МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності роботи нагрівального обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1413-з
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Филиппов П. П.
(ініціали та прізвище)

Керівник д.е.н., проф. Паршин Ю.І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Воляр Р.Н.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут_____
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __141____Електроенергетика,_____ електротехніка____та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика,_____ електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф._____В.Л. Коваленко
«__01___»____12_____2024__року

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

_____Филиппов Петро Петрович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення ефективності роботи нагрівального обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь» _____
_____
керівник роботи ___Паршин Ю.І., д.е.н., професор_____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_28_»_02__2024__року №_361 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи: технічні характеристики роботи камерної нагрівальної печі з викатним подом в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»; річне споживання електричної енергії прокатним виробництвом – 130911 тис. кВт·год
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Характеристика процесу прокатного виробництва ПрАТ «Дніпроспецсталь» 2) Математичне моделювання теплових процесів в камерних печах 3) Застосування моделі в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»4) Охорона праці та техногенна безпека.
5 Перелік графічного матеріалу 1) Аналіз енергоспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь» 2) Камерна піч з викатним подом 3) Налаштування

моделі 4) Результати моделювання 5) Експериментальні випробування 6) Висновки

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Паршин Ю.І., д.е.н., професор		
Розділ 2	Паршин Ю.І., д.е.н., професор		
Розділ 3	Паршин Ю.І., д.е.н., професор		
Розділ 4	Паршин Ю.І., д.е.н., професор		

7 Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика процесу прокатного виробництва ПрАТ «Дніпроспецсталь»	30.09.2024	
2	Математичне моделювання теплових процесів в камерних печах	30.10.2024	
3	Застосування моделі в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»	19.11.2024	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2024	

Студент _____ _____ П. П. Филиппов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Ю.І. Паршин
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройден

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

АНОТАЦІЯ

Филиппов П. П. Підвищення ефективності роботи нагрівального обладнання ПрАТ «Дніпроспецсталь».

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник Ю.І. Паршин. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

В роботі досліджено енергоспоживання ПАТ «Дніпроспецсталь» та прокатного цеху зокрема, досліджені камерні печі з викатним подом, проаналізовані всі можливі шляхи підвищення енергетичної ефективності камерної нагрівальної печі, досліджено вплив електричного поля на процес формування теплових потоків в умовах підприємства.

Розроблено методику визначення оптимальних енергетичних параметрів пічної нагрівальної установки та створено відповідну систему керування. Розроблено програмний комплекс керування енергетичними параметрами в камері печі за наявності електричного поля, за допомогою якого можна визначати оптимальні значення енергетичних і більш точно прогнозувати потенційну кількість природного газу, яку можливо зекономити в умовах будь-якого промислового підприємства.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, НАГРІВАЛЬНА ПІЧ, ТЕПЛОВИЙ ПОТІК, ПРОСТОРОВЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІНУ, ПРОЦЕС ГОРІННЯ, ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ

ABSTRACT

Qualification final work for obtaining a higher education degree of Master in specialty 141 – Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics, scientific supervisor Y.I. Parshin. Zaporizhia National University.

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

In the paper, the energy consumption of PJSC "Dniprospetsstal" and the rolling shop, in particular, was investigated, chamber furnaces with a rolling floor were analyzed, all possible ways of increasing the energy efficiency of the chamber heating furnace were analyzed, the influence of the electric field on the process of formation of heat flows in the conditions of the enterprise was investigated.

The method of determining the optimal energy parameters of the furnace heating installation was developed and the corresponding control system was created. A software complex has been developed for controlling energy parameters in the furnace chamber in the presence of an electric field, which can be used to determine the optimal energy values and more accurately predict the potential amount of natural gas that can be saved in the conditions of any industrial enterprise.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, HEATING FURNACE, HEAT FLOW, SPATIAL ELECTRIC FIELD, HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION, COMBUSTION PROCESS, HEAT ENERGY

ЗМІСТ

Вступ ……...8

1 Характеристика процесу прокатного виробництва ПрАТ «Дніпроспецсталь» ……...10

1.1 Основні відомості про ПрАТ « Дніпроспецсталь» ..... …10

1.2 Характеристика об’єкта дослідження..... 20

2 Математичне моделювання теплових процесів в камерних печах……...41

2.1 Загальні відомості про камерні печі 40

2.2 Характеристика термічної печі в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»..... 49

