врівноваження плазунів - вантажне;
- електродвигун приводу ножів П - 21 - 55 - 9К -1600 кВт;
- кількість двигунів - 2 шт;
- число різів за хвилину - до 12;
- врівноважування шпинделя - вантажне;
- діаметр шпинделя - 550 мм.

Ножиці складаються з наступних основних механізмів: ножиці; привід ножиць; шпиндель з врівноважувачем. Під час роботи ножиць ножі охолоджуються водою.

Конвеєр прибирання обрізків від ножів призначений для прибирання обрізків в короба.

Технічна характеристика:

- кількість обрізу, що транспортується за годину, - 49 т;
- маса обрізу що транспортується на горизонтальній ділянці - 4,7 т;
- швидкість пересування стрічки, - 0,105 м/с;
- кількість скребків - 27 шт;
- крок скребків, - 27·3000 і 3·2500 мм;
- максимальна маса відрізка - 200 кг;
- електродвигун приводу: потужність, - 30 кВт;
- швидкість обертання - 715 об/хв.

Роторні пили гарячого різання призначені для різання в гарячому стані квадратних і круглих заготовок з вуглецевої і легованих сталей.

Технічна характеристика:

- кількість установок - 2 шт;
- габарити установки - 10270·6355·4950 мм;

- зовнішній діаметр диска - 2000/2500 мм;
- діаметр диска після переточування - 1800/2410 мм;
- товщина диска - 10/12 мм;
- швидкість подачі диска на різ - $0,5 \div 2$ м/с;
- швидкість різання, - $80 \div 120$ м/с;
- максимальний перетин розрізу - 360 мм;
- мінімальна температура розрізання заготовки: від 80 мм до 270 мм - 800°C ; від 270 мм до 360 мм - 900°C .

В основу роботи покладено принцип кругового переміщення водилом, що обертає пилковий диска в площині, перпендикулярній осі прокату.

Відвідний рольганг розташований за робочим рольгангом обтискної кліті, має довжину 8400 мм і служить для транспортування розкату до 900 - тонних ножиць. Складається з 8 роликів з кроком 1200 мм. Ролики мають окружну швидкість $1 \div 4$ м/с [25].

Передавальні шлеппери, встановлені за 900 - тонними ножицями, призначені для передачі розкату на лінію заготівельної кліті. Передавальні шлеппери складаються з п'яти шлепперних доріжок зі шлепперними візками і сталевими канатами з кроком 2400 мм. Хід візків 8600 мм зі швидкістю 1,2 м/с. Загальна довжина шлепперного поля 14000 мм.

Здвоєний рольганг, що знаходиться на шлепперним полем заготівельної лінії, має довжину 15600 мм і складається з 13 і 14 роликів. Ролики обертаються зі швидкістю 3,7 м/с і 5,22 м/с. Довжина бочки роликів 700 мм і 1500 мм. Діаметр у всіх роликів 350 мм, крок - 600 мм.

Рольганг перед заготівельною кліттю загальною довжиною 16040 мм складається з 15 роликів з кроком 1035, 1100, 1200 мм. Окружна швидкість роликів $1 \div 5,5$ м/с. Діаметр бочки роликів 380 мм, довжина - 2400 мм.

Розподільчий рольганг розташований в лінії заготівельної кліті за здвоєним рольгангом, його довжина 61200 мм. Призначений для транспортування розкату на передавальні шлеппери, які розташовані за ножицями із зусиллям різі 1250 т.

Розподільчий рольганг складається з 2 секцій: 1 секція довжиною 23700 мм з 20 роликами і має швидкість обертання роликів 5,22 м/с; 2 секція довжиною 37500 мм з 32-ма роликами має швидкість роликів 3,71 м/с. Крок роликів обох секцій - 1200 мм, діаметр - 350 мм, довжина бочки - 600 мм.

Рольганги перед ножицями із зусиллям різку 1250 т призначені для подачі розкату до ножиць [32].

Технічна характеристика (на один рольганг):

- кількість роликів - 3 шт;
- крок роликів - 700 мм;
- діаметр: бочки ролика - 350 мм;
- довжина бочки - 600 мм;
- кругова швидкість роликів - 3,7 м/с;
- електродвигун: потужність - 21 кВт;
- швидкість обертання - 660 об/хв.

Приймальна ділянка.

Злитковіз призначений для транспортування злитків від нагрівальних колодязів до приймального рольгангу і для укладання зливків на приймальний рольганг.

Злитковіз складається з двох механізмів: механізм пересування; механізм перекидання люльки.

- швидкість пересування злитковозу - до 5,86 м/с;
- швидкість підходу злитковозу до упору - 0,4 м/с;
- час перекидання люльки - від 3 с до 3,5 с.

В даний час існує, на жаль, ще багато недоліків в технологічному процесі прокатки на блюмінгу 1050. Має місце велика невідповідність профілерозмірів. Це відбувається через застаріле обладнання [35].

1.5 Аналіз енергетичних потоків процесів нагрівання та охолодження сорто-заготівельного стану

До складу сорто-заготівельного стану входять нагрівальні колодязі та колодязі уповільненого охолодження. До складу сорто-заготівельного стану входять 24 нагрівальні колодязі 1,2 та 3 групи. Рекуперативний нагрівальний колодязь, площею подину $18,7 \text{ м}^2$ призначений для нагріву злитків гарячого та холодного посаду з спеціальних сталей перед прокаткою їх на обтискному стані. Колодязі уповільненого охолодження розташовані в двох прольотах. Вони призначені для уповільненої охолодження металу після прокатки на стані 1050 [3]. В прольоті, розташованому перпендикулярно лінії стану, знаходяться 18 колодязів для охолодження заготівельного прокату, ємність яких 200 т і розміри $5,0 \cdot 5,0 \cdot 2,0 \text{ м}$. За пилами стану 1050 розташовані 18 колодязів ємністю 100 т і 140 т, розмірами $5,0 \cdot 2,5 \cdot 2,0 \text{ м}$ і $7,0 \cdot 2,5 \cdot 2,0 \text{ м}$ відповідно для охолодження сортового прокату, а також гартівна ванна з водою розмірами $7,5 \cdot 2,0 \cdot 2,2 \text{ м}$.

1.5.1 Технологічний опис нагрівальних колодязів

Проаналізуємо процес нагрівання злитків у нагрівальних колодязях для визначення енергетичних потоків процесів нагрівання та охолодження сорто-заготівельного стану. У рекуперативних колодязях тепло відхідних продуктів горіння використовується для безперервного нагрівання повітря і газу в керамічних рекуператорах[1]. Продукти горіння, проходять по трубах рекуператорів, повітря і газ - між трубами. Колодязь опалюється природно-кокс-доменної суміщу, теплотою згорання 1600 ккал/м^3 . Група має два колодязя, які працюють самостійно, незалежно друг від друга. Кожен

колодязь має інжекторний газовий пальник у центрі поду типу «труба у каналі». Загальні характеристики колодязя представлені у таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Характеристика нагрівального колодязя стану 1050

№ з/п	Назва		Одиниці виміру	Показники		
				За проектом	Станом на 2004 р	
1	2		3	4	5	
1	Тип колодязя			Рекуперативний нагрівальний колодязь		
2	Призначення колодязя			Нагрів злитків перед прокаткою		
3	Корисна площа колодязя		м ²	18,7	18,7	
4	Продуктивність колодязя		т/год	4,2	4,22	
5	Теплова потужність		млн. ккал/год	5,50	2,61	
6	Паливо			Природно-коксо-домена суміш		
7	Нижча теплотворна здатність газу		ккал/м ³		1600	
8	Тиск повітря перед колодязем		кгс/м ²		150	
9				Злитки		
10	Вироби, що нагріваються	Розміри	Ширина	мм	490÷650	490÷650
11			Довжина	мм	1345÷2000 0	1345÷2000
12	Спосіб нагріву			Відкритий нагрів продуктами горіння		
13	Наявність контрольно-вимірних приладів			КІП та А	КІП та А	
14	Тип опалювальних пристроїв			«труба в каналі»	«труба в каналі»	
15	Пристрій для підігріву повітря			Два керамічні рекуператори		
16	Спосіб видалення з печі окалини			Сухий механізований		
17	Періодичність прибирання окалини			Через 5 всадів		

При посадці злитків з колодязя знімають кришку підйомним краном. Після завантаження зливків в робочий простір колодязь закривають кришкою і в центральний пальник разом з підігрітим в рекуператорах повітрям, що надходять через канали 6, подають природний газ або суміш доменного та природного газів [2]. Утворене при горінні газів полум'я стикається зі злитками і нагріває їх. Продукти горіння направляються через бічні канали в рекуператори. Нагріте в рекуператорах повітря надходить в пальник через збірники повітря. Окалина, опадає зі злитків, віддаляється в сухому вигляді через люк в подине колодязя. На подину осередки попередньо насипають шар коксика.

Експлуатаційні показники роботи колодязя приведені в таблиці 1.11

Таблиця 1.11 – Експлуатаційні показники роботи колодязя

№ з/п	Назва		Одиниці виміру	Показники	
				За проектом	Станом на 2004 р
1	Продуктивність печі		т/год		4,66
2	Питома продуктивність печі	Середня	кг/м ² ·год	307	
3		Максимальна	кг/м ² ·год		518
4	Витрата матеріального палива		нм ³ /год	3400	1470
5	Витрати тепла		10 ⁶ ккал/год	5,5	2,76
6	Питомі витрати палива		ккал/кг	560	508
7	Питомі витрати умовного палива		кг/т	80	72
8	Тепловий ККД колодязя		%	20,60	22,03
9	Коефіцієнт використання палива		%		72,48

Експлуатаційні показники роботи колодязя №2 групи 3 визначенні при нагріванні сталі 42ХМ, $t_{нагр}=1250^{\circ}\text{C}$, продуктивність 4,66 т/год та $t_{всаду}=600^{\circ}\text{C}$.

Характеристика інжекторної газової горілки приведена в таблиці 1.12

Для підігріву повітря кожен колодязь оснащений двома однаковими керамічними рекуператорами, які працюють паралельно.

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика інжекторної газової горілки

п/н	Назва		Одиниці виміру	Показники
				За проектом
1	Тип			«труба у каналі»
2	Паливо			Природно-коксодомена суміш
3	Продуктивність (за газом)	За проектом	м ³ /год	3500
4		За фактом	м ³ /год	2000÷3500
5	Фактичний тиск у горілці	Газу	мм.вод.ст.	20÷400
6		Повітря	мм.вод.ст.	2÷5
7	Температура в горілці	Газу	°С	20
8		Повітря	°С	500÷700
9	Коефіцієнт витрати повітря			1,1

Подача повітря на горіння здійснюється вентилятором Ц9-57 з електродвигуном АО2-62-4.

Відвід продуктів згорання на колодязях виконується через димові канали, які знаходяться в бокових стінках. Димові гази далі проходячи омивають керамічні рекуператори поверхнею нагріву 270 м² для нагріву повітря на горіння, потім поступають на димову трубу висотою 42 м, загальну для групи колодязів [32].

Процес нагрівання злитків здійснюється з автоматичним регулюванням температури та тиску у колодязі. Можливе напівавтоматичне або дистанційне управління (при відмові автоматики). Регулювання температури колодязя відбувається в імпульсному режимі.

Мінімальна кількість злитків, що нагріваються в одному колодязі, шість штук (злитки масою 6,5 т) і вісім штук (злитки масою 3,6 т, 4,3 т, 4,8 т).

Температуру кінця прокатки забезпечують у межах від 1020°С до 1100°С. Після розкрою пакет прутків з одного злитка піддають охолодженню у ванні з водою не менше 10 хв до повного потемніння поверхні.

Нагрівання злитків сталі 10-20X23H18 виробляють за такою технологією:

- для злитків з температурою поверхні 700°C і нижче температура колодязя повинна бути не вище 1000°C, витримка без подачі газу - 30 хвилин;
- для злитків з температурою вище 700°C температуру колодязя не обмежують і витримку без подачі газу не проводять;
- підйом до температури 1240°C, витримка - від 3 год до 3 год 30 хв, кантування - за (30-40) хв до видачі.

Нагрівання злитків сталей 12X11B2MФ (E1756), 12X13 (з вуглецем 0,13% і менше) виробляють по режиму групи 4 «а». Для сталі 14X17H2 встановлюють такі температури і витримки: 1320°C – 1 год; 1360°C – 2 год; 1300°C – 30 хв; 1350°C – від 20 хв до 30 хв.

Зниження температури з 1360°C до 1280°C виробляють відкриттям кришки колодязя, після чого колодязь закривають і виробляють витримку без подачі газу 15 хв, а потім піднімають температуру з максимальною швидкістю до 1300°C, витримують 1 год для сталі марок E1756, 12X13 і 30 хв для сталі 14X17H2 з моменту відкриття кришки, далі проводять кантування злитків. Перед видачею температуру піднімають до 1350°C, витримують від 20 хв до 30 хв для сталі 14X17H2 і від 15 хв до 20 хв для сталі марок E1756, 12X13. На прокатку видають не більше п'яти злитків за один прийом. При затримках з видачею злитків на прокатку температуру колодязя знижують до 1300°C (+20°C) отсічкою газу, а перед новою видачею злитків повторюють підйом температури до 1350°C і витримку при ній протягом від 15 хв до 20 хв.

Нагрівання відпалених злитків ЕШП перетином квадрат 565 мм сталей 12-20X13-Ш, ДИЗАНО-Ш, 14X17H2-Ш, 45ХН2МФА-Ш, ДІ1-Ш, ЕІ961-Ш виробляють по режиму:

- посадка в нагрівальний колодязь при температурі не вище 700°C;
- витримка без подачі газу - не менше 1 год 30 хв;

- рівномірний підйом температури до 800°C не менше, ніж за 2 год;
- далі з максимальною швидкістю до заданої температури томління.

Нагрівання відпалених злитків сталі 18X2H4M (B) виробляють по режиму:

- посадка в нагрівальний колодязь при температурі не вище 700°C;
- витримка без подачі газу - не менше 1 год 30 хв;
- рівномірний підйом температури до 850°C не менше, ніж за 3 год;
- далі з максимальною швидкістю до заданої температури томління.

Нагрівання злитків сталі ЕП410У-Ш (квадрат 565 мм) в підігрівальні колодязі виробляють по режиму:

- температура колодязя при посадці - 550°C;
- витримка без подачі газу-1 год;
- рівномірний підйом температури до 650°C не менше, ніж за 3 год;
- витримка при температурі 650°C - від 3 год до 5 год.

Після пересадки злитків сталі ЕП410У-Ш при спільному нагріванні в підігрівальні колодязі з іншими сталями температуру в колодязі піднімають до 800°C і виробляють витримку не менше 1 год [2].

Посадка злитків.

Злитки, що подаються з сталеплавильних цехів, садять в нагрівальні колодязі, як гарячим, так і холодним всадом. Заготовки з КПЦ передають холодним всадом. Передачу гарячих злитків до нагрівальних колодців здійснюють відповідно до щодобовим графіком виплавки і прокатки сталі.

Перед посадкою злитків контролер ОТК і нагрівальник оглядають їх поверхню і відмічають у журналі всі помічені дефекти на злитках, а також звіряють номер плавки на стрічкових скобах злитків з аналізною картою.

Гарячі злитки, що мають грубі дефекти у вигляді поясів від переривання струменя, тріщин від виливниць і великих шлакових включень, садять на нагрів за погодженням зі змінним керівництвом сталеплавильного цеху і прокочують по виходу придатного. Допускають наявність підголовних

тріщин на відстані не більше 30 мм від паска, при цьому призначають додаткову обріз 10 %. Посадку холодних зливків з грубими дефектами не дозволяють.

Одиночні злитки посада, які виявились не підірваними, повинні бути повернуті в стріперні відділення для підриву і подальшої посадки в колодязь до своєї плавки протягом 1 години 30 хвилин. Якщо злитки не вдалося підірвати і посадити в колодязь до плавки, такі злитки на своєму візку направляють у відповідний сталеплавильний цех, де в присутності контролера ВТК витягують з виливниці і маркують по ВЗТУ 143-14. На нагрівальних колодязях стана 1050 контролер ОТК робить у спеціальному журналі запис про повернення: плавка, марка, № злитка, склад, дата, час [23].

Посадку злитків сталі, що вимагає за інструкцією підохолодження у колодязях до температури від 700°C до 800°C, виробляють незалежно від показань потенціометра, за часом підохолодження. Для розрахунку тривалості охолодження колодязя до заданої температури приймають швидкість охолодження 10°C/хв [36].

З метою забезпечення задовільної якості поверхні квадратної труби сортовий заготовок сталі 30 - 35ХГС (Н2) перед посадкою злитків проводять охолодження колодязя до 700°C відкриттям кришки:

- з температури 1300°C протягом 1 год 40 хв (± 15 хв);
- від (1200 - 1100)°C - 60хв (± 10 хв);
- від 1000°C – 50 хв (± 10 хв);
- від 900°C – 30 хв (± 10 хв);
- від 800°C – 25 хв (± 10 хв).

Після посадки проводять витримку злитків в закритому колодязі без подачі газу не менше 1 год;

- підйом температури до 1100°C роблять протягом 2 год при швидкості підйому температури не більше 130°C/год.

Злитки сталей 12Х2МФСР, 12Х1МФ, 12МХ, 15ХМ, 20К, що мають температуру поверхні нижче 750°C, направляють на охолодження з подальшою прокаткою з холодного всадив.

Прокат корозійностійких аустенітосталей, призначений на сортові прутки круглого і квадратного перетину, виробляють лише з зачищених злитків.

Злитки сталей 08Х15Н4ГЗ (ДІ20), 08Х17Н6Т (ДІ21), 08Х25, 12Х8, 12Х17, 15Х1М1Ф, 15Х25Т, 20Х17Н2, 45Х9С3, Х23Ю5 (Т), Х27Ю5Т, ХВП, 90Г29Ю9ВБМ (ДІ38), сіхромаль-12 поставляють прокатному цеху тільки гарячим всадом. Приставні злитки повинні бути першими по нумерації, прийнятої при розливанні.

Мінімальна кількість злитків, що нагріваються в одному колодязі, шість штук (злитки масою 6,5 т) і вісім штук (злитки масою 3,6 т, 4,3 т, 4,8 т).

В одному колодязі можуть нагріватися злитки не більше трьох груп.

У холодний період року (при температурі повітря нижче -10°C) злитки холодного всаду всіх сталей, крім групи 3 «а», перед посадкою в нагрівальні колодязі витримують в прольоті нагрівальних колодязів не менше 16 год.

Нагрів злитків. Для злитків гарячого всадив з температурою поверхні при посадці від 500°C до 750°C повинні виконуватися наступні умови:

- для сталей всіх груп (крім 1 «а» і 3) температура колодязя на початку посадки не повинна перевищувати температуру сажа першим злитка більш ніж на 300°C;
- для сталей 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 12Х2НВФ (М) А, 10ХН1М, 16ХСН, 18Х2Н4В (М) А і сталей групи 1 «г» температура колодязя не повинна перевищувати температуру зливків більш, ніж на 150°C.

Після посадки проводять витримку злитків без подачі газу, крім груп 1 «а» і 3, не менше, ніж:

- 30 хв при температурі сажа останнім злитком від 500°C до 650°C;
- 15 хв при температурі сажа останнім злитком від 660°C до 745°C.

1.5.2 Технологічний опис колодязів уповільненого охолодження

Колодязі призначені для уповільненої охолодження металу після прокатки на стані 1050.

Колодязі охолодження розташовані в двох прольотах.

В прольоті, розташованому перпендикулярно лінії стану, знаходяться 18 колодязів (№ 1-18) для охолодження заготівельного прокату, ємність яких 200 т і розміри 5,0·5,0·2,0 м.

За пилами стану 1050 розташовані 18 колодязів (№ 20-37) ємністю 100 т (№ 20-22) і 140 т (№ 23-37), розмірами 5,0·2,5·2,0 м і 7,0·2,5·2,0 м відповідно для охолодження сортового прокату, а також гартівна ванна з водою розмірами 7,5·2,0·2,2 м. Схема розміщення колодязів уповільненого охолодження зображена на рисунку 1.10.

Температура сортового прокату діаметром 200 мм і більше при завантаженні в засоби уповільненої охолодження повинна бути не менше 800°C, для сортового прокату діаметром 190 мм і менше, переробної заготовки - 700°C. Метал з температурою нижче 700°C піддають термообробці згідно з ТІ 143-П-5-02 [26].