2.3 Розробка математичної моделі теплових процесів 50

2.4 Налаштування моделі. 53

2.5 Моделі для конвекції та випромінювання.....55

2.6 Граничні умови моделі……...…56

2.7 Результати моделювання……....59

2.8 Конвективний тепловий потік……...….63

2.9 Загальні втрати енергії та валідація моделі……..65

3 Застосування моделі в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь» ……..67

3.1 Моделювання конвективного потоку ……...67

3.2 Економічні показники використання запропонованої моделі....68

4 Охорона праці та техногенна безпека……..……...72

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів ……....72

4.2 Заходи з поліпшення умов праці …….…….……..74

4.3 Виробнича санітарія ……...79

4.4 Захисні заходи з електробезпеки…….....81

4.5 Пожежна безпека…….82

4.6 Засоби індивідуального захисту……...84
Висновки ……...87
Перелік посилань ……88

ВСТУП

Галузі, які в основному відповідальні за високе споживання енергії, повинні інвестувати в науково-дослідні проекти з метою розробки нових систем управління для раціонального використання енергії та подолання руйнівних наслідків зміни клімату, спричиненої поведінкою людини. Дослідження, описане в цій роботі, стосується ковальської промисловості, де виробничі процеси, як правило, починаються з нагрівання сталі в печах, і продовжуються іншими процесами, такими як термічна обробка і різні форми механічної обробки. Однією з найбільш відповідальних операцій, з точки зору втрат енергії, є відкриття дверцят печі для операцій вставки та витягу. Сучасна проблема енергозбереження набуває глобального значення, оскільки раціональне використання природних ресурсів стає вкрай важливим. У промисловості енергозбереження відіграє ключову роль у зниженні витрат і забезпеченні ефективної роботи підприємств.

Зростання вартості палива змушує українські промислові підприємства шукати шляхи скорочення споживання природного газу. Це питання особливо актуальне для енергоємних галузей, зокрема металургії. Щорічно підприємства країни використовують близько 42 млрд кубометрів природного газу, а кількість компаній, що його споживають, постійно збільшується.

Однак зменшення використання газу не повинно негативно впливати на якість металургійних процесів, таких як нагрівання металу в термічних печах. Тому актуальним стає удосконалення методів і технологій термічної обробки, що дозволяють мінімізувати витрати газу.

На українських підприємствах широко застосовуються нагрівальні печі, що працюють на природному газі. Вони є складними тепловими агрегатами, які містять робочий простір, пальники, а також допоміжне обладнання для утилізації теплоти, очищення димових газів і системи керування. Такі печі активно використовуються в металургії та машинобудуванні, проте їхні

конструктивні недоліки спричиняють значні втрати теплової енергії, що знижує їхню ефективність.

Камерні печі – це група промислових печей, у яких вироби залишаються нерухомими протягом усього процесу нагрівання. Вони застосовуються для підготовки металевих заготовок перед прокаткою і куванням, термічної обробки металів і скла, випалювання кераміки та емальованих виробів. Камерні печі класифікуються за джерелом енергії (газові, рідкопаливні, електричні), рівнем механізації, використанням різних середовищ та конструктивними особливостями (вертикальні, ковпакові, з висувним подом тощо).

Актуальність цієї теми зумовлена тим, що камерні печі можуть працювати на різних видах палива, забезпечуючи гнучкість у виборі енергоресурсів. Вони також можуть бути змонтовані в єдину конструкцію для оптимізації виробничих процесів.

Останнім часом перспективним напрямком розвитку є електричні камерні печі, оскільки вони мають низку переваг перед паливними аналогами. Зокрема, вони не потребують димових труб і димососних систем, мають кращу теплоізоляцію, зручне керування температурним режимом, можливість роботи в контрольованому середовищі, покращують умови праці та є екологічно безпечними. Крім того, такі печі компактні, економічно ефективні, споживають менше електроенергії та мають довший термін експлуатації нагрівачів.

Проте слід враховувати, що електричні печі мають високу тривалість нагрівання й значні експлуатаційні витрати, тому на заводах все ще широко використовуються газові печі. В умовах стрімкого зростання вартості енергоресурсів питання енергоефективності стає критично важливим. Економія однієї тонни умовного палива прирівнюється до збереження 2,5 тонни первинних ресурсів, що підкреслює необхідність розробки більш ефективних технологій.

Дослідження впливу електричних полів на теплові потоки поки що недостатньо вивчене, хоча воно може стати ключовим фактором у підвищенні ефективності нагрівальних пристроїв. Комплексне впровадження

технологічних рішень, зокрема використання електричного поля для оптимізації теплообміну, дозволить суттєво зменшити витрати органічного палива та знизити його частку у вартості продукції. Оскільки природний газ залишається основним енергоносієм для промислових печей, подальші дослідження в цьому напрямку є надзвичайно актуальними.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

1.1 Основні відомості про ПрАТ « Дніпроспецсталь»

ПАТ «Дніпроспецсталь» - ключовий виробник сортової нержавіючої сталі на ринках СНД, а в Україні - безперечний лідер в даному сегменті.

Підприємство було засноване в 1932 році в місті Запоріжжя як частина могутнього державного металургійного комплексу. Сьогодні це сучасна кліенто- орієнтована соціально-відповідальна компанія з більш ніж 80-річним досвідом виробництва високоякісної металопродукції.

Місія ПАТ «Дніпроспецсталь» виробляти і продавати високоякісну продукцію з спеціальних сталей і сплавів, будуючи свій бізнес на благо акціонерів, співробітників і партнерів, несучи повну відповідальність за вплив своєї діяльності на навколишнє середовище.

Цінності підприємства:

– створення управлінської системи, яка відповідає кращим зразкам корпоративного управління та організаційно-фінансової прозорості;

– розширення асортименту виробленої продукції, підвищення її якості і термінів виготовлення;

– ефективне використання виробничих, природних і фінансових ресурсів;

– дотримання принципу економічної доцільності;

– підтримка високого кваліфікаційного рівня співробітників компанії, стимулювання професійного і творчого розвитку;

– збільшення активів компанії, вартості акцій та інших цінних паперів шляхом забезпечення ефективного управління, інвестування та технічного переоснащення;

– забезпечення стабільного економічного зростання без шкоди

навколишньому середовищу;

– дотримання інтересів представників суспільства у своїй діяльності;

– підтримка соціальних програм, спрямованих на розвиток регіону присутності компанії;

– відповідальність за збереження навколишнього природного середовища та досягнення екологічної результативності бізнесу компанії;

– забезпечення промислової безпеки та охорони праці в усіх сферах виробничої діяльності.

Будучи найбільшою міжнародною компанією, Дніпроспецсталь розробляє, виробляє і реалізує металопродукцію з неіржавіючих, інструментальних, швидкорізальних (в т. ч. виготовлених методом порошкової металургії), підшипникових, конструкційних легованих і вуглецевих сталей.

Застосовувані на заводі технології дозволяють отримувати високоякісні сталі і сплави, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості - машинобудуванні, суднобудуванні, автомобілебудуванні, авіакосмічній та нафтогазовидобувної галузях.

З цього металу виготовляють деталі машин і механізмів, безшовні труби і підшипники, інструмент для подальшої обробки металів і сплавів.

Географічне розташування компанії дає значну перевагу у виході на ринки СНД та ЄС. Продукція Дніпроспецсталі затребувана більш ніж в 60 країнах. Зберігаючи позиції лідера на внутрішньому ринку, Дніпроспецсталь розширює свою присутність в Росії, Європі, Америці та Азії, співпрацюючи з партнерами та дистриб'юторами в 15 країнах світу. Реалізація металопродукції забезпечувалася через канали збуту: ТОВ «ДСС Глобал Трейдінг» (Україна), ТОВ «ДСС-М» (Росія), дистриб'ютор DSS International (Швейцарія) і його агенти DSS GmbH (Німеччина) і DSS America (США). Наявність власних офіційних дилерів і їхніх агентів дозволяє компанії здійснювати реалізацію продукції кінцевому споживачу і спрощує для наших клієнтів процедуру оформлення замовлень.

Ключові види товарної продукції: металопродукція з неіржавіючих, високолегованих інструментальних сталей, швидкорізальних, підшипникових, легованих і вуглецевих конструкційних марок сталі, в тому числі виплавлених методом порошкової металургії, електрошлакового й вакуумно-дугового переплавів. Дніпроспецсталь виробляє більше 800 марок сталі в 1200 профілерозмірів. Завдяки своїй потужній виробничій базі підприємство володіє широкими можливостями по випуску різних видів продукції зі спеціальної сталі. Основними споживачами продукції компанії є трейдери і кінцеві споживачі металопродукції машинобудівного, трубного, будівельного, енергетичного секторів. Компанія постійно модернізує виробничі потужності, освоює нові технології, встановлює новітнє обладнання, що дозволяє випускати високоякісну продукцію.