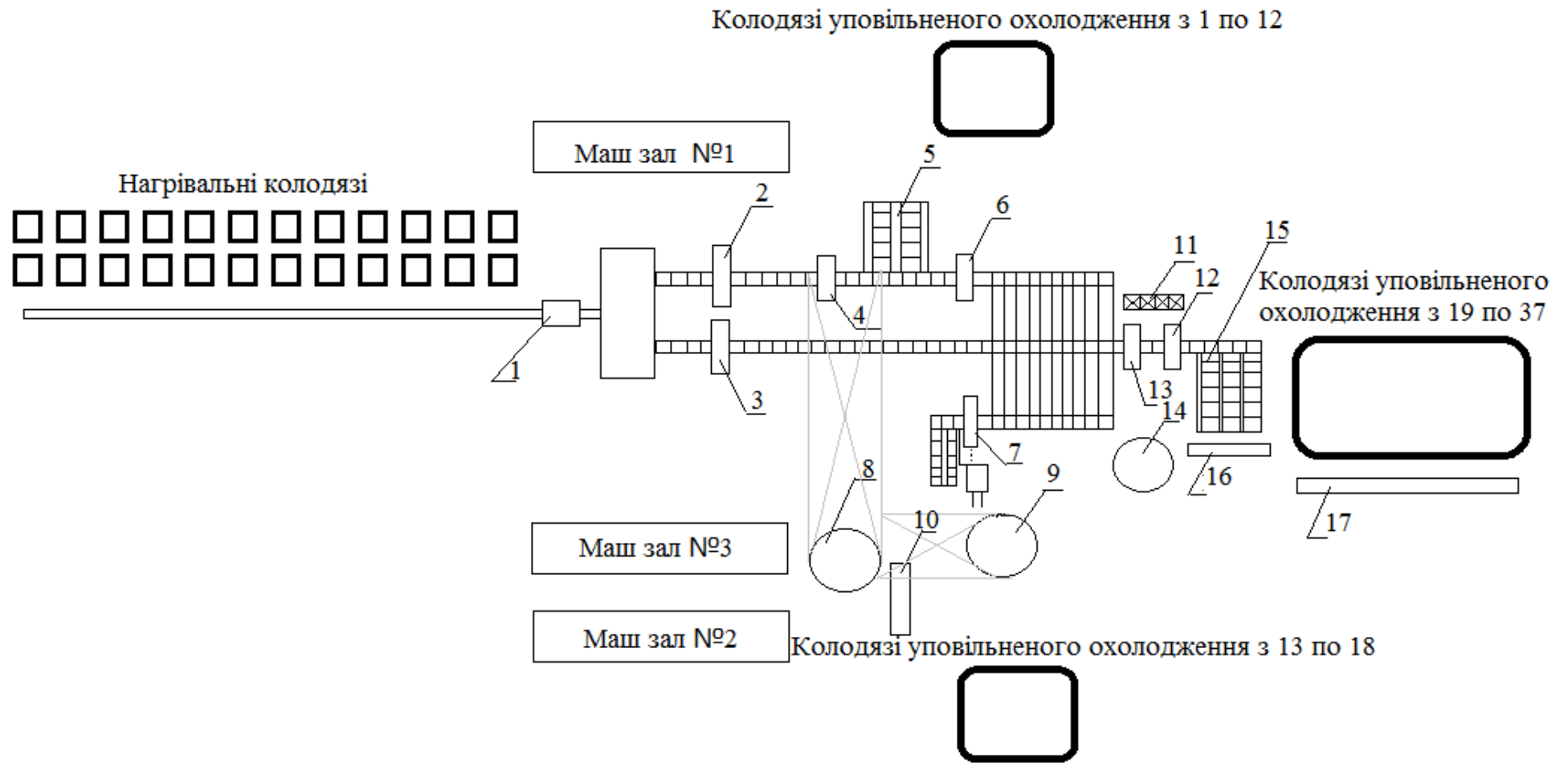
При охолодженні прокату температура в колодязі повинна змінюватися за формулою:

$$t = 720 + 0,042 \tau^2 - k \tau, \quad (1.1)$$

де τ - час охолодження, год,

k - емпіричний коефіцієнт рівний 9,98-9,88 для прутків діаметром 240-275 мм і 9,96-10,01 для прутків діаметром 200-230 мм.

При перевищенні температури в колодязі від графіка на 50°C і більше після 72-ї години охолодження прокату роблять регулювання температури в колодязі. Вивантаження металу з колодязів роблять при температурі НЕ більше 150°C.



1 – злитковіз; 2 – обтискна кліть; 3 – заготівельна кліть; 4 – прес; 5,15 – притиральні майданчики; 6,7– ножиці на 1250 т; 8 – конвеєр ножиць на 900 т; 9 – конвеєр ножиць на 1250 т; 10,17 – бугеля металу; 11 – стрічковий транспортер; 12, 13 – пили; 14 – конвеєр пил; 16 – пересувні бугеля

Рисунок 1.10 – Схема розміщення колодязів уповільненого охолодження

Стіни колодязів викладені з червоної цегли і облицьовані в підлогу цегли шамотним. Для захисту цегляної кладки стіни обшиті облицювальними металевими плитами товщиною 30-40 мм. Кришки колодязів чавунні чи сталеві (зварні). Розміри сталевих кришок заготівельних колодязів - 2,9х5,6 м, сортових - 3,8х3,9 м, 3,3·х5,6 м, чавунних - 3,3х1,7 м.

Зовнішній вигляд колодязя уповільненого охолодження зображений на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд колодязя уповільненого охолодження
Регулювання швидкості охолодження роблять шляхом зміщення кришки в сторону на 100-200 мм. Зниження температури під час регулювання повинно бути рівномірним.

Після порізки прутки без затримок завантажують в вагон-термос. При завантаженні металу в вагон-термос температура прокату винна бути не менше 800°C. Маса, що завантажується металу повинна бути не менше 20 т або не менше 50% обсягу вагона-термоса.

При завантаженні металу в вагон-термос прибирання металу роблять кільцями, виготовлення з дроту діаметром 8 мм для пакетів масою до 3,5 т - в 6 ниток, для пакетів масою 3,5 т до 5,5 т - в 8 ниток.

Загальний час завантаження вагона-термоса - не більше 2 годин. У Перерва між прокаткою металу вагон-термос закривають кришкою. У разі аварійної зупинки стану тривалістю більше 2 годин вагон-термос вивантажують в термічній цех з фактичним завантаженням.

Режим охолодження прокату діаметром або стороною квадрата 200-275 мм приведений у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Режим охолодження прокату у колодязі уповільненого охолодження

Час охолодження τ , год	Температура у колодязі (№4), °С	
	Розмір прокату 200-230 мм	Розмір прокату 240-275 мм
1	2	3
4	680	680
8	640	640
12	600	600
16	560	560
20	530	530
24	500	500
36	410	420
48	340	350
60	270	260
72	220	230
84	175	190
96	150	165
120	-	150

Дозволяється завантаження в один колодязь уповільненої охолодження метал різних груп. Охолодження при цьому роблять по режиму для групи з найбільшою тривалістю.

При охолодженні металу II «г», II «е», III, IV, V и VI груп після закінчення 50% часу охолодження, дозволяється проводити регулювання швидкості охолодження за умови, що температура в колодязі до цього моменту для груп II «г», II «е» ставити 550-480°С і 500-300°С - для груп III, IV, V и VI.

Висока енергоємність металургійної продукції є одним з важливих

факторів, що негативно впливають на її конкурентоспроможність на світовому та внутрішньому ринку. Більше 40 % собівартості металургійної продукції становлять енергоресурси.

Наприкінці ХХ сторіччя модернізація металургійної галузі на Україні проводилася по двох основних напрямках:

- удосконалювання існуючих на підприємствах технологій виплавки сталі й модернізація технології й устаткування нагрівальних колодязів;
- впровадження технологій безперервного лиття злитків і відмова від мартенівських цехів і нагрівальних колодязів.

Перший напрямок, що дозволяє без тривалих перерв і значних капіталовкладень конкурувати на ринку металопродукції, має для України велике значення. Тому що частка безперервного розливання в умовах нашої країни не перевищує 30 %, енергозбереження при нагріванні злитків у нагрівальних колодязях є актуальним завданням як у цей час, так і на доступну для огляду перспективу.

Останнім часом основне енергозбереження при нагріванні злитків у колодязях було зв'язано зі зниженням питомої витрати палива по наступних напрямках:

- скорочення втрат при нестабільній роботі станів;
- підвищення ефективності роботи теплоутилізуючих пристроїв;
- використання технологій нагрівання злитків з рідкою серцевиною.

Вирішальним фактором при реалізації заходів щодо енергозбереження є економічні показники. У зв'язку із цим особливого значення набувають ціни на енергоносії й співвідношення їх між собою.

Метою даного магістерської роботи є підвищення енергоефективності прокатного стану 1050 зокрема впровадженням системи рекуперації енергії.

2 ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПРОКАТУ МЕТАЛУ НА СОРТО-ЗАГОТІВЕЛЬНОМУ СТАНІ

2.1 Модернізація системи нагріву прокату шляхом повторного використання енергії, що відводиться у колодязях

Основна ідея повторного використання теплової енергії металопродукату, що відводиться у охолоджувальних колодязях, наступна: гаряче повітря з колодязів уповільненого охолодження під дією нагнітаючих вентиляторів подається по теплоізольованих вентиляційних каналах безпосередньо до рекуператорів нагрівального колодязя.

Також пропонується гарячі димові гази з шамотного рекуператора подавати не в димову трубу, а до встановленого рекуператора підігріву палива (доменного та природного газів).

2.1.1 Пропозиції щодо модернізації охолоджуючих колодязів

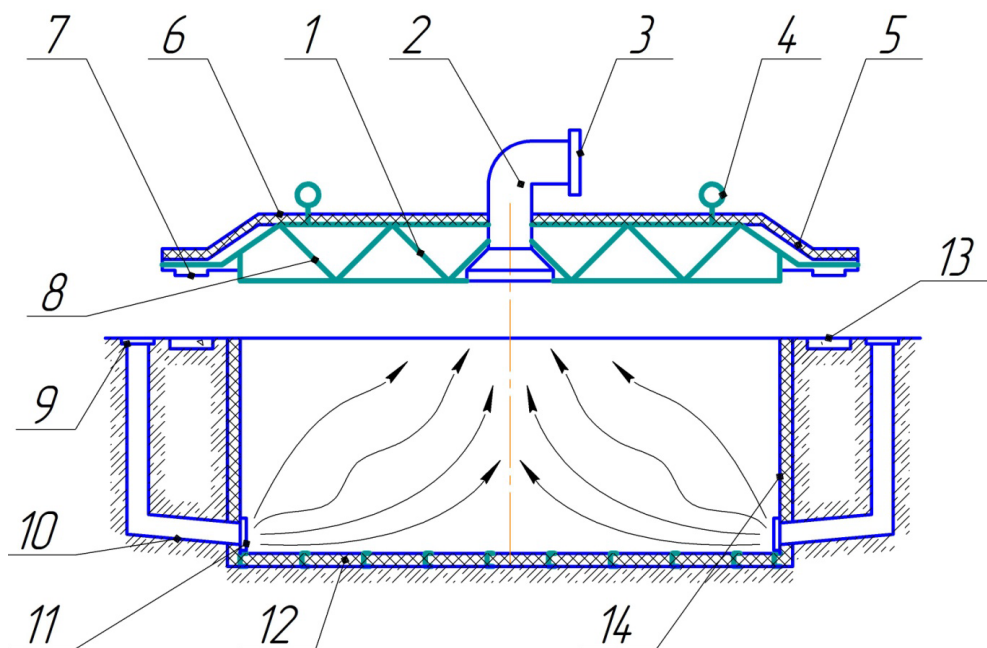
Для організованого відведення тепла від металу, що охолоджується, пропонуємо наступні зміни в конструкції колодязів уповільненого охолодження:

- з метою запобігання втрат тепла через дно охолоджуючого колодязя на дно колодязя укладаються швелери №120, проміжки між ними засипаються перлітовим піском, зверху закриваються металевим листом товщиною 30 мм;

- з метою запобігання втрат тепла через стінки колодязя повітряний прошарок між металевою обшивкою охолоджуючого колодязя та стінками з

керамічної цегли засипається перлітовим піском. Металеві листи, якими обшиті стінки охолоджуючого колодязя ремонтуються або замінюються з метою отримання герметичних стиків між ними;

- з метою запобігання втрат тепла через кришку колодязя, кришка замінюється на нову, з високою теплоізоляцією, ущільнення кришки ремонтуються. Конструкція колодязя охолодження після модернізації зображена на рисунку 2.1.



1 – кришка охолоджуючого колодязя; 2 – витяжний повітропровід; 3 – муфта приєднання витяжного повітропроводу; 4 – такелажне кільце; 5,12 – утеплювач; 6 – кожух кришки; 7 – ущільнюючий бурт; 8 – рама кришки; 9 – прийомна вентиляційна решітка; 10 – нагнітаючий повітропровід; 11 – вихідна вентиляційна решітка; 13 – піщаний затвор; 14- облицювання охолоджуючого колодязя.

Рисунок 2.1 – Конструкція колодязя охолодження після модернізації

Відвід гарячого повітря робиться примусовим (під дією всмоктуючого вентилятора) з центра кришки. Подача повітря в простір охолоджуючого колодязя робиться організованою з допомогою повітряних каналів, входи яких розташовані по 4-м нижнім кутам камери.

Нагріте повітря, по гнучкому повітропроводі, що приєднується до отвору в кришці з допомогою швидкороз'ємної муфти, може або подаватись до центрального повітроводу, або до приміщення цеху. Напрямок руху гарячого повітря визначається положенням повітряної заслінки. При достатньо високій температурі повітря подається до центрального повітропроводу. При зниженні температури, нижче заданої границі спочатку знижуються оберти всмоктуючого вентилятора, а при зниженні температури повітря до нижньої межі, повітряна заслінка змінює своє положення і тепле повітря відводиться до цеху.

2.1.2 Розрахунок енергетичного потенціалу системи відбору теплової енергії від металопрокату в охолоджуючих колодязях

Розраховуємо максимальну кількість тепла, що може буде відведена від металопрокату за формулою:

$$Q = (H_{\text{поч}} - H_{\text{кін}}) \cdot E, \quad (2.1)$$

де $H_{\text{поч}}$ – ентальпія сталі на початку охолодження; $H_{\text{поч}} = 533$ кДж/кг для 800°C і $H_{\text{поч}} = 421$ кДж/кг;

$H_{\text{кін}}$ – ентальпія і в кінці охолодження; $H_{\text{кін}} = 56$ кДж/кг для 150°C ;

E – ємність колодязя, кг.

Загальний розрахунок ентальпії для всіх охолоджуючих колодязів представлений у таблиці 2.1.

При нагріванні повітря, що рухається вздовж нагрітої поверхні металопрокату, інтенсивність теплообміну значно знижується зі зниженням різниці температур між повітрям та металопрокатом. Тому доцільно відбирати тепло лише в період перших 48 годин охолодження. За 48 годин температура, згідно технологічних регламентів знижується з $700\text{-}800^{\circ}\text{C}$ до $340\text{-}350^{\circ}\text{C}$ [11].

Таблиця 2.1- Кількість теплоти, що відводиться в процесі охолодження

№ колодязя	Ємність, т	Температура на початку охолодження, °С	Ентальпія початкова, Дж/кг	Температура в кінці охолодження, С	Ентальпія кінцева, Дж/кг	Час повного охолодження, год	Кількість теплоти, що відводиться в процесі охолодження, Дж
1	2	3	4	5	6	7	8
1	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
2	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
3	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
4	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
5	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
6	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
7	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
8	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
9	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
10	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
11	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
12	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
13	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
14	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
15	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
16	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
17	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
18	200	800	533000	150	56000	120	$9,54 \cdot 10^{10}$
19	100	700	421000	150	56000	96	$3,65 \cdot 10^{10}$
20	100	700	421000	150	56000	96	$3,65 \cdot 10^{10}$
21	100	700	421000	150	56000	96	$3,65 \cdot 10^{10}$
22	100	700	421000	150	56000	96	$3,65 \cdot 10^{10}$
23	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
24	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
25	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
26	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
27	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
28	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
29	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
30	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
31	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
32	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
33	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
34	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
35	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
36	140	700	421000	150	56000	96	$5,11 \cdot 10^{10}$
Всього	5960						$2,58 \cdot 10^{12}$

За перші 48 годин вивільняється 60% від загальної теплової енергії процесу охолодження металу.

При проектуванні системи відбору тепла від металу, що охолоджується, зберігаємо темпи та режими охолодження металу згідно таблиці 1.13.

Також, враховуємо той факт, що колодязі не заповнені повністю.

Середній відсоток заповнення колодязів розраховуємо за формулою:

$$m = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{max}}}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{факт}}$ - фактичне значення місячної кількості металопрокату, що охолоджується в колодязях уповільненого охолодження (дані за грудень 2014 р), $Q_{\text{факт}}=32664$ т;

Q_{max} - максимально можливе значення місячної кількості металопрокату, що може бути охолоджений в колодязях уповільненого охолодження, $Q_{\text{max}}=39300$ т;

$$m = \frac{32664}{39300} = 0,83 \text{ або } 83 \text{ \%}.$$

Розраховуємо кількість теплоти, що може бути відведена від металопрокату, з урахуванням ефективного діапазону режимів охолодження та неповної завантаженості колодязів [33]:

$$Q_{ef} = \left(H_{поч} - H_{кін}^{ef} \right) \cdot E \cdot t. \quad (2.3)$$

Загальний розрахунок кількості теплоти, що відводиться в процесі ефективного охолодження представлений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Кількість теплоти, що відводиться в процесі охолодження

№ колодязя	Ємність, т	Температура на початку охолодження, °С	Ентальпія початкова, КДж/кг	Температура в кінці ефективного охолодження, °С	Ентальпія кінцева, КДж/кг	Час ефективного охолодження, год	Середня заповненість колодязів охолодження, %	Загальна кількість теплоти, що відводиться в процесі ефективного охолодження, Дж	Щогодинна кількість теплоти, що відводиться в процесі ефективного охолодження, Дж
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
2	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
3	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
4	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
5	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
6	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
7	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
8	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
9	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
10	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
11	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
12	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
13	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
14	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
15	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
16	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
17	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
18	200	800	533	350	175	48	83	$5,95 \cdot 10^{10}$	$1,24 \cdot 10^9$
19	100	700	421	340	175	48	83	$2,04 \cdot 10^{10}$	$4,26 \cdot 10^8$
20	100	700	421	340	175	48	83	$2,04 \cdot 10^{10}$	$4,26 \cdot 10^8$
21	100	700	421	340	175	48	83	$2,04 \cdot 10^{10}$	$4,26 \cdot 10^8$
22	100	700	421	340	175	48	83	$2,04 \cdot 10^{10}$	$4,26 \cdot 10^8$
23	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
24	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
26	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
27	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
28	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
29	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
30	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
31	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
32	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
33	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
34	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
35	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
36	140	700	421	340	175	48	83	$2,86 \cdot 10^{10}$	$5,96 \cdot 10^8$
Σ	5960							$1,55 \cdot 10^{12}$	$3,24 \cdot 10^{10}$

Теплові втрати в колодязях через кришку, стінки та дно колодязя за час ефективного охолодження (48 годин) визначаємо за формулою:

$$Q_{втр} = \frac{S \cdot \left(\frac{t_{ноч} - t_{кін}^{ef}}{2} - t_{цеха} \right)}{R} \cdot T. \quad (2.4)$$

Дані розрахунку теплових втрат в колодязях через кришку, стінки та дно приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Тепловтрати через огорожуючі конструкції

№ колодязя	Площа огорожуючих конструкцій, м ²	Тепловий опір огорожуючих конструкцій, К·м ² /Вт	Тепловтрати через огорожуючі конструкції, Дж	Щодинні тепловтрати, Дж
1	2	3	4	5
1	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
2	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
3	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
4	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
5	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
6	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
7	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
8	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
9	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
10	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
11	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
12	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
13	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
14	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
15	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
16	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
17	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
18	90	1,3	$4,49 \cdot 10^9$	$9,36 \cdot 10^7$
19	55	1,3	$2,39 \cdot 10^9$	$4,97 \cdot 10^7$
20	55	1,3	$2,39 \cdot 10^9$	$4,97 \cdot 10^7$
21	55	1,3	$2,39 \cdot 10^9$	$4,97 \cdot 10^7$
22	55	1,3	$2,39 \cdot 10^9$	$4,97 \cdot 10^7$
23	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
24	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
25	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
26	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
27	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
28	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
29	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
30	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
31	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
32	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
33	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
34	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
35	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
36	73	1,3	$3,17 \cdot 10^9$	$6,60 \cdot 10^7$
Всього	2860		$1,3510^{11}$	$2,81 \cdot 10^9$

Кількість теплоти, що фактично може бути відведена від металопрокату в охолоджуючих колодязях визначаємо за формулою:

$$Q = Q_{ef} - Q_{втр}; \quad (2.5)$$

$$Q = 32,4 - 2,81 = 29,59 \text{ ГДж.}$$

Середню температуру ефективної частини процесу охолодження визначаємо за формулою:

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{ноч}} + t_{\text{кін}}^{\text{ef}}}{2}; \quad (2.6)$$

$$\bar{t} = 547,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad .$$

Отже, для розрахунку можна прийняти, що початкова температура повітря на вході в центральний повітропровід буде становити 547,5 °С.

Тоді, згідно попередніх розрахунків, для кожного нагрівального колодязя необхідно щогодини відводити від металопрокату $2,69 \cdot 10^9$ Дж (2,69 ГДж) теплової енергії.

Для всіх 24 нагрівальних колодязів кількість теплоти становить:

$$Q_{\text{заг}} = n \cdot Q; \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{заг}} = 24 \cdot 2,69 = 64,56 \text{ ГДж/год.}$$

Як бачимо, такої кількості тепла у нас в наявності не має. Тому розрахуємо, яку максимальну кількість тепла ми можемо відвести, щоб вистачило на всі 24 нагрівальні колодязі за формулою [33]:

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{заг}}}{n}; \quad (2.8)$$

$$Q_1 = \frac{29,59}{24} = 1,24 \text{ ГДж/год.}$$

Такій кількості тепла, відповідає, згідно попереднім розрахункам, температура повітря на виході з охолоджуючих колодязів 286,48°С (отримано інтерполяцією).

З урахуванням можливих неврахованих втрат тепла, подальші розрахунки будемо проводити для температури повітря на виході з колодязів охолодження, що на 10% менше ніж розрахункова – 250°С.

Для визначення часу роботи горілок нагрівальних колодязів проаналізуємо асортимент продукції прокатного цеху та розрахуємо початковий та кінцевий тепловий баланс нагрівальних колодязів.

2.1.3 Розрахунок початкового теплового балансу нагрівальних колодязів

За даними асортименту злитків, що перероблюються на сорто-заготівельному стані 1050 бачимо, що основна частина продукції прокатного цеху (49,7%) представлена трьома марками сталей: 19ХНМ, 45У та 15ХГН2ТА. У таблиці 2.4 відображенні дані по асортименту злитків, що перероблюються на сорто-заготівельному стані 1050.

Таблиця 2.4 – Асортимент злитків, що перероблюються на стані 1050

№ з/п	Марка сталі	Кількість	
		т/рік	%
1	19ХНМ	2321,60	18,7
2	45-У	1990,40	16,0
3	15ХГН2ТА	1833,07	14,7
4	13Х11Н2В2МФ-Ш	719,47	5,8
5	ШХ15СГ-В	675,20	5,4
6	30Х2Н2М	517,87	4,2
7	40ХГМ-У	450,56	3,6
8	4Х5МФС	439,47	3,5
9	18-У1	402,13	3,2
10	34Х2Н2М	402,13	3,2
11	4Х5МФ1С	400,53	3,2
12	50ХГФ	400,00	3,2
13	40ХГН2М	397,87	3,2
14	18-У	376,75	3,0
15	03Х17Н12М2-У	229,33	1,8
16	19ХНМ	203,20	1,6
17	ШХ15-В	201,60	1,6
18	4Х5МФ1С	193,60	1,6
19	ШХ15-В-У	190,93	1,5
20	ШХ15-Ш	82,67	0,7
Разом:		12428,37	100

Отже, для спрощення розрахунків часу роботи горілок будемо використовувати температурні режими лише для 3-х вищеперерахованих марок сталей. У таблиці 2.5 зведені дані по режимам нагрівання основних марок сталі що випускає сорто-заготівельний стан 1050.

Таблиця 2.5 – Режимы нагрівання основних марок сталі

Марка сталі	Кількість т на рік	Початкова температура, °С	Час загрузки – вигрузки колодязів, хв	Час витримки, хв	Температура томління, °С	Час підігріву, хв	Час томління, хв	Частка часу роботи нагрівальних колодязів з включеною горілкою
19ХНМ	2321,6	700	120	30	1250	330	180	0,77
45-У	1990,4	800	120	15	1300	300	115	0,75
15ХГН2ТА	1833,07	700	120	30	1250	330	180	0,77
В середньому	733				1256			0,77

Середній час нагрівання злитків у камері колодязя за весь цикл у складає $\tau=6,86$ год[33].

Максимальна загальна теплова потужність камери:

$$M_{0max}=5,5 \text{ Калл/год}=23 \cdot 10^9 \text{ Дж/год.}$$

Максимальна подача газу в камеру:

$$B_{г. max} = \frac{M_{0max}}{Q_n^p \cdot 10^3}; \quad (2.9)$$

$$B_{г. max} = \frac{23 \cdot 10^9}{6668 \cdot 10^6} = 3401 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Максимальна подача повітря в камеру:

$$B_{в. max} = B_{г. max} \cdot L_n^B; \quad (2.10)$$

$$B_{в. max} = 3401 \cdot 2,494 = 8482 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Максимальний вихід диму:

$$B_{\partial,max} = B_{z,max} \cdot v_{\partial}; \quad (2.11)$$

$$B_{\partial,max} = 3401 \cdot 3,302 = 11230 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунок середньої теплової потужності колодязя.

Ємність камери:

$$E = n \cdot V_{зл} \cdot \rho; \quad (2.12)$$

$$E = 0,785 \cdot 0,65^2 \cdot 2 \cdot 7800 = 41391 \text{ кг.}$$

де n – кількість одночасно злитків, що завантажуються, $n = 8$ шт;

$V_{зл}$ - об'єм одного злитка;

$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі.

Теплотехнічна продуктивність камери максимальна:

$$\Pi = \frac{E}{\tau_{заг}}; \quad (2.13)$$

$$\Pi = \frac{41391}{6,865} = 6029 \text{ кг/год.}$$

Середня необхідна потужність:

$$\bar{M}_y = \Pi \cdot \Delta i_{заг}; \quad (2.14)$$

$$\bar{M}_y = 6029 \cdot 869,3 = 5,24 \cdot 10^6 \text{ кДж/кг.}$$

де $\Delta i_{заг}$ – ентальпія сталі, що відповідає її кінцевій середньомасовій температурі (при нагріві від 733°C до 1267°C), $\Delta i_{заг} = 869,3 \text{ кДж/кг.}$

Середня загальна теплова потужність колодязя:

$$\bar{M}_0 = 2,61 \text{ ГКалл} = 10,91 \cdot 10^9 \text{ Дж/кг.}$$

Показник середньої подачі газу:

$$\bar{B}_z = \frac{\bar{M}_0}{Q_H^p \cdot 10^3}; \quad (2.15)$$

$$\bar{B}_z = \frac{10,91 \cdot 10^9}{6668 \cdot 10^6} = 1636 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Показник середньої подачі повітря для спалювання газу:

$$\bar{B}_e = \bar{B}_z \cdot L_n^B; \quad (2.16)$$

$$\bar{B}_e = 1636 \cdot 2,494 = 4080 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Вихід продуктів згоряння горючого газу:

$$\bar{B}_d = \bar{B}_z \cdot v_d; \quad (2.17)$$

$$\bar{B}_d = 1636 \cdot 3,302 = 5402 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Коефіцієнт корисної дії печі по теплоті палива:

$$\eta = \frac{\bar{M}_y}{\bar{M}_0} \cdot 100\%; \quad (2.18)$$

$$\eta = \frac{5,24 \cdot 10^9 \cdot 100}{10,91 \cdot 10^9} = 48,03\%.$$

Витрата теплоти на підігрів 1 кг зливків:

$$b = \frac{\bar{M}_0}{\Pi} \cdot 10^3; \quad (2.19)$$

$$b = \frac{10,91 \cdot 10^9}{6029} = 1,81 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Витрата умовного палива на підігрів 1 кг зливків:

$$b_{\text{умов.пал.}} = \frac{b}{29300}; \quad (2.20)$$

$$b_{\text{умов.пал.}} = \frac{1,81 \cdot 10^6}{29300} = 61,7 \text{ кг у.п.}$$

Складаємо тепловий баланс робочої камери за весь процес нагрівання.

Розрахунок статей приходу теплоти.

Хімічна теплота від горіння палива:

$$Q_m = \bar{B}_z \cdot Q_n^p \cdot \tau_{\text{заг}} \cdot 10^3; \quad (2.21)$$

$$Q_m = 1636 \cdot 6668 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 7,48 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива при $\bar{t}_e = 800^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{нов}} = \bar{B}_e \cdot i_e \cdot \tau_{\text{заг}}; \quad (2.22)$$

$$Q_{нов} = 4080 \cdot 1134 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 3,54 \cdot 10^{10} \text{ Дж};$$

де $i_g = 1134 \text{ кДж/м}^3$.

Розрахунок статей витрати теплоти.

Теплота, засвоєна металом за нагрівання:

$$Q_M = E \cdot \Delta i_{заг}; \quad (2.23)$$

$$Q_M = 41391 \cdot 869,3 = 3,59 \cdot 10^{10} \text{ кДж.}$$

Теплові втрати робочої камери (для існуючих конструкцій нагрівальних колодязів теплові втрати складають приблизно 20% від теплоти, що засвоюється металом):

$$\Sigma Q_{втрати} = 0,2 \cdot Q_M; \quad (2.24)$$

$$\Sigma Q_{втрати} = 0,2 \cdot 3,59 \cdot 10^{10} = 0,718 \cdot 10^{10} \text{ кДж.}$$

Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом:

$$Q_{дим} = \bar{B}_d \cdot i_d \cdot \tau_{заг}; \quad (2.25)$$

$$Q_{дим} = 5402 \cdot 1923,9 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 7,12 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

де $i_d = 1923,9 \text{ кДж/м}^3$ – ентальпія продуктів згоряння при температурі:

$$\bar{i}_d = 0,5 \cdot (t_{d,n} + t_{d,к1}); \quad (2.26)$$

$$\bar{i}_d = 0,5 \cdot (1101,7 + 1333,6) = 1217,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Теплота, що виноситься продуктами горіння від спалювання палива в димар:

$$Q_{д.пр} = Q_{дим} - Q_{нов}; \quad (2.27)$$

$$Q_{д.пр} = 7,12 \cdot 10^{10} - 2,17 \cdot 10^{10} = 4,95 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Результати розрахунку зводимо до таблиці 2.6.

В середньому, при проходженні злитків по прокатним станам цеху, вони втрачають $300 \div 400^\circ\text{C}$ температури. В основному, тепла енергія передається обладнанню, повітрю цеха та технічній воді, що охолоджує та змащує обладнання прокатного цеху [34].

Енергія, що втрачається при охолодженні в процесі прокату, порівняно складно консолидується та є досить низько потенціальною, що ускладнює її повторне використання для цілей нагрівання злитків. Проте, її можна ефективно використовувати у побутових цілях, наприклад, для опалення адміністративних будівель або приготування гарячої води.

Таблиця 2.6 – Тепловий баланс робочої камери колодязя

Стаття	Прихід теплоти		Стаття	Витрата теплоти	
	10^{10} Дж	%		10^{10} Дж	%
Хімічна теплота від горіння палива	7,48	67,9	Теплота, засвоєна металом за нагрівання	3,59	35,64
Фізична теплота газу	0	0	Теплові втрати робочої камери	0,718	8,07
Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива	3,54	22,5	Теплота, що виноситься з робочого простору печі димом, що йде	7,13	56,29
Разом	9,65	100	Разом	9,26	100

Нев'язка $\delta_l = 3,75\%$.

Таким чином, можна розрахувати загальні втрати металопрокатом теплової енергії за 1 годину:

$$Q_{OK,\Sigma} = E \cdot (i_{1233} - i_{700}) \quad (2.28)$$

$$Q_{OK,\Sigma} = 41391 \cdot (846,83 - 433,75) \cdot 10^3 = 1,73 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

де i_{700} , i_{1233} - ентальпія сталі відповідно при 700 та 1233°C.

У колодязях повільного охолодження, завдяки тепловим втратам через стінки колодязя та конвективному охолодженні примусовою циркуляцією, температура готового прокату опускається з початкових 700°C до 100°C.

Таким чином, можна розрахувати загальні втрати металопрокатом теплової енергії за 1 годину[34]:

$$Q_{OK.\Sigma} = E \cdot (i_{700} - i_{100}) \quad (2.29)$$

$$Q_{OK.\Sigma} = 41391 \cdot (433,75 - 48,57) \cdot 10^3 = 1,594 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Втрати за рахунок тепловтрат:

$$Q_{ТВ} = Q_{OK.\Sigma} \cdot 0,2; \quad (2.30)$$

$$Q_{ТВ} = 1,594 \cdot 10^{10} \cdot 0,2 = 3,18 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Втрати тепла за рахунок конвективного охолодження:

$$Q_{КОНВ} = Q_{OK.\Sigma} \cdot 0,8; \quad (2.31)$$

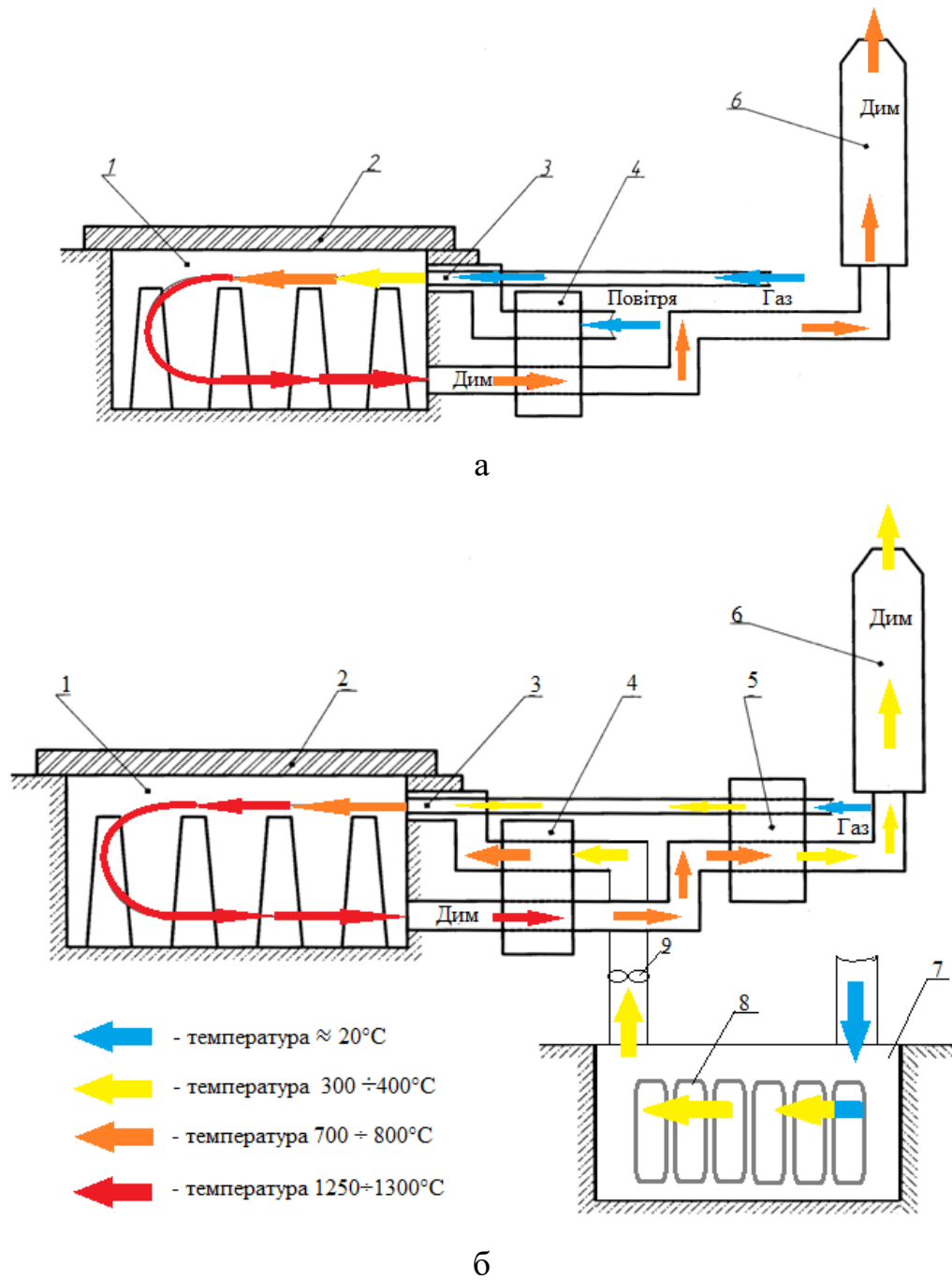
$$Q_{КОНВ} = 1,594 \cdot 10^{10} \cdot 0,8 = 1,276 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Отже, конвективна складова втрат тепла металом, яка може бути використана для покращення енергетичної ефективності процесу нагрівання злитків складає 12,76 ГДж/год.

При нагріванні потрібно підвести в середньому 35,9 ГДж/год, в той же час на стадії обробки прокату і при охолодженні його в колодязях від нього відводиться, відповідно 17,3 МДж/год та 15,94 МДж/год.

Аналіз систем підводу та відводу теплової енергії показав можливість повторного використання теплової енергії, що відводиться в процесі охолодження металопрокату в колодязях за рахунок прямої подачі повітря, що охолоджує металопрокат в горілку для горіння палива в нагрівальному колодязі. Схема рекуперації до модернізації системи зображена на рисунку 2.2 (а), а схема рекуперації теплової енергії гарячого повітря з колодязів уповільненого охолодження після модернізації зображена на рисунку 2.2 (б).

Рекуператор для подібних цілей позиція замовна, тому проведемо розрахунок шамотного трубчатого рекуператора з урахуванням більш високої температури повітря, що подається, щоб мати змогу оцінити капіталовкладення [4].



1 – робочий простір; 2 – кришка; 3 – газова горілка; 4 – керамічний рекуператор; 5 – металевий рекуператор; 6 – димова труба; 7 – колодязь уповільненого охолодження; 8 – охолоджувальні вироби; 9 – вентилятор.

а - схема рекуперації до модернізації системи; б - схема рекуперації теплової енергії з колодязів уповільненого охолодження після модернізації.

Рисунок 2.2 – Схема рекуперації гарячого повітря з колодязів уповільненого охолодження

Рекуператор розраховується на максимальну витрату повітря.

Витрата диму перед рекуператором:

$$V_{d.max} = 11230 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Температура диму перед входом у рекуператор:

$$t_{Д} = 1271 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Температура повітря початкова:

$$t_{ПН} = t_0 + \frac{Q_{КОНВ}}{c \cdot V_{B.max}}, \quad (2.32)$$

де $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$;

$$V_{B.max} = 8482 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Для спрощення розрахунків приймаємо допущення, що в діапазоні температури до якого може нагрітись повітря, що охолоджує металопрокат ($150 \div 350^{\circ}\text{C}$).

Питома теплоємність повітря майже стала і складає $c = 1300 \text{ Дж/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

$$t_{ПН} = 20 + \frac{1,276 \cdot 10^{10}}{1300 \cdot 8482} = 1157 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Така температура повітря дуже висока для металевих вентиляційних каналів, тому обмежимо її шляхом суміші з зовнішнім повітрям до 400°C .

Температура повітря кінцева: $t_{покр} = 700^{\circ}\text{C}$.

Витрата повітря, що подається в рекуператор з урахуванням витоку через його нещільності [8]. Приймаємо величину витоків - 10 %, тоді:

$$V'_{\text{в}} = (1 + 0,1) \cdot V_{\text{в}}; \quad (2.33)$$

$$V'_{\text{в}} = (1 + 0,1) \cdot 8481,81 = 9330 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахункова кількість повітря:

$$V_B^* = \frac{V_B + V'_{\text{в}}}{2}; \quad (2.34)$$

$$V_B^* = \frac{10182 + 9330}{2} = 9756 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата продуктів горіння після рекуператора:

$$V'_{\partial} = 11230 + (V'_{\text{В}} - 8906); \quad (2.35)$$

$$V'_{\partial} = 11230 + (9330 - 8906) = 11654 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахункова кількість продуктів горіння:

$$V''_{\partial} = 0,5 \cdot (11230 + V'_{\text{В}}); \quad (2.36)$$

$$V''_{\partial} = 0,5 \cdot (11230 + 11654) = 11442 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Температура продуктів горіння за рекуператором визначається по кінцевій питомій ентальпії продуктів горіння:

$$i_{\partial,к} = \frac{V_{\partial, \text{max}} i_{\partial,н} \varepsilon - V_{\text{в}} i_{\text{вк}}}{V'_{\partial}} = 1127 \text{ Дж/м}^3,$$

де ε – коефіцієнт, що враховує втрати тепла рекуператором через огорожуючі конструкції; його можна приймати $0,95 \div 0,92$ рівним. Приймаємо $\varepsilon = 0,95$. Цій ентальпії відповідає температура диму $t_{\partial,к} = 787 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Середньологаріфмічний температурний напір:

$$\Delta \bar{t} = \frac{(t_{\partial,н} - t_{\text{вк}}) - (t_{\partial,к} - t_{\text{вн}})}{\ln \frac{t_{\partial,н} - t_{\text{вк}}}{t_{\partial,к} - t_{\text{вн}}}} = 698 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі від диму до повітря в рекуператорі визначаємо по формулі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\partial}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{пов}}}} \quad (2.37)$$

Коефіцієнт теплопередачі на димовій стороні $\alpha_{\partial} = \alpha_{\partial,к} + \alpha_{\partial, \text{вн}}$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією визначаємо для ламінарного руху.

Середня температура диму:

$$\bar{t}_{\partial} = \frac{t_{\partial,н} + t_{\partial,к}}{2} = 1009 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура повітря:

$$\bar{t}_n = \frac{t_{нк} + t_{нн}}{2} = 310 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура стінки $\bar{t}_{cm} = \bar{t}_\delta - 100 = 909 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Середня температура диму в прикордонному шарі:

$$t_{cp} = \frac{\bar{t}_{cm} + \bar{t}_\delta}{2} = 959 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температурний напір:

$$\Delta t = \bar{t}_\delta - \bar{t}_{cm} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Швидкість руху диму в трубках рекуператора $W_{\delta p}$ приймаємо рівної 0,8 м/с. Внутрішній діаметр трубки $d_{вн} = 0,108$, тоді:

$$\alpha_{\delta к} = 0,986 \cdot \left(0,92 + 0,0009 t_{cp} \right) \cdot \frac{W_{\delta p}^{0,2}}{d_{вн}^{0,5}} \Delta t^{0,1} = 8,11 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Вміст газів випромінювачів у димі з урахуванням витоку:

$$CO_2^P = \frac{CO_2 V_{\delta max}}{V_\delta^*} = 17,03\%;$$

$$H_2O^P = \frac{H_2O \cdot V_{\delta max}}{V_\delta^*} = 8,6\%.$$

Ефективна товщина газового шару:

$$\bar{S} = 0,9 d_{вн} = 0,0972 \text{ м};$$

$$P_{CO_2}^P \bar{S} = 1,665 \text{ кН/м};$$

$$P_{H_2O}^P \bar{S} = 0,836 \text{ кН/м}.$$

По графіках знаходимо ступінь чорноти $\varepsilon_{CO_2} = 0,052$; $\varepsilon_{H_2O} = 0,015$.

Ступінь чорноти стінки трубок приймаємо $\varepsilon_{cm} = 0,8$, ступінь чорноти диму:

$$\varepsilon_\delta = \varepsilon_{CO_2} + \varepsilon_{H_2O} = 0,067.$$

Наведений коефіцієнт випромінювання:

$$\delta = \frac{5,76}{\frac{1}{\varepsilon_{ст}} + \frac{1}{\varepsilon_{\delta}} - 1} = 0,38 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням на димовій стороні:

$$\alpha_{\delta, \text{надл}} = \frac{4 \cdot \delta}{100} \cdot \left(\frac{\bar{T}_{\delta}}{100} \right)^3 = 32 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4.$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі на димовій стороні:

$$\alpha_{\delta} = 8,11 + 32 = 40,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4.$$

На повітряній стороні має місце тільки тепловіддача конвекцією, тобто будемо розраховувати тільки $\alpha_{вк}$. Приймаємо ширину рекуператора рівній ширині робочого простору осередки 2,835 м, а вхід повітря в рекуператор через чотири яруси кладки рекуператора по висоті[34].

Число труб у напрямку, перпендикулярному напрямку рухів повітря:

$$z_1 = \frac{2B}{x_1} + 1 = 19 \text{ шт.}$$

де $x_1 = 0,304$ м поперечний крок труб рекуператора.

Площа чотирьох ярусів для проходу повітря:

$$f_{\delta} = 4 \cdot 0,355 \cdot 0,18 \cdot (19 - 1) = 4,611 \text{ м}^2.$$

де 0,355 м - висота ярусу; 0,18 м - ширина вільного проходу між керамічними трубками.

Швидкість руху повітря в рекуператорі:

$$W_{OB} = \frac{V_B''}{f_B} = 0,588 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на повітряній стороні розраховуємо по формулі:

$$\alpha_{BK} = 1,412 \cdot (4,3 + 0,0038 \bar{t}_B) \cdot \frac{W_{OB}^{0,6}}{d_{нар}^{0,4}} = 11,16 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Товщина стінки трубки $\delta = 0,013 \div 0,016$ м, беремо 0,016 м.

Матеріал трубки - шамот, для якого $\lambda \approx 1,16$ Вт/м·К.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{40,12} + \frac{0,016}{1,16} + \frac{1}{11,16}} = 7,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Поверхня нагрівання рекуператора:

$$F_H = \frac{Q_B}{k\Delta t}; \quad (2.38)$$

$$Q = V_B'' \cdot (i_{BK} - i_{BH}); \quad (2.39)$$

$$Q_B = 768137 \text{ кДж/год} = 2134 \text{ кВт};$$

$$F_H = \frac{2134 \cdot 10^3}{7,8 \cdot 698} = 391,8 \text{ м}^2.$$

Перетин для проходу продуктів горіння:

$$f_{\partial} = \frac{V_{\partial}''}{W_{\partial}} = 4,43 \text{ м}^2.$$

Кількість трубок у горизонтальному перетині рекуператора:

$$z = \frac{4f_{\partial}}{\pi d_{BH}^2} = 484 \text{ шт.}$$

Кількість рядів трубок у напрямку рухів повітря:

$$z_2 = \frac{z}{z_1} = 25 \text{ шт.}$$

Середній діаметр керамічної трубки:

$$d_{cp} = \frac{0,108 + 0,14}{2} = 0,124 \text{ м.}$$

Висота рекуператора:

$$H = \frac{F_H}{\pi d_{cp}^2 z} = 2,078 \text{ м.}$$

Число ходів по повітряю:

$$n_B = \frac{H}{4 \cdot 0,356} = \frac{2,078}{4 \cdot 0,356} = 1,46.$$

Приймаємо 2 ходи по повітрю, що забезпечить більш високий підігрів повітря в порівнянні з розрахунковим; крім того рекуператор зможе прийняти більшу витрату повітря, якщо в цьому виникне необхідність [33].

Перетин рекуператора при довжині його:

$$l_p = \left(\frac{z_2}{2} + 1 \right) \cdot 0,304 = 4,178 \text{ м.}$$

З розрахунку керамічного повітряного рекуператора видно, що температура диму після нього рівна $t_{ок} = 787^\circ\text{C}$ досить висока, тому доцільна установка металевого петлевого трубчастого рекуператора для підігріву газу, що йде на горіння. Розрахунок рекуператора наведений нижче [33].

Розрахунок металевого рекуператора для підігріву горючого газу за рахунок енергії димових газів.

Для підвищення ефективності використання палива й зниження витрат на нагрівання, пропонується встановити в димовий боров кожного осередку один рекуператор для підігріву газу, що йде на горіння. Оскільки паливом для колодязя слугує коксо-домена суміш, температуру підігріву газу приймаємо рівної 300°C . Для розрахунку рекуператора, що буде підігрівати газ необхідно знати температуру диму після керамічного повітряного рекуператора. Температуру диму після керамічного повітряного рекуператора візьмемо з розрахунку керамічного рекуператора.

Проектуємо металевий рекуператор із труб діаметром $57/49,5$ мм, з коридорним розташуванням їх і кроком $\frac{x_1}{d} = \frac{x_2}{d} = 2$. Рух газу здійснюється по трубах, диму – між трубами.

Вихідні дані для розрахунків:

Годинна витрата газу (максимальна) - $V_2 = 3401 \text{ м}^3/\text{год}$;

Температура підігріву газу - $t_r'' = 300^\circ\text{C}$;

Температура продуктів горіння за повітряним рекуператором - $t_D = 787^\circ\text{C}$.

Витрата диму після керамічного повітряного рекуператора з урахуванням підсмоктування повітря в борових складах $V'_\partial = 11654 \text{ м}^3/\text{год}$.

Температура продуктів горіння за рекуператором:

$$i''_D = i'_D - \frac{V_\partial}{V'_D \xi} (i''_2 - i'_2) \quad (2.40)$$

$$i''_D = 1093 - \frac{1}{3,302 \cdot 0,9} \cdot (286 - 28,6) = 862,5 \text{ кДж/м}^3.$$

Чому і відповідає температура диму $t''_D = 615 \text{ }^\circ\text{C}$.

Середньологаріфмічний температурний напір:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}; \quad (2.41)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(620 - 300) - (550 - 20)}{\ln \frac{620 - 300}{550 - 20}} = 589 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для визначення коефіцієнта теплопередачі спочатку знайдемо α'_K .

Середня температура диму:

$$\bar{t}_D = \frac{t'_D + t''_D}{2}; \quad (2.42)$$

$$\bar{t}_D = \frac{787 + 615}{2} = 701 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Приймаємо швидкість диму $\omega_D = 2 \text{ м/сек}$:

$$C = 1 + 0,1 \frac{x}{d}; \quad (2.43)$$

$$C = 1 + 0,1 \cdot 2 = 1,2;$$

де $d_H = 0,057 \text{ м}$,

тоді:

$$\alpha'_K = (4,22 + 0,00565 \cdot 701) \cdot \frac{2^{0,65}}{0,057^{0,35}} = 42,1 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

при $\bar{S} = 3,5$, $d_H = 3,5 \cdot 0,057 = 0,2 \text{ м}$;

при $\bar{t}_D = 701^\circ \text{C}$, $\alpha_{\text{внр}} = 13 \text{ Вт/м}^2\text{К}$:

$$\alpha' = \alpha'_k + \alpha_{\text{надл}} = 42,1 + 13 = 55,1 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Визначаємо α'' :

$$\bar{t}_z = \frac{20 + 300}{2} = 160^\circ \text{C};$$

приймаємо $\omega_z = 8 \text{ м/сек}$.

Не беручи до уваги значення випромінювання газу, одержимо:

$$\alpha'' = \alpha''_k = (3,02 + 0,0016 \cdot 160) \cdot \frac{8^{0,8}}{0,0495^{0,2}} \cdot 1,16 = 35,8 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

По відомим α' і α'' визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{55,1} + \frac{1}{35,8}} = 21,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Приймаємо $K = 15 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Поверхня нагрівання рекуператора:

$$E = \frac{V_z (i'' - i'_z)}{K \Delta t_{cp}}; \quad (2.44)$$

$$E = \frac{3700 \cdot (286 - 286)}{21,7 \cdot 589} = 75,1 \text{ м}^2.$$

Приймаємо $F = 80 \text{ м}^2$.

Нижче приводиться компонування рекуператора.

Приймаємо висоту рекуператора $h = 2,5 \text{ м}$.

Поверхня нагрівання однієї трубки:

$$f_{mp} = \pi d_{cp} h; \quad (2.45)$$

$$f_{mp} = 3,14 \cdot \frac{0,057 + 0,0495}{2} \cdot 2,5 = 0,415 \text{ м}^2.$$

Число трубок рекуператора:

$$z = \frac{F}{f_{mp}}; \quad (2.46)$$

$$z = \frac{80}{0,415} \approx 200 \text{ шт.}$$

Число ходів по газу:

$$n = \frac{3600 \cdot z \cdot \pi d^2 \omega_{\text{вн}} \omega_{\text{г}}}{4V_{\text{г}}}; \quad (2.47)$$

$$n = \frac{3600 \cdot 200 \cdot 3,14 \cdot 0,0495^2 \cdot 8}{4 \cdot 3401} = 32,29.$$

Приймаємо $n = 2$.

Число труб у секції:

$$z' = \frac{z}{n}; \quad (2.48)$$

$$z' = \frac{200}{2} = 100 \text{ шт.}$$

Число труб у ряді, перпендикулярному руху диму:

$$z_1 = \frac{V'_D}{3600 \cdot (x_1 - d_n) h \omega_{\text{д}}}; \quad (2.49)$$

$$z_1 = \frac{11654}{3600 \cdot (0,114 - 0,057) \cdot 2,5 \cdot 2} \approx 13 \text{ шт.}$$

Число труб у секції в напрямку руху диму:

$$z_2 = \frac{z'}{z_1}; \quad (2.50)$$

$$z_2 = \frac{100}{13} = 8 \text{ шт.}$$

Провівши розрахунок рекуператора для підігріву газу, проведемо розрахунок нагрівання злитків, з урахуванням підігріву газу. Результати розрахунку представимо у вигляді теплового балансу робочої камери, який представлений в таблиці 2.7. У результаті реконструкції час нагрівання злитків практично не змінився, тому немає необхідності зміни інструкції з нагрівання злитків у колодязі. В основний тепловий баланс вноситься додаткове тепло – за рахунок підігріву повітря в охолоджувальних колодязях.

2.1.4 Складання теплового балансу після впровадження системи повторного використання теплової енергії

Хімічна теплота від горіння палива може бути знижена на зазначену величину:

$$Q_m = Q_T^{noch} - Q_I \cdot \tau_{заг}; \quad (2.51)$$

$$Q_m = 7,48 \cdot 10^{10} - 1,24 \cdot 10^9 \cdot 6,86 = 6,63 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Отже, витрата газу буде становити:

$$\bar{B}_2 = \frac{Q_m}{Q_H^p \cdot \tau_{заг} \cdot 10^3}; \quad (2.52)$$

$$\bar{B}_2 = \frac{6,63 \cdot 10^{10}}{6,668 \cdot 10^6 \cdot 6,86} = 1449 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива при $\bar{t}_g = 218^\circ\text{C}$, тоді:

$$Q^{OK}_{нов} = \bar{B}_{нов} \cdot \Delta i^{218}_{нов} \cdot \tau_{заг}; \quad (2.53)$$

де $i^{218}_{нов} = 291,8 \text{ кДж/м}^3$;

$\bar{B}_{нов}$ - витрата повітря;

$$\bar{B}_{нов} = 2,494 \cdot \bar{B}_2;$$

$$\bar{B}_{нов} = 2,494 \cdot 1449 = 3614 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$Q^{OK}_{нов} = 3614 \cdot 242,4 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 7,23 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива, що підведена у керамічному рекуператорі:

$$Q^{рек}_{нов} = \bar{B}_{нов} \cdot \Delta i_{нов(892-218)} \cdot \tau_{заг}; \quad (2.54)$$

де $i^{218}_{нов} = 242,4 \text{ кДж/м}^3$;

$i^{892}_{нов} = 1271 \text{ кДж/м}^3$;

$$Q^{рек}_{нов} = 3614 \cdot (1271 - 242,4) \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Загальна фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива:

$$Q_{нов} = Q_{нов}^{OK} + Q_{нов}^{рек}; \quad (2.55)$$

$$Q_{нов} = 0,6 \cdot 10^{10} + 2,1 \cdot 10^{10} = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Фізична теплота підігрітого газу для горіння палива при $\bar{t}_g = 300 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{газ} = \bar{B}_g \cdot i_g \cdot \tau_{газ}; \quad (2.56)$$

$$Q_{газ} = 1449 \cdot 429 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 1,327 \cdot 10^{10} \text{ Дж};$$

де $i_{газ} = 1327 \text{ кДж/м}^3$.

Розрахунок статей витрати теплоти.

Теплота, засвоєна металом за нагрівання:

$$Q_M = E \cdot \Delta i_{газ}; \quad (2.57)$$

$$Q_M = 41391 \cdot 869,3 = 3,59 \cdot 10^{10} \text{ кДж.}$$

Теплові втрати робочої камери (для існуючих конструкцій нагрівальних колодязів теплові втрати складають приблизно 20% від теплоти, що засвоюється металом):

$$\Sigma Q_{втр} = 0,2 \cdot Q_M; \quad (2.58)$$

$$\Sigma Q_{втр} = 0,2 \cdot 3,59 \cdot 10^{10} = 0,718 \cdot 10^{10} \text{ кДж.}$$

Теплота, що виноситься з робочого простору печі з димом:

$$Q_{дим} = \bar{B}_d \cdot i_d \cdot \tau_{газ}; \quad (2.59)$$

$$Q_{дим} = 4785 \cdot 1923,9 \cdot 10^3 \cdot 6,86 = 6,32 \cdot 10^{10} \text{ Дж};$$

де i_d – ентальпія продуктів згоряння при температурі,

$i_d = 1923,9 \text{ кДж/м}^3$:

$$\bar{t}_d = 0,5 \cdot (t_{d,н} + t_{d,кл}); \quad (2.60)$$

$$\bar{t}_d = 0,5 \cdot (1101,7 + 1333,6) = 1217,6 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Теплота, що виноситься продуктами горіння від спалювання палива в димар:

$$Q_{д.тр} = Q_{дим} - Q_{нов}^{рек} - Q_{газ}; \quad (2.61)$$

$$Q_{d.mp} = 6,32 \cdot 10^{10} - 2,1 \cdot 10^{10} - 1,32 \cdot 10^{10} = 2,91 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

Результати розрахунку зводимо в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Тепловий баланс робочої камери колодязя

Статті	Прихід теплоти		Статті	Витрата теплоти	
	10 ¹⁰ Дж	%		10 ¹⁰ Дж	%
Хімічна теплота від горіння палива	6,63	62,3	Теплота, засвоєна металом за нагрівання	3,59	37
Фізична теплота газу	1,32	12,4	Теплові втрати робочої камери	0,718	7
Фізична теплота підігрітого повітря для горіння палива В т.ч. - підведена в охолоджувальних колодязях; - підведена в рекуператорі;	2,7 0,601 2,1	25,4	Теплота, що вноситься з робочого простору печі димом, що йде	6,32	56
Разом	10,65	100	Разом	10,63	100

Нев'язка $\delta_l = 0,18 \%$, що є допустимим.

На рисунку 2.3 відображена енергетична схема процесу рекуперації гарячого повітря з колодязів уповільненого охолодження.

Економія газу на одному нагрівальному колодязі за 1 годину складе:

$$e = B_2^I - B_2^I; \quad (2.62)$$

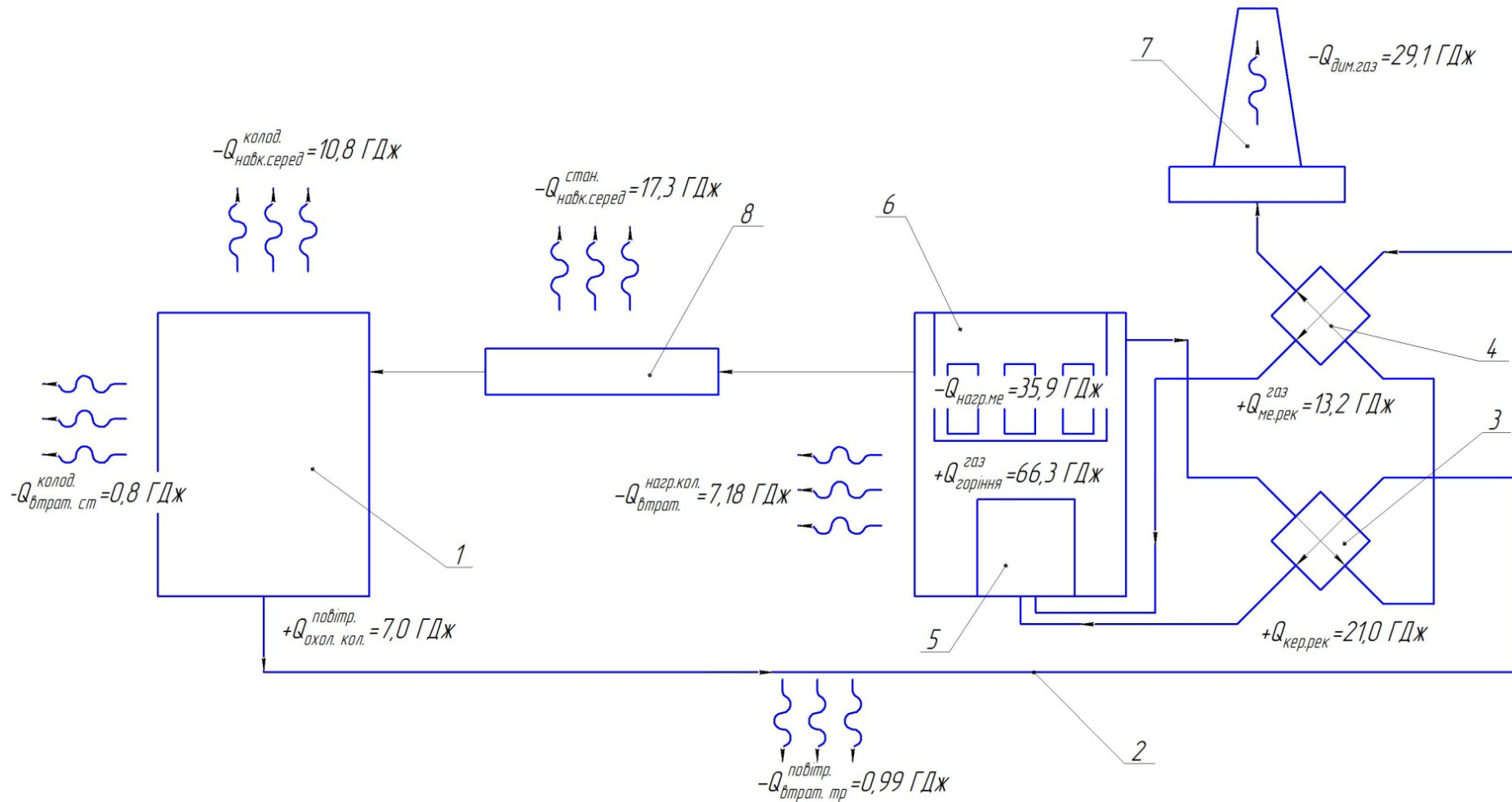
$$e = 1634 - 1449 = 185 \text{ м}^3 \text{ або } (185/1634) = 11,32 \%$$

Економія газу на всіх нагрівальних колодязях стану 1050 за 1 годину складе:

$$E_{газ} = e \cdot N; \quad (2.63)$$

де N – кількість нагрівальних колодязів, $N=24$ шт;

$$E_{газ} = 185 \cdot 24 = 4440 \text{ м}^3.$$



1—колодязь уповільненого охолодження; 2 – повітропровід, що подає гаряче повітря; 3- керамічний рекуператор;
4 – металевий рекуператор; 5 – інжекторний пальник; 6 – нагрівальний колодязь; 7 – димова труба; 8 – стан 1050.

Рисунок 2.3 – Енергетична схема процесу повторного використання теплової енергії

Річний економічний ефект:

$$E = C_{газу} \cdot E_{газ} \cdot t_{роб} \cdot 365; \quad (2.64)$$

$$E = 4,2 \cdot 4440 \cdot 22 \cdot 365 = 149743440 \text{ грн.}$$

2.1.5 Проектування обладнання відбору енергії з охолоджувальних колодязів

Розрахунок необхідної витрати повітря.

Для відбору тепла від охолоджуючих колодязів проектуємо мережу гнучких повітроводів, кожен з яких оснащено власним вентилятором та швидкокороз'ємним механізмом для під'єднання до муфти охолоджувального колодязя [26].

Для підбору відцентрових вентиляторів та діаметрів повітроводів розраховуємо теоретичну витрату повітря для 3-х типів охолоджуючих колодязів. Витрата повітря обмежується мінімальною необхідною кількістю повітря, що дозволить перенести розрахункову кількість теплоти за час ефективного охолодження від металопрокату до пальника нагрівального колодязя:

$$V_{ПОВ}^I = \frac{q}{C_V \cdot \Delta t}; \quad (2.65)$$

де q – питома кількість теплоти, що відводиться, Дж/год;

C_V – середня для діапазону температур від 800 до 350 °С об'ємна теплоємність;

$$C_V = \frac{H_{800} - H_{350}}{\Delta t}; \quad (2.66)$$

Δt -діапазон температур; $\Delta t = 800 - 350 = 450$ °С.

$$C_V = \frac{1134 - 474}{450} = 1,47 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{К}.$$

Для типу 1(ємність 200 т):

$$B_{\text{ПОВ}}^1 = \frac{1,15 \cdot 10^9}{1470 \cdot 450} = 1738 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для типу 2(ємність 100 т):

$$B_{\text{ПОВ}}^2 = \frac{0,376 \cdot 10^9}{1470 \cdot 450} = 568,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для типу 3(ємність 140 т):

$$B_{\text{ПОВ}}^3 = \frac{0,53 \cdot 10^9}{1470 \cdot 450} = 801,2 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Загальна мінімально необхідна кількість повітря, що дозволить перенести розрахункову кількість теплоти за час ефективного охолодження від металопрокату до пальників нагрівальних колодязів:

$$B_{\text{ПОВ}}^{\Sigma} = B_{\text{ПОВ}}^1 \cdot 18 + B_{\text{ПОВ}}^2 \cdot 4 + B_{\text{ПОВ}}^3 \cdot 14; \quad (2.67)$$

$$B_{\text{ПОВ}}^{\Sigma} = 1738 \cdot 18 + 568,4 \cdot 4 + 801,2 \cdot 14 = 44774 \text{ м}^3/\text{год}.$$

В той же час, необхідна для спалювання газу в пальниках нагрівальних колодязів, кількість повітря:

$$B_{\text{ПОВ}}^{\text{НК}} = B_{\text{ПОВ}}^1 \cdot 24; \quad (2.68)$$

$$B_{\text{ПОВ}}^{\text{НК}} = 3614 \cdot 24 = 86736 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Для визначення можливого впливу конвекції на швидкість охолодження металу розрахуємо швидкість руху повітря у охолоджувальному колодці 1-го типу.

Максимальна витрата повітря через охолоджувальний колодязь:

$$B_{\text{ПОВ}}^{\text{max1}} = \frac{B_{\text{ПОВ}}^{\text{НК}}}{B_{\text{ПОВ}}^{\Sigma}} \cdot B_{\text{ПОВ}}^1; \quad (2.69)$$

$$B_{\text{ПОВ}}^{\text{max1}} = \frac{86736}{44774} \cdot 1738 = 3367 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Кратність повітрообміну:

$$n = \frac{B_{\text{ПОВ}}^{\text{maxI}}}{V_{\text{ОК}}}; \quad (2.70)$$

де $V_{\text{ОК}}$ - об'єм охолоджувального колодязя;

$$V_{\text{ОК}} = 5 \cdot 5 \cdot 2 = 50 \text{ м}^3.$$

$$n = \frac{3367}{50} = 67,34.$$

Максимальна швидкість руху потоку повітря:

$$v_{\text{max}} = \frac{L_{\text{min}} \cdot n}{3600} \quad (2.71)$$

де L_{min} - мінімальна довжина шляху повітря в охолоджуючих колодязях, $L_{\text{min}} = 3,21 \text{ м}$.

$$v_{\text{max}} = \frac{3,21 \cdot 67,34}{3600} = 0,06 \text{ м/с}.$$

2.1.6 Розрахунок припливних вентиляторів та повітропроводів

Підбір припливних вентиляторів для відсмоктування повітря з охолоджувальних колодязів:

Згідно з розрахунковими витратами повітря підберемо вентилятори [14].

Для першого типу охолоджуючих колодязів підійде вентилятор серії ВЦ 14-46 НЖ №2 /АИР 71А4 0,5 кВт 1500 об/хв.

Для другого типу охолоджуючих колодязів підійде вентилятор серії ВЦ 14-46 НЖ №2 /АИР 63А4 0,25 кВт 1500 об/хв.

Для третього типу охолоджуючих колодязів підійде вентилятор серії ВЦ 14-46 НЖ №2 /АИР 63А4 0,25 кВт 1500 об/хв.

Використовується спеціальна нержавіюча жаростійка сталь.

Для транспортування повітря використовується спеціальний жаростійкий рукав діаметром 160 мм.

Високо температурний шланг типу "Клин К2" призначений для всмоктування газу і гарячих газів, гарячого повітря, так само використовується для вентиляції і видалення вихлопних гарячих летючих середовищ при температурі до 600°C. Можливе використання в пожежонебезпечних виробництвах (хлібопекарні, цегельні заводи, СТО і т.п.). Шланг низького тиску, що стискається в осьовому напрямку. Діапазон діаметрів від 40 мм до 1000 мм [18].

Зовнішній вигляд представлений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 - Високо температурний шланг типу "Клин К2"

Особливості: шланг вентиляційний, рифлений зовні, гнучкий, сріблястого кольору, відсутність запаху, шланг армований оцинкованої сталеві смугою, застосовується вогнезахисний матеріал.

Матеріал стінок: внутрішній шар - скловолокно, зовнішній шар - алюмінієве наплення. Товщина стінок: 0,5 мм. Спіраль: оцинкована сталь. Проведення електростатичних зарядів: по заземлення спіралі. Робоча температура: до + 400°C, короткочасно до + 600°C. Тепловий опір: покриття окислюється при + 230°C. Трубопроводи Класу «Клин» призначені для

транспортування газів. Основа конструкції - сталева оцинкована профільована стрічка.

Підбір припливного вентилятора для подачі повітря від охолоджуючих колодязів до горілок:

$$V_{в.мах} = V_{ПОВ}^{НК} - V_{ПОВ}^{\Sigma}; \quad (2.72)$$

$$V_{в.мах} = 86736 - 44774 = 41962 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Довжина повітропроводів становить близько 240 м. Втрати тиску для повітропроводів з діаметром 1200 мм становлять 5,5 Па/м.

Втрати тиску по всій довжині повітропроводу:

$$\Delta p = 5 \cdot 240 = 1200 \text{ Па.}$$

Робоча точка вентилятора: 42000 м³/год, 1200 Па. Такій робочій точці відповідає вентилятор серії ВГДН-17з двигуном ДАЗО-5АМ, 132 кВт, n=1000 об/хв. Такому вентилятору відповідають повітропроводи з діаметром 1100 мм. Основні характеристики вентилятора серії ВГДН-17представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8- Основні характеристики вентилятора серії ВГДН-17

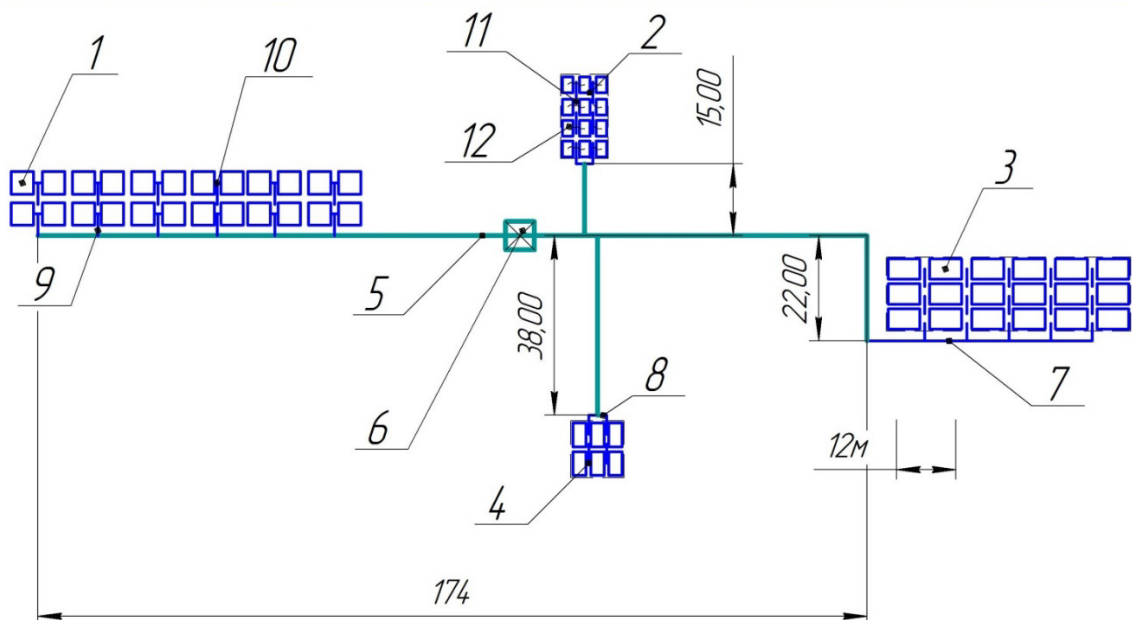
Параметр	Величина
Модель	ВГДН-17
Тип електродвигуна	ДАЗО, 5АМ
Напруга, В	380/660, 6000
Тиск, Па	2227-5010
Виробничість, м ³ /год	75300-113000
Потужність двигуна, кВт	132-400
Частота, об./хв	1000-1500
Максимальна температура, °С	400
Максимальний ККД, max (%)	85
Маса, кг	3280

Вартість вентилятору ВГДН-17- 470000 грн.

Проектування мережі повітропроводів.

Повітропроводи складаються з кількох ділянок. Ділянка всмоктування повітря з кришки охолоджуючих колодязів. З одного боку під'єднується до штуцера в кришці охолоджуючих колодязів, з іншого – до вхідного отвору всмоктуючого вентилятора. Використовуємо короткі (5 м) гнучкі рукави типу Клин К2, діаметром 160 мм. Сумарна довжина становить 180 м. Ділянка «міжрядна» від виходу всмоктуючих вентиляторів до з'єднуючого повітропроводу. Використовуємо гнучкі утеплені повітропроводи діаметром 400 мм. Сумарна довжина 72 м. Ділянка «з'єднуюча», що з'єднує між собою міжрядні з одного боку, а з іншого під'єднується до входу в магістральний повітропровід. Використовуємо повітропровід діаметром 630 мм. Сумарна довжина 200 м. Ділянка «магістральний повітропровід». Використовуємо повітропровід діаметром 1100 мм, довжина 240 м.

На рисунку 2.5 зображена схема прокладання повітропроводів.



1 – нагрівальні колодязі; 2, 3, 4 – охолоджувальні колодязі; 5 – магістральний повітропровід; 6 – центральний нагнітаючий вентилятор; 7, 8 – «з'єднуючі» ділянки повітропроводу; 10, 11 – міжрядні ділянки повітропроводу; 12 – всмоктуючі гнучкі повітропроводи.

Рисунок 2.5 – Схема прокладання повітропроводів

Регулювання приводу відбувається шляхом зниження обертів двигунів вентиляторів при потребі перетворювачем частоти Siemens SINAMICS V20 0,37.

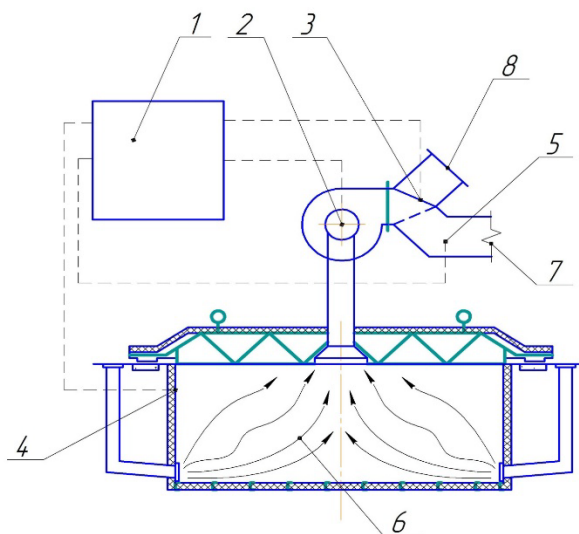
Зниження подачі відбувається у 2-х випадках: занадто швидке вихолодження металу, надходження повітря з температурою нижче запрограмованої.

При зниженні температури в колодязі нижче 350°C повітряна заслінка на виході з вентилятору стає у положення, коли все повітря йде не до магістрального повітроводу, а до цеху.

Проектування автоматики управління подачею повітря.

Для запобігання вихолодження металу або роботи при температурах, нижче заданих, використовуються автоматика управління подачі повітря.

Інформаційно-вимірвальна схема вузла забору повітря з охолоджувального колодязю зображена на рисунку 2.6.



1 – контроллер; 2 – привод вентилятора з частотним регулюванням; 3 – заслінка з електроприводом; 4 – безконтактний датчик температури в охолоджувальному колодязі; 5 – датчик температури в магістралі подачі повітря на пальник; 6 – охолоджуючий колодязь; 7 – магістраль подачі повітря до пальника охолоджуючого колодязя; 8 – вихід повітря в цех.

Рисунок 2.6 - Інформаційно-вимірвальна схема вузла забору повітря з охолоджувального колодязю

Заслінки вибухозахищені круглого перетину з ручним керуванням АЗД 196,000, АЗД 197,000 серії з 3,904-20 здатні переміщати і регулювати вибухонебезпечні повітряні суміші в припливно-витяжних системах вентиляції (рисунок 2.7).

Використовуються вибухозахищені заслінки круглого перетину з ручним керуванням АЗД 196,000, АЗД 197,000 в припливно-витяжних системах вентиляції, кондиціонування, повітряного опалення та інших санітарно-технічних системах. Заслінки АЗД 196,000, АЗД 197,000 - використовуються у вентиляційних системах, де переміщаються вибухонебезпечні гази (ГОСТ 12.1.011).

Не допускається застосовувати жароміцні заслінки в температурної середовищі вище 500°C . Заслінки допускається встановлювати в системах з тиском до 1500 Па. Запиленість не повинна перевищувати 100 мг/м і не містити волокнисті і липкі матеріали.

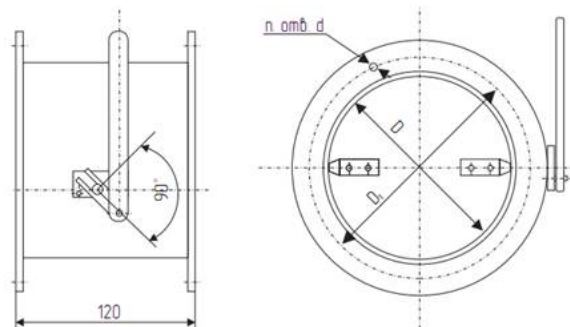


Рисунок 2.7- Заслінки з ручним керуванням серії 3,904-20

Вибір рекуператора установки для нагріву газу.

В даний час представлений широкий діапазон вибору теплообмінників, рекуператорів і т.д. Існуючі сьогодні конструкції рекуператорів мають вельми серйозні недоліки, які часто визначають відсутність цих пристроїв в технологічних процесах.

Перш за все, це: незадовільні масогабаритні показники; висока вартість і великий термін окупності; складність або неможливість ремонту; низька термопластичність; високий аеродинамічний опір; схильність до зашлакування (заростання робочих зазорів продуктами горіння).

Як вже згадувалося раніше рекуператор позиція замовна, проте вдалося знайти відповідний рекуператор, який був вже виготовлений для іншого підприємства одним з виробників трубчастих теплообмінників українською фірмою ЗАТ «Кераммаш».

Труби для рекуператорів виготовляють з різних марок сталей в залежності від температури продуктів згоряння і необхідної температури підігріву повітря. При цьому можливий підігрів повітря до 400°C і використання продуктів згоряння при температурі димових газів перед рекуператором до 900°C [31].

Складемо орієнтовний кошторис системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження. Дані по кошторису зведемо до таблиці 2.9.

Дані по кошторису на систему рекуперації тепла від відхідних газів для підігріву газу, що подається в камеру горіння на інжекторну горілку представлений в таблиці 2.10.

Таблиця 2.9 – Кошторис системи повторного використання тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження

№ з/п	Елемент системи	Ціна, тис.грн	Кількість, шт	Сума, тис.грн	Вартість монтажних матеріалів, тис.грн	Вартість монтажних робіт, тис.грн	Всього, тис.грн
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Вентилятор ВЦ 14-46 НЖ №2 (0,25 кВт, 1500 об/хв)	7,308	18	131,544	13,154	46,040	190,739
2	Вентилятор ВЦ 14-46 НЖ №2 (0,5 кВт, 1500 об/хв)	7,800	18	140,4	14,040	49,140	203,580

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20 0,37 кВт	3,697	18	66,546	6,655	23,291	96,492
4	Частотний перетворювач Siemens SINAMICS V20 0,5 кВт	3,912	18	70,416	7,042	24,646	102,103
5	Заслінка АЗД 196.000 з електроприводом	2,680	36	96,480	9,648	33,768	139,896
6	Контролер	111,8	36	402,696	40,270	140,944	583,909
7	Димосос ВТДН-17	0,470	1	470	47	164,5	681,5
8	Рукав Клин К2	0,952	180	171,360	17,136	59,976	248,472
9	Повітропровід теплоізолюваний д.400	0,778	72	56,016	5,602	19,606	81,223
10	Повітропровід теплоізолюваний д.630	1,216	200	243,2	24,320	85,12	352,640
11	Повітропровід теплоізолюваний д.1100	2,640	240	316,8	31,680	110,880	459,360
12	Фасонні деталі повітропроводів	184,8	1	184,805	18,480	64,682	267,967
13	Запорно-регулююча арматура	92,40	1	92,402	9,240	32,341	133,983
14	Автоматика керування	200	1	200	20	70	290
15	Електромотажні матеріали	680	1	680	68	238	986
16	Реставрація колодязів	200	36	7200	720	2520	10440
17	Виготовлення кришок колодязів	360	36	12960	1296	4536	18792
Всього				23482,6	2348,26	8218,93	
Сума капіталовкладень на систему повторного використання теплової енергії з охолоджувальних колодязів:							34049,9

Таблиця 2.10 – Кошторис системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння

Елемент системи	Ціна, грн	Вартість монтажних матеріалів, грн	Вартість монтажних робіт, грн	Всього, грн
Рекуператор	20 000 000	2 000 000	6 000 000	28 000 000

2.2 Підвищення енергоефективності електроприводу стану

Згідно з даними отриманими після аналізу механічної частини електроприводу основних агрегатів сорто-заготівельно стану 1050 виявлено, що ножиці гарячого різання тиском 900 т з нижнім різом, які призначені для обрізки й порізки прибуткової частини злитку, а в разі необхідності, при прокатці твердих марок сталі - для обрізки донної частини перед прокаткою на заготівельній кліті мають малоефективний редуктор серії 1Ц2Н-560К [9]. Ножиці розташовані в лінії обтискної кліті на відстані 19700 мм від осі стану. Привід ножиць від двох електродвигунів через редуктор. Технічні характеристики редуктора представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики редуктора 1Ц2Н-560К

Тип	Номінальне передавальне число	Номінальний обертаючий момент на вихідному валу, Нм	Номінальне радіальне консольне навантаження на валу, Н		ККД, %
			На швидкому ході валу	Тихохідний циліндричний вал	
1Ц2Н-560	25	56000	10000	100000	95

Редуктор який відповідає потребам це одноступеневий редуктор серії 9Ц2-560 [30].

Редуктор 1Ц2Н-560К має ККД 95%, через що щогодини відбуваються втрати енергії під час обрізі гарячого прокату у розмірі:

$$W_{ел.ен.} = (P_{ел.дв.} \cdot (1 - \eta_{ред})) \cdot t_{дв.}; \quad (2.73)$$

$$W_{ел.ен.} = (280 \cdot 2 \cdot (1 - 0,95)) \cdot 22 = 616 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

На даний час існують редуктора з ККД 99 %, що в значній мірі скоротить втрати енергії в процесі різання прокату ножицями 900 т.

Редуктор серії циліндричних редукторів і мотор-редукторів «CUBEX» - спільна розробка ДП «Редуктор» і італійського концерну STM team. У ній поєднуються, мабуть, кращі конструктивні рішення в області середньо- і надпотужних приводів з всього спектра пропонованих сьогодні редукторним ринком варіантів[10].

У цього редуктора наступні переваги:

- компактне виконання в корпусах кубічної форми;
- великий спектр варіантів просторового розташування передач і валів;
- підвищений ККД 99 %.

Технічні характеристики редуктора 9Ц2-560 представлені в таблиці 2.13 Зовнішній вигляд редуктора представлений на рисунку 2.12.

Таблиця 2.12 - Технічні характеристики редуктора 9Ц2-560

Тип	Номінальне передавальне число	Номінальний обертаючий момент на вихідному валу, Нм	Маса, кг	ККД, %
9Ц2-560	23,1	43000	5766	99

Розрахуємо ефект від заміни редуктора на більш сучасний з вищим ККД:

$$E = W_{ел.ен.} - ((\eta_{ред1} - \eta_{ред2}) \cdot P_{дв} \cdot t_{дв}); \quad (2.74)$$

$$E = 616 - ((0,99 - 0,95) \cdot 560 \cdot 22) = 123,2 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

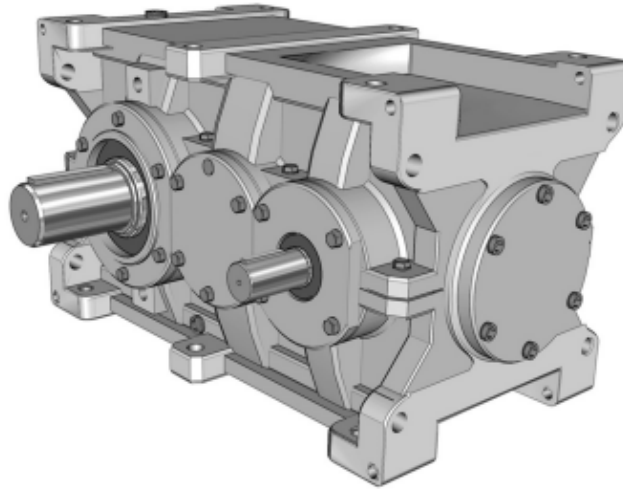


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд редуктора серії 9Ц2-560

Складемо орієнтовний кошторис заміни редуктора. Дані по кошторису зведемо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Кошторис на редуктор 9Ц2-560

Назва	Ціна, грн	Вартість монтажних матеріалів, грн	Вартість монтажних робіт, грн	Всього, грн
Редуктор 9Ц2-560	170 000	17 000	51 000	238 000

Заміна редуктора надасть змогу зменшити втрати на 123,2 кВт·год щоденної роботи ножиць.

Річний економічний ефект становитиме:

$$E_p = E \cdot 365 \cdot C_{ел.ен.}; \quad (2.75)$$

$$E_p = 123,2 \cdot 365 \cdot 2,36 = 106124,48 \text{ грн.}$$

Маючи дані кошторису запропонованих енергозберігаючих заходів проведемо розрахунки економічної доцільності впровадження проектів. Визначимо основні економічні показники, які впливають на прийняття рішення з реалізації запропонованих енергозберігаючих заходів, які направленні на підвищення енергоефективності прокатного стану 1050.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Розрахунок показників ефективності модернізації системи нагріву прокату

При впровадженні системи повторного використання теплової енергії виникають наступні особливості роботи системи нагріву злитків:

1) через підвищення температури подачі повітря до керамічного шамотного рекуператора, його ефективність, яка залежить від температурного напору, знижується. Внаслідок чого від димових газів відбирається менше енергії, самі димові гази виходять з рекуператора з більшою температурою;

2) при перевищенні температури димових газів певної межі (для різних типів в межах від 600 до 750°C) робота металевих рекуператорів унеможлиблюється, через значне зниження міцності сталі і, як наслідок, зниження експлуатаційної надійності [17]. Тому, при розрахунках, потрібно задати обмеження по температурі димових газів, що направляються в металевий трубчато-петлевий рекуператор, незважаючи на більшу економію палива по всьому процесу. Задамо максимальну температуру газу на вході у металевий рекуператор 750°C;

3) при підвищенні температури подачі повітря з колодязів повільного охолодження зростають і втрати тепла при транспортуванні повітря. Це також треба враховувати.

Таким чином, для прийняття рішення про найбільш доцільні параметри роботи системи повторного використання теплової енергії, визначимо:

1) залежність коефіцієнта рекуперації шамотного рекуператора від температури повітря на вході для діапазону можливих температур повітря від 100 до 600°C;

- 2) залежність теплових втрат при транспортуванні повітря для діапазону можливих температур повітря від 100 до 600°C;
- 3) залежність коефіцієнта корисної дії металевого рекуператора від температури димових газів на вході;
- 4) розрахунок додаткових теплових надходжень від фізичної теплоти газу та повітря для обраного діапазону температур;
- 5) розрахунок загальної економії палива для обраного діапазону температур.

3.1.1 Розрахунок теплоти, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях з урахуванням теплових втрат

Для розрахунку втрат тепла при транспортуванні гарячого повітря задамо діапазон нагрівання повітря від 100 до 600°C[33].

Теплоту, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях визначаємо за формулою:

$$Q'_{охл.кол.} = (t_{нов} - t_{ц}) \cdot C_{нов} \cdot B_{нов}; \quad (3.1)$$

де $t_{нов}$ – температура підігріву повітря, °C;

$t_{ц}$ – температура повітря в цеху (прийнято для розрахунків 25°C), °C;

$B_{нов}$ – масова витрата повітря, м³/год;

$C_{нов}$ – об'ємна теплоємність повітря, Дж/м³·K;

тоді,

$$Q'_{охл.кол.1} = (25 - 25) \cdot 3614 \cdot 1256,5 = 0 \text{ Дж};$$

$$Q'_{охл.кол.2} = (100 - 25) \cdot 3614 \cdot 1256,5 = 3,4 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

Подальші аналогічні, їх результати занесені до таблиці 3.1.

Теплові втрати при транспортуванні повітря від охолоджуючих колодязів до входу в пальник знаходимо за формулою:

$$Q_{mp} = S_{нов.пр.} \cdot R_t \cdot \frac{t_{нов} - t_u}{B_{нов}}; \quad (3.2)$$

де $S_{нов.пр.}$ – площа повітропроводу, м²;

R_t – тепловий опір теплоізоляції повітропроводу, м²·К/Вт;

тоді,

$$Q_{mp1} = 224 \cdot 1,25 \cdot \frac{25 - 25}{3614} = 0 \text{ Дж};$$

$$Q_{mp2} = 224 \cdot 1,25 \cdot \frac{100 - 25}{3614} = 4,86 \cdot 10^7 \text{ Дж}.$$

Подальші розрахунки аналогічні, їх результати занесені до таблиці 3.1.

Температуру повітря на вході в пальник знаходимо за формулою:

$$t'_{нов} = t_{нов} \cdot \frac{Q_{mp}}{C_{нов} \cdot B_{нов}}; \quad (3.3)$$

тоді,

$$t'_{нов1} = 25 \cdot \frac{0}{1256,5 \cdot 3614} = 25^\circ\text{C};$$

$$t'_{нов2} = 100 \cdot \frac{5,48 \cdot 10^7}{1256,5 \cdot 3614} = 89,3^\circ\text{C}.$$

Подальші розрахунки аналогічні, їх результати занесені до таблиці 3.1.

Теплоту, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях з урахуванням теплових втрат знаходимо за формулою:

$$Q_{охл.кол.} = Q'_{охл.кол.} - Q_{mp}; \quad (3.4)$$

тоді,

$$Q_{охл.кол.1} = 0 - 0 = 0 \text{ Дж};$$

$$Q_{охл.кол.2} = 3,4 \cdot 10^8 - 4,86 \cdot 10^7 = 3,29 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

Подальші розрахунки аналогічні, результати занесені до таблиці 3.1.

Розрахунок теплоти, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях з урахуванням теплових втрат необхідний для визначення теплового потенціалу проекту з впровадження системи відбору гарячого повітря від колодязів уповільненого охолодження.

Таблиця 3.1 – Розрахунок втрат тепла при транспортуванні повітря

Температура повітря на виході з охолоджуючих колодязів, °С	Температура повітря на вході в пальник, °С	Теплота, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях, Дж	Теплові втраги при транспортуванні повітря від охолоджуючих колодязів до входу в пальник, Дж	Теплота, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях з урахуванням теплових втрат, Дж
25	25	0,00	0,00	0,00
100	89,3	$3,40 \cdot 10^8$	$4,86 \cdot 10^7$	$2,92 \cdot 10^8$
150	132,2	$5,67 \cdot 10^8$	$8,09 \cdot 10^7$	$4,87 \cdot 10^8$
200	175,0	$7,94 \cdot 10^8$	$1,13 \cdot 10^8$	$6,81 \cdot 10^8$
250	217,9	$1,02 \cdot 10^9$	$1,46 \cdot 10^8$	$8,76 \cdot 10^8$
300	260,8	$1,25 \cdot 10^9$	$1,78 \cdot 10^8$	$1,07 \cdot 10^9$
350	303,6	$1,48 \cdot 10^9$	$2,10 \cdot 10^8$	$1,26 \cdot 10^9$
400	346,5	$1,70 \cdot 10^9$	$2,43 \cdot 10^8$	$1,46 \cdot 10^9$
450	389,4	$1,93 \cdot 10^9$	$2,75 \cdot 10^8$	$1,65 \cdot 10^9$
500	432,2	$2,16 \cdot 10^9$	$3,08 \cdot 10^8$	$1,85 \cdot 10^9$
550	475,1	$2,38 \cdot 10^9$	$3,40 \cdot 10^8$	$2,04 \cdot 10^9$
600	518,0	$2,61 \cdot 10^9$	$3,72 \cdot 10^8$	$2,24 \cdot 10^9$

Теплота, що підводиться до повітря в охолоджуючих колодязях з урахуванням теплових втрат зі збільшенням температури повітря на виході з охолоджуючих колодязів зростає. Економічний ефект прямо пропорційний значенню теплоти, що підводиться до повітря, адже чим більше температура повітря на вході нагрівальний колодязь, тим менше витрати домено-коксової суміші на нагрів металу. Отже більш доцільно нагрівати повітря до максимально можливого значення.

3.1.2 Розрахунок теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі

Для розрахунку теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі задамо діапазон температур від 100 до 600°C.

Розрахунок температурного напору на вході в рекуператор здійснюємо за формулою:

$$\Delta t^{ex} = t'_{\partial} - t'_{нов}; \quad (3.5)$$

де t'_{∂} – температура відхідних газів;

тоді,

$$\Delta t_1^{ex} = 1220 - 25 = 1195 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_2^{ex} = 1220 - 89,3 = 1131 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Подальші розрахунки температурного напору на вході в рекуператор здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Теплові надходження з повітрям знаходимо за формулою:

$$q'_{нов} = C_{нов} \cdot B_{нов} \cdot t'_{нов}; \quad (3.6)$$

$$q'_{нов1} = 3614 \cdot 1256,25 \cdot 25 = 1,13 \cdot 10^8 \text{ Дж/год};$$

$$q'_{нов2} = 3614 \cdot 1256,25 \cdot 89,3 = 4,05 \cdot 10^8 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки надходження тепла з повітрям здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Теплові надходження з димовими газами знаходимо за формулою:

$$q'_{\partial} = C_{\partial} \cdot B_{\partial} \cdot t'_{\partial}; \quad (3.7)$$

$$q'_{\partial1} = 4785 \cdot 1579,5 \cdot 1220 = 9,22 \cdot 10^9 \text{ Дж/год};$$

$$q'_{\partial2} = 4785 \cdot 1579,5 \cdot 1220 = 9,22 \cdot 10^9 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки надходження тепла з димовими газами здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Температуру димових газів на виході з рекуператора визначаємо за формулою:

$$t''_{\partial} = \frac{q'_{\partial} - \eta_{кер.рек.} \cdot (q'_{\partial} - q'_{нов})}{C_{\partial} \cdot B_{\partial}}; \quad (3.8)$$

де $\eta_{кер.рек.}$ - ККД керамічного рекуператора;

B_{∂} – масова витрата димових газів, м³/год;

C_{∂} – об'ємна теплоємність димових газів, Дж/м³·К;

тоді,

$$t''_{\partial 1} = \frac{9,22 \cdot 10^9 - 0,39 \cdot (9,22 \cdot 10^9 - 1,13 \cdot 10^8)}{1579,5 \cdot 4785} = 754^{\circ}\text{C};$$

$$t''_{\partial 2} = \frac{9,22 \cdot 10^9 - 0,39 \cdot (9,22 \cdot 10^9 - 4,05 \cdot 10^8)}{1579,5 \cdot 4785} = 782^{\circ}\text{C}.$$

Подальші розрахунки температури димових газів на виході з рекуператора здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Температура повітря на виході з рекуператора визначається за формулою:

$$t''_{нов} = t_{нов} + \frac{B_{\partial} \cdot C_{\partial} \cdot (t'_{\partial} - t''_{\partial})}{B_{нов} \cdot C_{нов}}; \quad (3.9)$$

$$t''_{нов 1} = 25 + \frac{4785 \cdot 1579,5 \cdot (1220 - 754)}{3614 \cdot 1256,25} = 800^{\circ}\text{C};$$

$$t''_{нов 2} = 25 + \frac{4785 \cdot 1579,5 \cdot (1220 - 782)}{3614 \cdot 1256,25} = 830^{\circ}\text{C}.$$

Подальші розрахунки температури повітря на виході з рекуператора здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Залишок теплоти у повітрі на виході з рекуператора знаходимо за формулою:

$$q''_{нов} = C_{нов} \cdot B_{нов} \cdot t''_{нов}; \quad (3.10)$$

$$q''_{нов1} = 3614 \cdot 1256,25 \cdot 800 = 3,63 \cdot 10^9 \text{ Дж/год};$$

$$q''_{нов2} = 3614 \cdot 1256,25 \cdot 830 = 3,77 \cdot 10^9 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Залишок теплоти у димових газах на виході з рекуператора знаходимо за формулою:

$$q''_{\partial} = C_{\partial} \cdot B_{\partial} \cdot t''_{\partial}; \quad (3.11)$$

$$q''_{\partial1} = 4785 \cdot 1579,5 \cdot 754 = 5,7 \cdot 10^9 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Загальні теплові надходження на виході з рекуператора визначаємо за формулою:

$$q''_{заг} = q''_{нов} + q''_{\partial}; \quad (3.12)$$

$$q''_{заг1} = 3,63 \cdot 10^9 + 5,7 \cdot 10^9 = 9,33 \cdot 10^9 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Розрахунок теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі здійснюємо за формулою:

$$Q_{кер.рек.} = B_{нов} \cdot (t''_{нов} - t'_{нов}) \cdot C_{нов}; \quad (3.13)$$

$$Q_{кер.рек.1} = 4075 \cdot (800 - 25) \cdot 1256,25 = 3,52 \cdot 10^9 \text{ Дж}.$$

Подальші розрахунки теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2. За даними таблиці 3.2 побудований графік теплових надходжень від нагріву повітря, який зображений на рисунку 3.1.

За даними графіка на рисунку 3.1 побудована формула, що описує теплові надходження від нагріву повітря:

$$y = -2 \cdot 10^6 \cdot x + 4 \cdot 10^9 \quad (3.14)$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі

Температурний напір на вході в рекуператор, °С	ККД керамічного рекуператору "дим-повітря"	Теплові надходження з повітрям, Дж/год	Теплові надходження з димовими газами, Дж/год	Загальні теплові надходження на вході до рекуператора, Дж/год	Температуру димових газів на виході з рекуператора, °С	Температуру повітря на виході з рекуператора, °С	Залишок теплоти у повітрі на виході з рекуператора, Дж/год	Залишок теплоти у димових газах на виході з рекуператора, Дж/год	Загальні теплові надходження на виході з рекуператора, Дж/год	Теплота, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі, Дж
1195	0,39	$1,13 \cdot 10^8$	$9,22 \cdot 10^9$	$9,33 \cdot 10^9$	754	800	$3,63 \cdot 10^9$	$5,70 \cdot 10^9$	$9,33 \cdot 10^9$	$3,52 \cdot 10^9$
1131	0,38	$4,05 \cdot 10^8$	$9,22 \cdot 10^9$	$9,63 \cdot 10^9$	782	830	$3,77 \cdot 10^9$	$5,91 \cdot 10^9$	$9,67 \cdot 10^9$	$3,36 \cdot 10^9$
1088	0,37	$6,00 \cdot 10^8$	$9,22 \cdot 10^9$	$9,82 \cdot 10^9$	799	850	$3,86 \cdot 10^9$	$6,04 \cdot 10^9$	$9,90 \cdot 10^9$	$3,26 \cdot 10^9$
1045	0,36	$7,95 \cdot 10^8$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,00 \cdot 10^{10}$	817	871	$3,95 \cdot 10^9$	$6,17 \cdot 10^9$	$1,01 \cdot 10^{10}$	$3,16 \cdot 10^9$
1002	0,35	$9,89 \cdot 10^8$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,02 \cdot 10^{10}$	835	892	$4,05 \cdot 10^9$	$6,31 \cdot 10^9$	$1,04 \cdot 10^{10}$	$3,06 \cdot 10^9$
959	0,35	$1,18 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,04 \cdot 10^{10}$	852	913	$4,14 \cdot 10^9$	$6,44 \cdot 10^9$	$1,06 \cdot 10^{10}$	$2,96 \cdot 10^9$
916	0,34	$1,38 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,06 \cdot 10^{10}$	869	935	$4,24 \cdot 10^9$	$6,57 \cdot 10^9$	$1,08 \cdot 10^{10}$	$2,86 \cdot 10^9$
873	0,33	$1,57 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,08 \cdot 10^{10}$	886	957	$4,34 \cdot 10^9$	$6,69 \cdot 10^9$	$1,10 \cdot 10^{10}$	$2,77 \cdot 10^9$
831	0,32	$1,77 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,10 \cdot 10^{10}$	902	979	$4,44 \cdot 10^9$	$6,82 \cdot 10^9$	$1,13 \cdot 10^{10}$	$2,68 \cdot 10^9$
788	0,31	$1,96 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,12 \cdot 10^{10}$	919	1002	$4,55 \cdot 10^9$	$6,94 \cdot 10^9$	$1,15 \cdot 10^{10}$	$2,59 \cdot 10^9$
745	0,31	$2,16 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,14 \cdot 10^{10}$	935	1025	$4,65 \cdot 10^9$	$7,06 \cdot 10^9$	$1,17 \cdot 10^{10}$	$2,50 \cdot 10^9$
702	0,30	$2,35 \cdot 10^9$	$9,22 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^{10}$	951	1048	$4,76 \cdot 10^9$	$7,19 \cdot 10^9$	$1,19 \cdot 10^{10}$	$2,41 \cdot 10^9$

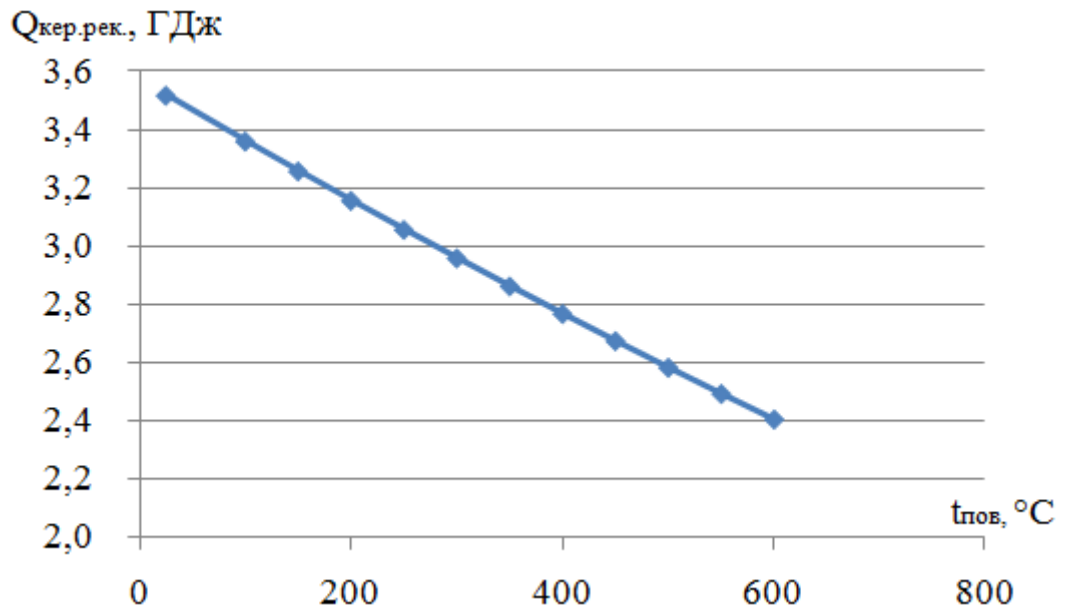


Рисунок 3.1 – Теплові надходження від нагріву повітря

Проаналізувавши графік теплових надходжень від нагріву повітря, видно що зі збільшенням температури повітря кількість теплоти, що підводиться до повітря в керамічному рекуператорі зменшується. Такий ефект зумовлений особливостями процесу рекуперації, чим більшу температуру на вході в керамічний рекуператор має повітря, тим меншу кількість теплоти керамічний рекуператор від відхідних газів зможе передати повітрю, що входить в камеру згорання суміші газу.

3.1.3 Розрахунок теплоти, що підводиться до газу в металевому рекуператорі

Розраховуючи теплоту, що підводиться до газу в металевому рекуператорі задаємо температуру газу на вході в металевий рекуператор «дим-газ» $t_2' = 20^\circ\text{C}$.

Розрахунок температурного напору на вході в металевий рекуператор здійснюємо за формулою:

$$\Delta t_2^{\text{ex}} = t_0'' - t_2'; \quad (3.15)$$

$$\Delta t_{21}^{6x} = 754 - 20 = 734^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{22}^{6x} = 782 - 20 = 762^\circ\text{C}.$$

Подальші розрахунки температурного напору на вході в металевий рекуператор здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.3.

Теплоту, що підводиться з газом знаходимо за формулою:

$$q'_2 = C_2 \cdot B_2 \cdot t'_2; \quad (3.16)$$

де B_2 – масова витрата газу, м³/год;

C_2 – об'ємна теплоємність газу, Дж/м³·К;

тоді,

$$q''_{21} = 1460,5 \cdot 1449 \cdot 20 = 4,2 \cdot 10^7 \text{ Дж/год};$$

Подальші розрахунки здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Загальні теплові надходження на виході з рекуператора визначаємо за формулою:

$$q'''_{заг} = q''_{нов} + q''_2 \quad (3.17)$$

$$q'''_{заг1} = 5,7 \cdot 10^9 + 4,2 \cdot 10^7 = 5,7 \cdot 10^9 \text{ Дж/год};$$

$$q'''_{заг2} = 5,91 \cdot 10^9 + 4,2 \cdot 10^7 = 5,9 \cdot 10^9 \text{ Дж/год}.$$

Подальші розрахунки здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.2.

Значення температури диму на виході з металевого рекуператора визначаємо за формулою:

$$t'''_{\partial} = \frac{q''_{\partial} - \eta_{мер.рек.} \cdot (q''_{\partial} - q'_2)}{C_{\partial} \cdot B_{\partial}}; \quad (3.18)$$

де $\eta_{мер.рек.}$ - ККД металевого рекуператора;

$$t'''_{\partial 1} = \frac{5,7 \cdot 10^9 - 0,3 \cdot (5,7 \cdot 10^9 - 4,2 \cdot 10^7)}{1579,5 \cdot 4785} = 530^\circ\text{C}.$$

Подальші розрахунки температури диму на виході з металевого рекуператора здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.3.

Температуру газу на виході з рекуператора визначаємо за формулою:

$$t_2'' = t_2' + \frac{B_d \cdot C_d \cdot (t_d'' - t_d''')}{B_2 \cdot C_2}; \quad (3.19)$$

$$t_{21}'' = 734 + \frac{4785 \cdot 1579,5 \cdot (754 - 530)}{1449 \cdot 1460,5} = 822^\circ\text{C}.$$

Подальші розрахунки аналогічні, результати занесені до таблиці 3.3.

Теплота, що підводиться до газу в металевому рекуператорі розраховується за формулою:

$$Q_{\text{мет.рек.}} = B_2 \cdot t_2'' \cdot C_2; \quad (3.20)$$

$$Q_{\text{мет.рек.1}} = 1449 \cdot 822 \cdot 1460,5 = 1,74 \cdot 10^9 \text{ Дж}.$$

Подальші розрахунки тепла, що підводиться до газу в металевому рекуператорі здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.3. За даними таблиці 3.4 побудований графік теплових надходжень від нагріву газу, який зображений на рисунку 3.2.

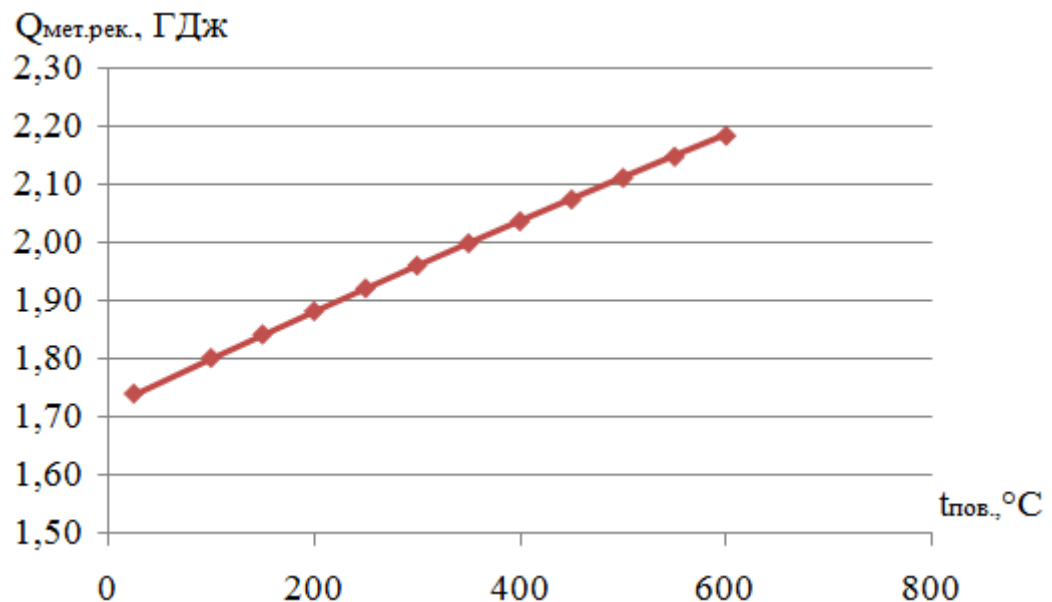


Рисунок 3.2 – Теплові надходження від нагріву газу

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку теплоти, що підводиться до газу в металевому рекуператорі

Температура газу на вході в металевий рекуператор "дим-газ", °С	Температурний напір на вході в металевий рекуператор, °С	ККД металевого рекуператору "дим-газ"	Теплота, що підводиться з газом, Дж/год	Загальні теплові надходження на виході з рекуператора, Дж/год	Температура диму на виході з металевого рекуператора, °С	Температура газу на виході з металевого рекуператора, °С	Теплота, що підводиться до газу в металевому рекуператорі, Дж
20	734	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^9$	530	822	$1,74 \cdot 10^9$
20	762	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$5,9 \cdot 10^9$	549	851	$1,80 \cdot 10^9$
20	779	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^9$	561	870	$1,84 \cdot 10^9$
20	797	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,2 \cdot 10^9$	574	889	$1,88 \cdot 10^9$
20	815	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^9$	586	908	$1,92 \cdot 10^9$
20	832	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^9$	598	927	$1,96 \cdot 10^9$
20	849	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,6 \cdot 10^9$	610	945	$2,00 \cdot 10^9$
20	866	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,7 \cdot 10^9$	622	963	$2,04 \cdot 10^9$
20	882	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$6,9 \cdot 10^9$	633	981	$2,08 \cdot 10^9$
20	899	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$7,0 \cdot 10^9$	645	998	$2,11 \cdot 10^9$
20	915	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$7,1 \cdot 10^9$	656	1015	$2,15 \cdot 10^9$
20	931	0,3	$4,2 \cdot 10^7$	$7,2 \cdot 10^9$	667	1033	$2,19 \cdot 10^9$

Формула, що описує теплові надходження від нагріву газу, яка виявлена за допомогою лінії Тренда має вигляд:

$$y = 773793x + 2 \cdot 10^9. \quad (3.21)$$

Проаналізувавши графік теплових надходжень від нагріву газу, видно що зі збільшенням температури диму на вході в металевий рекуператор теплота, що підводиться до газу в металевому рекуператорі збільшується. Чим більшу температуру на вході в металевий рекуператор має димові газу, тим більші теплові надходження від металевого рекуператора до суміші газу, і відповідно витрати газу менші.

Загальна кількість теплоти, що підводиться на всіх етапах рекуперації визначається за формулою:

$$Q_{заг} = Q_{кер.рек.} + Q_{мет.рек.} + Q_{охл.кол.}; \quad (3.22)$$

$$Q_{заг1} = 3,52 \cdot 10^9 + 1,74 \cdot 10^9 + 0 = 5,26 \cdot 10^9 \text{ Дж.}$$

Подальші розрахунки здійснено аналогічно, їх результати занесені до таблиці 3.4. За даними таблиці 3.4 побудований графік загальних теплових надходжень, який зображений на рисунку 3.3.

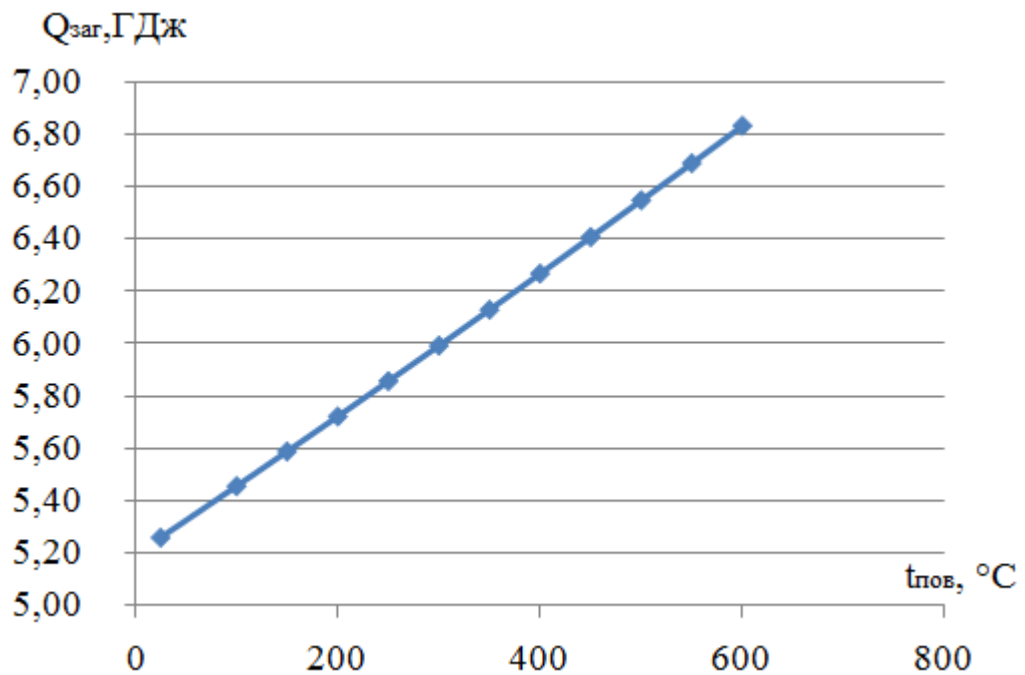


Рисунок 3.3 – Загальні теплові надходження

Таблиця 3.4 – Загальні надходження енергії від системи повторного використання тепла

Температура повітря на виході з охолоджуючих колодязів, °С	Загальна кількість теплоти, що підводиться в рекуператорах, Дж	Загальна кількість теплоти, що підводиться на всіх етапах рекуперації, Дж
25	$5,26 \cdot 10^9$	$5,26 \cdot 10^9$
100	$5,16 \cdot 10^9$	$5,46 \cdot 10^9$
150	$5,10 \cdot 10^9$	$5,59 \cdot 10^9$
200	$5,04 \cdot 10^9$	$5,72 \cdot 10^9$
250	$4,98 \cdot 10^9$	$5,86 \cdot 10^9$
300	$4,92 \cdot 10^9$	$5,99 \cdot 10^9$
350	$4,86 \cdot 10^9$	$6,13 \cdot 10^9$
400	$4,81 \cdot 10^9$	$6,27 \cdot 10^9$
450	$4,75 \cdot 10^9$	$6,41 \cdot 10^9$
500	$4,70 \cdot 10^9$	$6,55 \cdot 10^9$
550	$4,64 \cdot 10^9$	$6,69 \cdot 10^9$
600	$4,59 \cdot 10^9$	$6,83 \cdot 10^9$

Формула, що описує загальні теплові надходження енергії від системи повторного використання тепла, яка виявлена за допомогою лінії Тренда має вигляд:

$$y = 3 \cdot 10^6 \cdot x + 5 \cdot 10^9. \quad (3.23)$$

Отже загальна кількість теплоти, що підводиться на всіх етапах рекуперації прямо пропорційна температурі повітря на виході з охолоджуючих колодязів, тобто чим більшу кількість теплоти вдається передати за допомогою повітропроводу від колодязів уповільненого охолодження, тим менше витрата суміші газу на нагрів металу і тим більший економічний ефект від впровадження системи рекуперації теплової енергії.

3.2 Дисконтовані показники ефективності заходів з підвищення енергоефективності процесу прокату металу на стані 1050

Питання економічної ефективності при плануванні проектів розглядаються в різних масштабах та на різних стадіях планування. Відповідно розрізняють і методи, що застосовуються на окремих етапах планування та оцінки:

- на етапі проведення технічного аналізу та при плануванні фінансування проекту, коли відомі не всі умови підприємницької діяльності, вибір здійснюється на практиці за допомогою спрощеного часткового аналізу;

- на вирішальній стадії оцінки необхідно розглянути проект у цілому, беручи до уваги результати часткового аналізу, а потім прийняти позитивне або відхиляюче проект-рішення.

Це здійснюється за допомогою глобальних моделей. Глобальними вони називаються тому, що дозволяють враховувати всі умови фінансової сфери. Ефективність проекту характеризується системою показників, які виражають співвідношення вигід і витрат проекту з погляду його учасників.

Для оцінки ефективності проектів доцільніше використовувати показники, які дають змогу розрахувати значення критеріїв ефективності проектів, беручи до уваги комплексну оцінку вигід і витрат, зміну вартості грошей у часі та інші чинники. Правильне визначення обсягу початкових витрат на проект є запорукою якості розрахунків окупності проекту.

При аналізі ефективності проекту використовують такі показники [13].

1. Сума інвестицій — це вартість початкових грошових вкладень у проект, без яких він не може здійснюватись. Ці витрати мають довгостроковий характер. За період функціонування проекту протягом його «життєвого циклу» капітал, вкладений у такі активи, повертається у вигляді амортизаційних відрахувань як частина грошового потоку, а капітал,

вкладений в оборотні активи, в тому числі в грошові активи, по закінченню «життєвого циклу» проекту має залишатися у інвестора у незмінному вигляді й розмірі;

2. Грошовий потік — дисконтований або недисконтований дохід від здійснення проекту, який включає чистий прибуток та амортизаційні відрахування, які надходять у складі виручки від реалізації продукції;

3. Чиста теперішня вартість проекту — Net Present Value (NPV). Це найвідоміший і найуживаніший критерій. У літературі зустрічаються й інші його назви: чиста приведена вартість, чиста приведена цінність, дисконтовані чисті вигоди. NPV являє собою дисконтовану цінність проекту (поточну вартість доходів або вигід від зроблених інвестицій). Чиста теперішня вартість проекту — це різниця між величиною грошового потоку, дисконтованого за прийнятної ставки дохідності і сумою інвестицій;

4. Термін окупності інвестицій — час, протягом якого грошовий потік, одержаний інвестором від втілення проекту, досягає величини вкладених у проект фінансових ресурсів. У господарській практиці його можуть визначати без урахування необхідності грошових потоків у часі або з урахуванням такої необхідності. Термін окупності проекту — Payback Period (PBP) використовується переважно в промисловості. Це один із найбільш часто вживаних показників оцінки ефективності капітальних вкладень;

5. Внутрішня норма рентабельності — Internal Rate of Return (IRR). Це рівень ставки дисконтування, при якому чиста приведена вартість проекту за його життєвий цикл дорівнює нулю. IRR проекту дорівнює ставці дисконту, при якій сумарні дисконтовані вигоди дорівнюють сумарним дисконтованим витратам, тобто IRR є ставкою дисконту, при якій NPV проекту дорівнює нулю. IRR дорівнює максимальному проценту за позиками, який можна платити за використання необхідних ресурсів, залишаючись при цьому на беззбитковому рівні.

6. . Індекс прибутковості інвестицій - PI, або Profitability Index. Цей індекс демонструє ставлення віддачі капіталу до обсягу вкладень в проект. PI

- це відносна прибутковість майбутнього підприємства, а також дисконтована вартість всіх фінансових надходжень в розрахунку на одиницю вкладень.

В цілому, можливі три варіанти значення індексу прибутковості інвестицій (PI):

- 1) більше одного - даний варіант рентабельний, його варто прийняти в реалізацію;
- 2) менше одного - проект неприйнятний, так як інвестиції не призведуть до утворення необхідної ставки віддачі;
- 3) дорівнює одному - даний напрямок інвестування максимально точно задовольняє обраної ставкою віддачі.

3.2.1 Обґрунтування доцільності модернізації системи нагріву прокату шляхом повторного використання теплової енергії

Розраховуємо запропонований варіант витрат на систему нагріву прокату шляхом повторного використання енергії, що відводиться у колодязях:

$$V_{експ}^{запр} = V_{ам.} + V_{рем.} + V_{ел.ен.} + V_{ЗП}; \quad (3.24)$$

Витрати на заробітну плату складають:

$$V_{ЗП} = 576 \text{ тис.грн.}$$

Визначаємо амортизаційні відрахування:

$$V_{ам} = K \cdot \frac{1}{T_{експл.}}; \quad (3.25)$$

де K – капіталовкладення,

$T_{експл.}$ – термін служби.

Амортизаційні відрахування системи рекуперації:

$$B_{ам.} = 61650 \frac{1}{20} = 3082,5 \text{ тис.грн.}$$

Визначаємо витрати на ремонт:

$$B_{рем.} = 0,2 \cdot B_{ам.} \quad (3.26)$$

Для системи рекуперації тепла щорічні витрати на ремонт дорівнюють:

$$B_{рем.} = 0,2 \cdot 3082,5 = 616,5 \text{ тис.грн.}$$

Розраховуємо вартість електроспоживання:

$$B_{ел.ен.} = W_{еe} \cdot T_{еe}; \quad (3.27)$$

де $W_{еe}$ – річне електроспоживання вентиляторів, кВт·год;

$T_{еe}$ – тариф на електроенергію за грудень 2016 року, грн/кВт·год.

Річне електроспоживання електроенергії системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу:

$$W_{еe} = \sum P_{вен.} \cdot t_{роб.вен.} + \Delta E; \quad (3.28)$$

де ΔE - втрати електроенергії, кВт·год/м³;

$$W_{еe} = 1714406,78 \text{ кВт·год/рік.}$$

Розраховуємо вартість річного електроспоживання системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу:

$$B_{ел.ен.} = 1714406,78 \cdot 2,36 = 4046 \text{ тис.грн.}$$

Для системи рекуперації тепла експлуатаційні витрати дорівнюють:

$$B_{експ.} = 3082,5 + 616,5 + 4046 + 576 = 8321 \text{ тис.грн.}$$

Експлуатаційні витрати для базового варіанту на систему рекуперації тепла складають:

$$B_{експ}^{баз} = B_{ЗП} \cdot \frac{B_{експ}^{25}}{B_{ам.}^{25}}; \quad (3.29)$$

$$V_{експ}^{баз} = 7200 \cdot \frac{8079,2}{3041,2} = 19128,7 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові дані залежності експлуатаційних витрат на системи рекуперації в від температури теплоносія представлені у таблиці 3.5. Графік залежності експлуатаційних витрат від зміни температури теплоносія для базового та запропонованого варіантів зображений на рисунку 3.4.

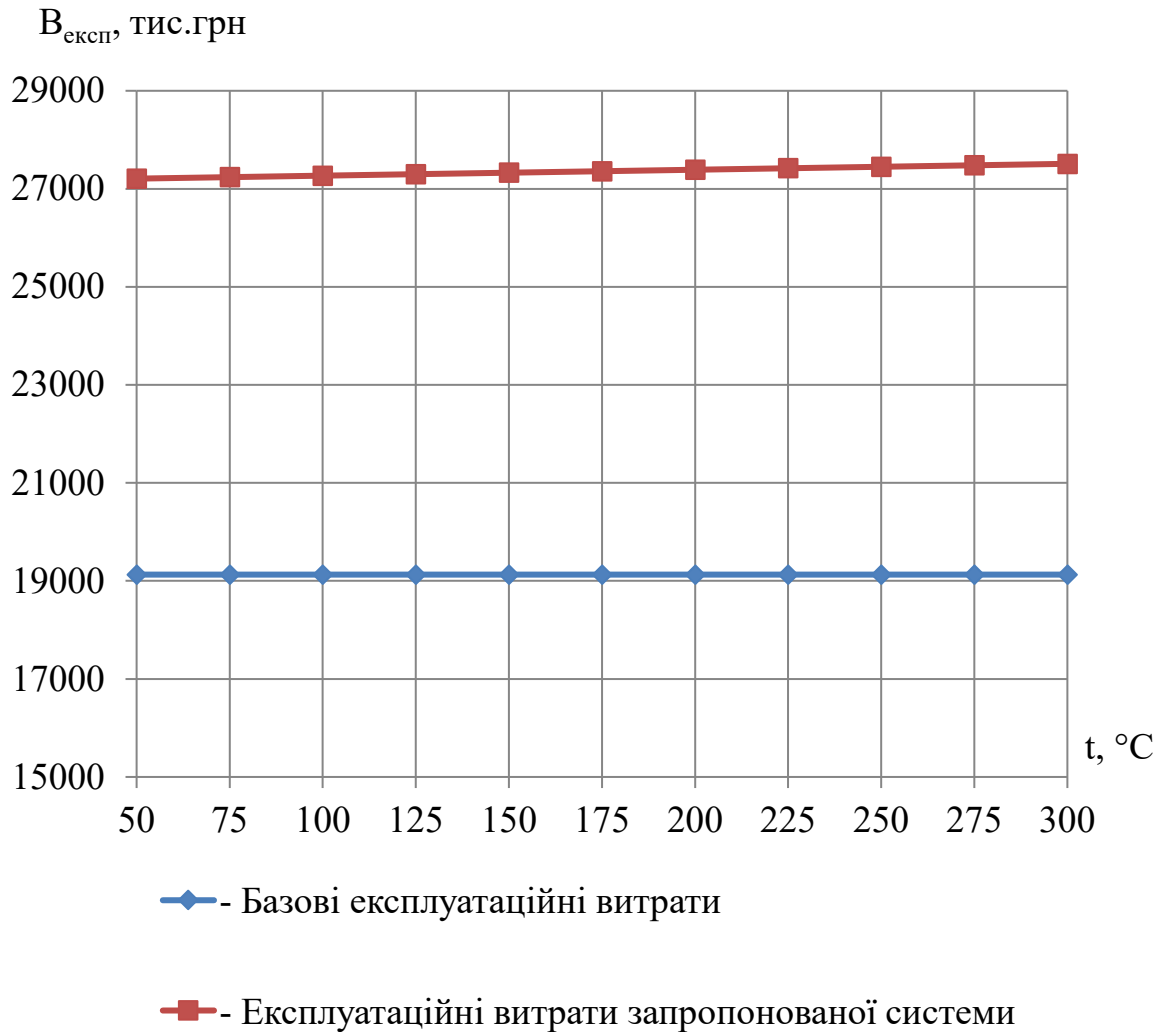


Рисунок 3.4- Порівняння експлуатаційних витрат системи рекуперації

Проаналізувавши графік порівняння експлуатаційних витрат видно, що базові експлуатаційні витрати менші за експлуатаційні витрати запропонованого варіанту, тому побудовано графік, який зображений на рисунку 3.5. Він відображає різницю між економічним ефектом від впровадження системи рекуперації та експлуатаційними затратами.

Таблиця 3.5 - Порівняння експлуатаційних витрат систем рекуперації

Температура теплоносія °С	Вартість основного обладнання системи, тис. грн	Вартість вентиляторів, тис. грн	Загальна сума капіталовкладень, тис. грн	Річні амортизаційні витрати, тис. грн	Витрати на ремонт, тис. грн	Витрати річні на електроенергію, тис. грн	Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу, тис. грн	Експлуатаційні витрати пропонованої системи, тис. грн	Базові експлуатаційні витрати, тис. грн	Загальні експлуатаційні витрати, тис. грн	Економічний ефект від впровадження системи річний, тис. грн
50	60570	250	60820	3041,0	608,2	3854	576	8079,2	19128,7	27207,9	93113,3
75	60570	354	60924	3046,2	609,2	3878	576	8109,4	19128,7	27238,1	102577,0
100	60570	458	61028	3051,4	610,3	3902	576	8139,7	19128,7	27268,3	112040,8
125	60570	561	61131	3056,6	611,3	3926	576	8169,9	19128,7	27298,5	118334,1
150	60570	665	61235	3061,8	612,4	3950	576	8200,1	19128,7	27328,8	124627,4
175	60570	769	61339	3066,9	613,4	3974	576	8230,3	19128,7	27359,0	130908,0
200	60570	873	61443	3072,1	614,4	3998	576	8260,6	19128,7	27389,2	137188,5
225	60570	976	61546	3077,3	615,5	4022	576	8290,8	19128,7	27419,4	143456,1
250	60570	1080	61650	3082,5	616,5	4046	576	8321,0	19128,7	27449,7	149723,7
275	60570	1184	61754	3087,7	617,5	4070	576	8351,2	19128,7	27479,9	155978,4
300	60570	1288	61858	3092,9	618,6	4094	576	8381,5	19128,7	27510,1	162233,1

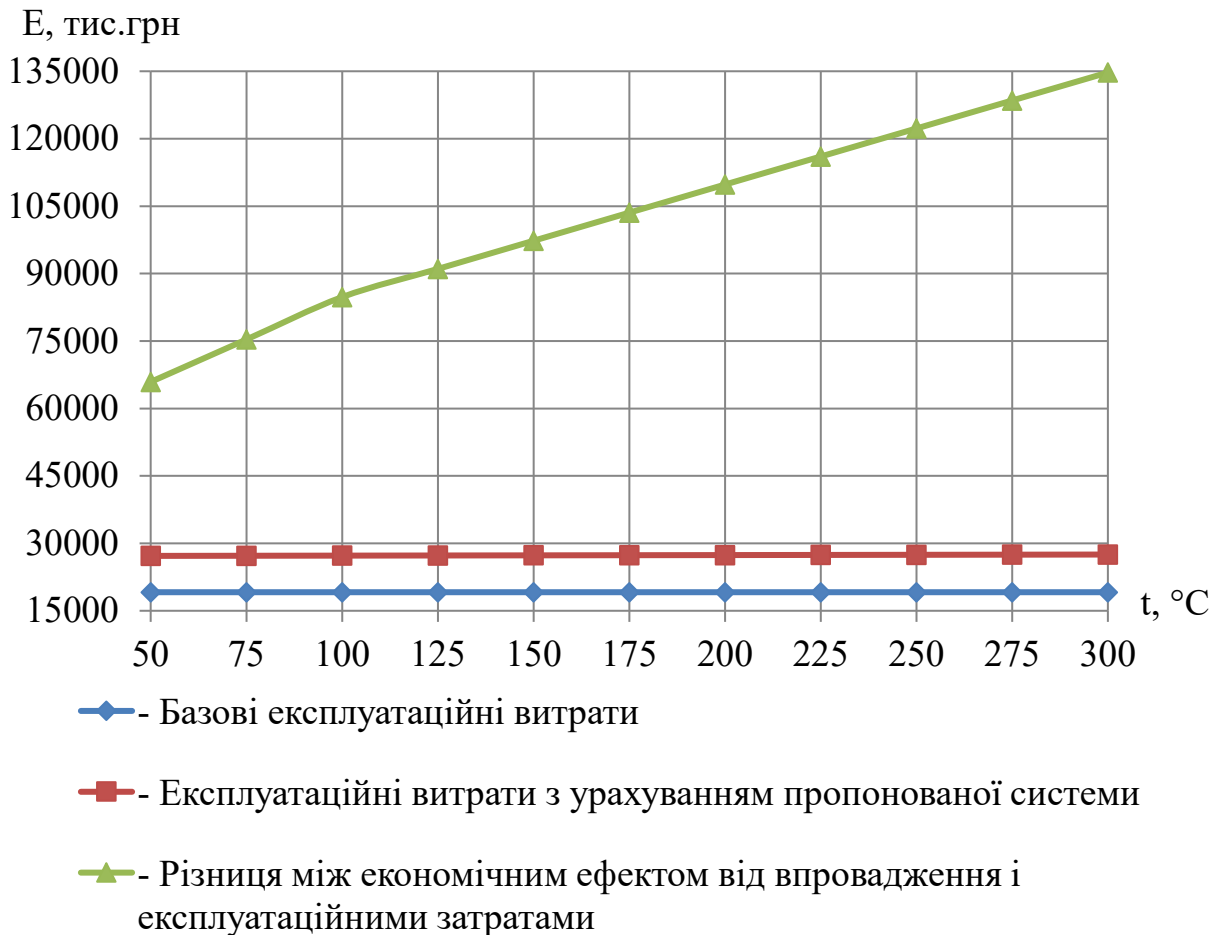


Рисунок 3.5- Порівняння економічного ефекту та експлуатаційних витрат системи рекуперації

На графіку видно, що зі збільшенням температури теплоносія експлуатаційні витрати збільшуються, проте це збільшення в порівнянні з отриманим економічним ефектом незначне. Чим більша температура теплоносія тим значніша різниця між економічним ефектом від впровадження системи рекуперації та експлуатаційними витратами.

Визначаємо дисконтовані показники ефективності модернізації системи нагріву прокату шляхом повторного використання енергії.

Розраховуємо чистий поточний прибуток за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I_0, \quad (3.30)$$

де CF_t - надходження коштів (грошовий потік) наприкінці періоду t ;

I_0 - початкове капіталовкладення;

k -бажана норма прибутковості (рентабельності);

n -розрахунковий термін експлуатації енергозберігаючого устаткування.

Внутрішня норма рентабельності визначаємо за формулою:

$$IRR = \alpha_1 + \frac{NPV(\alpha_1)}{NPV(\alpha_1) - NPV(\alpha_2)} \cdot (\alpha_2 - \alpha_1), \quad (3.31)$$

де α_1 – значення ставки дисконтування, при якій $f(\alpha_1) < 0$ або $f(\alpha_1) > 0$;

α_2 – значення ставки дисконтування, при якій $f(\alpha_2) > 0$ або $f(\alpha_2) < 0$.

Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів приведені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - . Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

№з/п	Енергозберігаючий захід	Капітальні вкладення, тис. грн.	Річна економія, тис. грн.
1	Система рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу	34049,9	46870
2	Система рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором	28000	102873

Результати розрахунку дисконтованих показників ефективності для системи рекуперації теплової енергії приведено в таблиці 3.7 та 3.8 та відображені на рисунку 3.6 та 3.7.

Внутрішня норма рентабельності для системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу складе:

$$IRR = 10 + \frac{253946000}{253946000 - 110851000} \cdot (30 - 30) = 45,49\%.$$

Індекс дохідності системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу:

$$PI = \frac{253946000}{34049900} = 7,46.$$

Таблиця 3.7 – Визначення дисконтованих показників ефективності системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження

Рік	Чисті грошові потоки, тис.грн	$K\delta$ ($\alpha=10\%$)	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн	$K\delta$ ($\alpha=30\%$)	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн
1	2	3	4	5	6	7	8
0	-34050	1,00	-34050	-34050	1,00	-34050	-34050
1	46870	1,10	42609	8559	1,30	36054	2004
2	46870	1,21	38736	47295	1,69	27734	29738
3	46870	1,33	35214	82509	2,20	21334	51071
4	46870	1,46	32013	114522	2,86	16410	67482
5	46870	1,61	29103	143624	3,71	12623	80105
6	46870	1,77	26457	170081	4,83	9710	89816
7	46870	1,95	24052	194133	6,27	7469	97285
8	46870	2,14	21865	215998	8,16	5746	103031
9	46870	2,36	19877	235876	10,60	4420	107451
10	46870	2,59	18070	253946	13,79	3400	110851

NPV= 253946

NPV= 110851

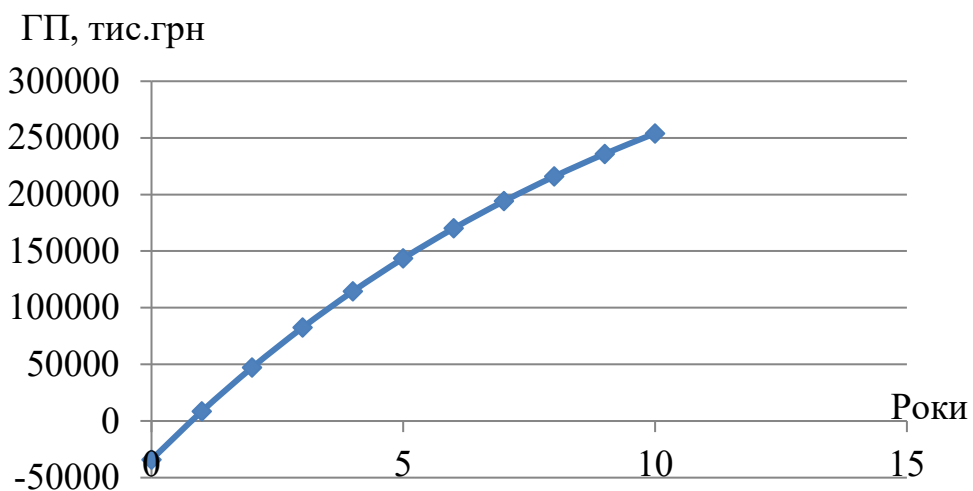


Рисунок 3.6 – Дисконтований термін окупності системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження

Дисконтований термін окупності визначаємо за графіком який зображено на рисунку 3.6. Дисконтований термін окупності становить 9,7 місяців.

Результати проведених розрахунків свідчать про економічну доцільність запропонованих рішень щодо системи рекуперації енергії.

Таблиця 3.8 – Визначення дисконтованих показників ефективності системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором

Рік	Чисті грошові потоки, тис.грн	$Kd (\alpha=10\%)$	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн	$Kd (\alpha=30\%)$	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн
0	-28000	1,00	-28000	-28000	1,00	-28000	-28000
1	102873	1,10	93521	65521	1,30	79133	51133
2	102873	1,21	85019	150540	1,69	60872	112005
3	102873	1,33	77290	227830	2,20	46824	158829
4	102873	1,46	70264	298094	2,86	36019	194848
5	102873	1,61	63876	361970	3,71	27707	222554
6	102873	1,77	58069	420039	4,83	21313	243867
7	102873	1,95	52790	472829	6,27	16394	260262
8	102873	2,14	47991	520820	8,16	12611	272873
9	102873	2,36	43628	564448	10,60	9701	282574
10	102873	2,59	39662	604110	13,79	7462	290036
			NPV= 604110		NPV= 290036		

Внутрішня норма рентабельності для системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором складе:

$$IRR = 10 + \frac{604110000}{604110000 - 290036000} \cdot (30 - 30) = 48,47\%$$

Індекс дохідності системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором:

$$PI = \frac{6044110000}{28000000} = 21,58.$$

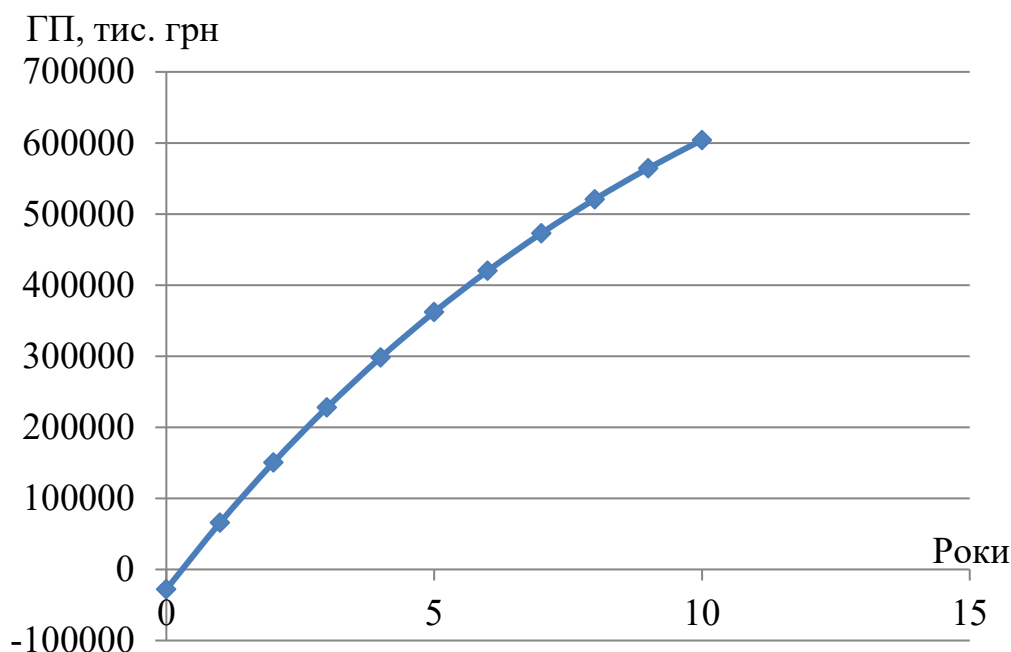


Рисунок 3.7 – Дисконтований термін системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором

Дисконтований термін окупності визначаємо за графіком який зображено на рисунку 3.7. Дисконтований термін окупності становить 3,2 місяці.

Результати проведених розрахунків свідчать про економічну доцільність запропонованих рішень щодо системи рекуперації теплової енергії. Впровадження системи рекуперації теплової енергії від колодязів уповільненого охолодження надасть можливість повернути капіталовкладення впродовж першого року реалізації проекту. Високий показник індексу дохідності вказує на доцільність впровадження системи рекуперації як сумісно та і окремими проектами.

Показники економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів представлені в таблиці 3.11.

3.2.1 Обґрунтування доцільності заміни редуктора

Визначаємо дисконтовані показники ефективності заміни редуктора.

Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів приведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 - . Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів

№з/п	Енергозберігаючий захід	Капітальні вкладення, тис. грн.	Річна економія, тис. грн.
1	Заміна редуктора	238	106,125

Результати розрахунку дисконтованих показників ефективності заміни редуктора занесені до таблиці 3.10 та відображені на рисунку 3.8.

Таблиця 3.10 – Визначення дисконтованих показників ефективності заміни редуктора

Рік	Чисті грошові потоки, тис.грн.	$K_d (\alpha=10\%)$	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн	$K_d (\alpha=30\%)$	Дисконтований грошовий потік, тис.грн	Кумулятивний Дисконтований грошовий потік, тис.грн
0	-238	1,00	-238	-238	1,00	-238	-238
1	106	1,10	96	-142	1,30	82	-156
2	106	1,21	88	-54	1,69	63	-94
3	106	1,33	80	26	2,20	48	-45
4	106	1,46	72	98	2,86	37	-8
5	106	1,61	66	164	3,71	29	20
6	106	1,77	60	224	4,83	22	42
7	106	1,95	54	279	6,27	17	59
8	106	2,14	50	328	8,16	13	72
9	106	2,36	45	373	10,60	10	82
10	106	2,59	41	414	13,79	8	90
			NPV= 414			NPV= 90	

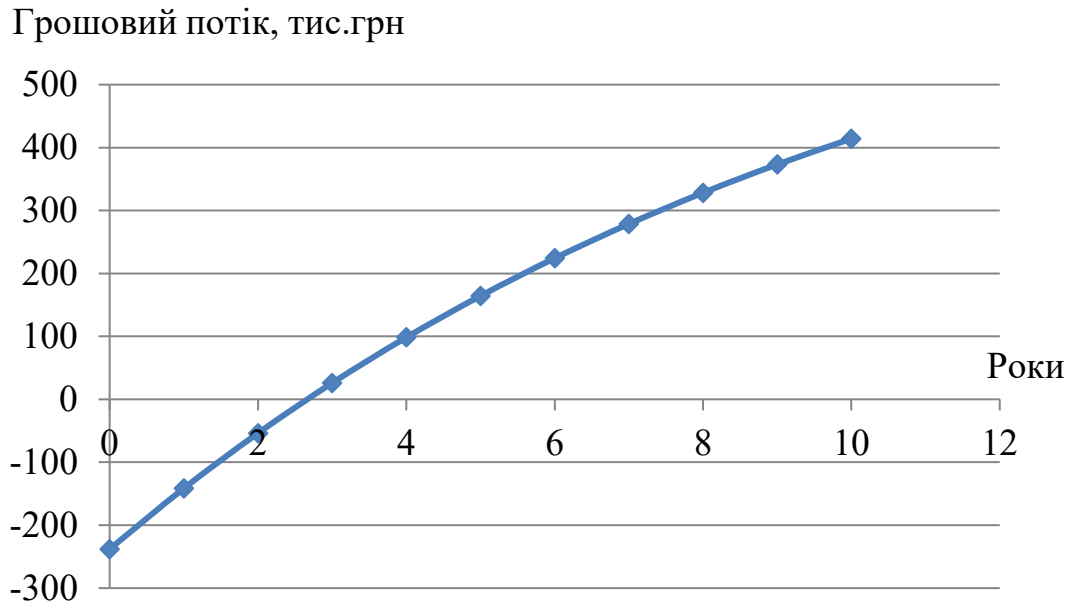


Рисунок 3.8 – Дисконтований термін окупності заміни редуктора

Дисконтований термін окупності визначаємо за графіком який зображено на рисунку 3.8. Дисконтований термін окупності проекту по заміні редуктора становить 2 роки 8 місяців.

Внутрішня норма рентабельності заміни редуктора:

$$IRR = 10 + \frac{414}{414 - 90} \cdot (30 - 30) = 35,56\%$$

Індекс дохідності заміни редуктора:

$$PI = \frac{414000}{238000} = 1,74.$$

Результати проведених розрахунків свідчать про економічну доцільність запропонованих рішень щодо заміни редуктора. Впровадження проекту заміни редуктора ножиць на 900 т надасть можливість повернути капіталовкладення впродовж третього року реалізації проекту. Індекс дохідності складає більше 1, а це вказує на доцільність впровадження проекту по заміні редуктора.

Дані показників економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів, щодо підвищення енергоефективності прокатного стану 1050 в умовах ПАТ «Дніпрспецсталь» представлені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 - Показники економічної ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів

№з/п	Енергозберігаючий захід	Термін окупності, років	Індекс дохідності	Внутрішня норма рентабельності, %	Дисконтований термін окупності, років
1	Система рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу	0,73	7,46	45,49	0,8
2	Система рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором	0,3	21,58	48,47	0,27
3	Заміна редуктора приводу ножиць на 900 т	2,24	1,74	35,56	2,67

Показники економічної ефективності запропонованих заходів щодо підвищення енергоефективності процесу прокату металу на стані 1050 в умовах ПАТ «Дніпроспецсталь» відповідають нормам доцільності впровадження проекту. Оскільки, проект з високим значенням індексу прибутковості інвестицій - більш вигідний, стійкий і перспективний, то впровадження системи рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором та системи рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу є найбільш економічно-доцільним проектами серед запропонованих.

ВИСНОВКИ

Актуальність проекту полягає в тому, що висока енергоємність металургійної продукції є одним з важливих факторів, що негативно впливають на її конкурентоспроможність на світовому та внутрішньому ринку. В структурі собівартості продукції прокатного виробництва енергоресурси становлять більше 40 % і ця величина на 1 т готового прокату на підприємстві не є стабільної величиною. Одними з основних споживачів енергоресурсів в прокатному виробництві є прокатні стани. На розглянутий в дипломній роботі прокатний стан 1050 доля споживання електроенергії становить близько 66%, а доля споживання палива - 76% від загального енергоспоживання прокатним цехом. Такі показники енергоспоживання призводять до необхідності аналізу ефективності роботи стану.

До складу сорто-заготівельного стану 1050 входить група з 24 назріваючих колодязів, група з 36 колодязів уповільненого охолодження, заготівельна кліть, обтискна кліть, ножиці на 1250 т та 900 т. В процесі нагрівання злитків виділяється велика кількість енергії, значна частина якої поступає до навколишнього середовища з димовими газами. Розрахунок теплового балансу виявив, що потенціал теплоти що відводиться з димовими газами становить 13,2 ГДж. В результаті охолодження металу в охолоджуючих колодязях конвективна складова втрат тепла металом, яка може бути використана для покращення енергетичної ефективності процесу нагрівання злитків складає 7 ГДж/год. Основними напрямками підвищення енергоефективності прокатного стану є система рекуперації тепла, що відводиться у колодязях уповільненого охолодження за допомогою повітропроводу та система рекуперації тепла від відхідних газів, для підігріву газу, що подається в камеру горіння керамічним рекуператором, що надасть можливість економії 11,32 % газу, а це 4440 м³ на годину. Економічний ефект системи рекуперації становлять 146743440 грн на рік.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аверин С.И. и др. Расчеты нагревательных печей. [тескт]. Учебное пособие для вузов / С.И. Аверин – Киев Техника - 1969. – 540 с.
2. Аксельруд, Л. Г. Нагревательные колодцы [тескт]. Учебное пособие для вузов / Л. Г. Аксельруд, И. И. Сухов, В. М. Тымчак. – М.: Металлургиздат, 1962. – 234 с.
3. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент [тескт]. Учебное пособие для вузов/ А. А.Андрижиевский. – Издательство «Большая школа». -2004. – 291с.
4. Анищенко Л. М. Математические основы проектирования высокотемпературных технологических процессов [тескт]. Учебник / Л. М. Анищенко, С. Ю. Лавренюк - Наука– 1986. – 80 с.
5. Бахтинов В. Б. Производство экономичных видов проката [тескт]. Учебник / В. Б. Бахтинов, Ю.Б. Бахтинов - Металлургия– 1984. – 328 с.
6. Бахтинов В. Б. Прокатное производство [тескт]. Учебник для техникумов / В. Б. Бахтинов - Металлургия – 1987. – 416 с.
7. Белов, В. С. Высокотемпературные секционные печи. [тескт]. Учебное пособие для вузов/ В. С. Белов. – М.: Металлургия, 1977. – 103 с.
8. Бережная Г.А. Разработка и использование сбалансированной системы показателей для улучшения качества продукции [тескт]. Учебник / Г.А. Бережная, В.М. Салганик, Песина А.М. - Производство проката– 2007. № 12. 34-38 с.
9. Большаков В.И. Перспективы энергосбережения в черной металлургии Украины [тескт]. Учеб. пособие / В.И. Большаков, Л.Г. Тубольцев - Металлургическая и горнорудная промышленность – 2007. № 3. – 85 с.
10. Брусиловский Э. М. Эксплуатация систем электроснабжения [тескт]. Учеб. пособие / Э. М. Брусиловский, В. В. Петунин – 1983. – 136 с.

11. Бубнов П.С. Нагревательные устройства цехов ОМД [текст]. Конспект лекций / П.С Бубнов., Е.А Горячев. - Челябинск Издательский центр ЮУрГУ – 2009. -86с.
12. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики [текст]. Учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий – 2005. – 277 с.
13. Варнавский Б. П. Энергоаудит промышленных и коммунальных предприятий [текст]. Учебник для вузов / Б. П. Варнавский, А. И. Колесников, М. Н. Федоров - Издание ассоциации энергоменеджеров – 1999. – 234 с.
14. Вентилятор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://systemax.com.ua/p32686663-ventilyator-tsentrobezhyj-vts.html> – 12.12.2016 р. – Загл. с экрана.
15. Воскобойников В. Г. Общая металлургия. [текст] Академкнига / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев – 2002. – 768 с.
16. Вульфович М. С. Становление:1931-1941: Хроника событий [текст]. Учебник для вузов / М. С. Вульфович - Запорожье: Арт-Пресс – 2002.– 236с.
17. Гажаман В.І. Електробезпека на виробництві [текст]. Навчальний посібник / В. І. Гажаман - Охорона праці –2002. – 272 с.
18. Изолований гнучкий повітропровід [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://veterperemen.kiev.ua/ua/vozduhovody> – 12.12.2016 р. – Загл. с экрана.
19. Качан Ю. Г. Енергетичний менеджмент [текст]. Конспект лекцій. / Ю. Г Качан - ЗГИА. – 2005. – 183 с.
20. Колюпанов В.М. Энерго- и ресурсосбережение при внедрении непрерывной разливки и внепечной обработке стали в проектах института «Гипросталь» [текст]. Сб. науч. статей XIV Международной научно-практической конференции «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов / В.М.Колюпанов, В.Ю. Кулак — 2006,—225 с.

21. Кривандина В.А.. Теория, конструкции и расчёты металлургических печей. Том 1. [тескт]. Учеб. пособие / В.А. Кривандина - М.: Металлургия, 1986. – 479 с.
22. Лоскутов А. Б. Основные направления энергосбережения на предприятиях черной металлургии [тескт]. Академкнига / А.Б. Лоскутов. – 2003. 54 с.
23. Мазур И. П. Информационное обеспечение производства горячекатаного проката. Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов [тескт]. Труды международной науч.-техн. конф. Политехн. ун-та / И. П. Мазур – 2007. – 243 с.
24. Медведев В.С. Энергосберегающие технологии производства сортовых профилей на литейно-прокатных комплексах металлургических мини-заводов [тескт]. Учебник для вузов / В.С. Медведев – 2008. –258 с.
25. Несенчук А. П. Тепло-технологическое оборудование промышленных предприятий [тескт]. Учеб. пособие / А. П. Несенчук – 1979. –161 с.
26. Осипова Л. Ю. Споживачі електричної енергії для студ. ЗГИА спец. "ЭМ" днев. и заоч. форм обучения [тескт]. Конспект лекцій. ЗГИА / Л. Ю Осипова – 2004. – 155 с.
27. Пантелят Г.С. Управление водоснабжением прокатных станов по критерию экономии энергии [тескт]. Учеб. пособие / Г.С. Пантелят, Н.В. Салтавец –2003.– 253 с.
28. Петров С. В. Теплозащита в металлургии [тескт]. Справочник / С. В. Петров, А. Ф. Шорин – 1961. – 120 с.
29. Прядко М. О. Теплові мережі [тескт]. Учебник для вузов / М. О. Прядко, В. І. Павелко, С. М. Василенко – 2005. – 227 с.
30. Редуктор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://melitopol.zakupka.com/p/165952025-reduktor-c2u-200/> – 12.12.2016 р. – Загл. с экрана.

31. Рекуператор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.recuperator-termo.ru/production.php#prettyPhoto> – 12.12.2016 г. – Загл. с экрана.

32. Самойлов М. В. Основы энергосбережения [текст]. Учебник для вузов / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев – 2004. – 198 с.

33. Свинолобов Н.П. Печи черной металлургии: [текст]. Учебное пособие для вузов / Н.П Свинолобов., В.Л. Бровкин – Днепропетровск: Пороги - 2004. – 154 с.

34. Свинолобов, Н. П. Печи черной металлургии [текст]. Учебное пособие для металлург. специальностей вузов / Н. П. Свинолобов, В. Л. Бровкин. – 2-ое изд., доп. и перераб. – Днепропетровск «Пороги» №. - 2004. – 154 с.

35. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [текст]. Академкнига / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин - Издательский центр «Академия» – 2003. – 240 с.

36. Сталинский Д.В. Отраслевая программа энергосбережения как наиболее эффективная форма организации работ по снижению энергозатрат на предприятиях ГМК Украины [текст]. Учеб. пособие / Д. В. Сталинский, В. А. Ботштейн - Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. № 4. – 153 с.