Конкурентні переваги компанії :

– висококваліфікований персонал, здатний виробляти широкий перелік спеціальних марок, сплавів і профілерозмірів;

– індивідуальний підхід до клієнта і можливість виконання малотоннажних замовлень, з урахуванням додаткових вимог споживачів;

– найкоротші терміни виконання замовлень і їх неухильне дотримання;

– широкий спектр обладнання, різноманітність методів виробництва і переділу сталі;

– модернізоване обладнання і вдосконалені технологічні процеси;

– контроль якості продукції;

– процесна технологія управління підприємством.

З метою планування ресурсів підприємства і для забезпечення фінансової прозорості бізнесу в компанії працює автоматизована система управління ресурсами підприємства R/6 компанії SAP, яка є потужним інструментом аналізу даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Функціональними службами постійно контролюється процес впровадження

програм оптимізації виробництва, з проведенням комплексного аналізу отриманого економічного ефекту. Ведеться робота з розвитку управлінського обліку та вдосконалення системи щотижневого контролю витрат матеріалів, рухом металовідходів, простоями основного виробничого обладнання. У результаті постійного контролю використання сировини і матеріалів, застосування розроблених і впроваджених програм по зниженню витрат, які включають в себе всі сфери управління підприємством: виробничу, матеріально-технічну, енергетичну, фінансову, отримано ряд позитивних результатів.

Основні напрями інвестиційної діяльності компанії:

– енергобезпека, впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій:

1) проекти, спрямовані на скорочення витрат палива при виробництві продукції: заміна існуючої вогнетривкої футеровки глісажних труб на футеровку з легковагих вогнетривких матеріалів, технологія дозволяє скоротити витрати палива на 10-15%; реконструкція нагрівальної печі із заміною футерування, пальників і автоматизованою системою управління;

2) проекти, спрямовані на скорочення витрат на опалення та гаряче водопостачання: будівництво системи утилізації тепла відхідних газів конвертера газокисневого рафінування; система дозволяє скоротити витрати на опалення і гарячу воду побутових приміщень за рахунок використання тепла охолоджуючого контуру для нагріву води; початок будівництва локальної електрокотельні на азотній станції в енергосиловому цеху дозволить істотно знизити витрати на зимове опалення;

3) проекти, спрямовані на модернізацію енергосистеми підприємства: реконструкція, модернізація осередків ГПП з установкою високовольтних елегазових вимикачів; модернізація мережевого трансформатора; модернізація автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії;

– проекти, спрямовані на забезпечення енергобезпеки та енергонезалежності підприємства: проектування установки для зберігання та газифікації рідкого кисню;

– забезпечення контролю якості : установка каналу бору на спектрометрі, придбання муфельній печі в аналітичну лабораторію, придбання феррітометра в цех випробувань, придбання верстата для виготовлення концентратів напруги на зразках для випробувань на ударну в'язкість, придбання приладів радіологічного контролю;

– оновлення та реконструкція парку технологічного обладнання та автотранспорту: заміна токарно-обдирного верстата типу рт для обробки великого, придбання посилених колон для реконструкції преса, модернізація лінії суцільної зачистки металу; заміна повітряного турбокомпресора; придбання тягачів з напівпричепами, автобуса для перевезення співробітників підприємства;

– реалізація екологічних програм і проектів: продовження виконання зобов'язань щодо оплати нової системи газоочистки технологічних і неорганізованих викидів, проектування газоочисних споруд технологічних і неорганізованих викидів;

– розвиток інформаційних технологій, оновлення комп'ютерного обладнання і систем;

– виконання приписів наглядових органів, фінансування проектів, спрямованих на підвищення безпеки і поліпшення умов праці співробітників підприємства.

Контроль екологічної безпеки - першочергове завдання ПАТ «Дніпроспецсталь». З цією метою підприємство здійснює різні види досліджень стану атмосферного повітря, стічних вод, водоприймачів, природоохоронних об'єктів та інше. Здійснювався контроль технічного стану природоохоронних об'єктів. Проводиться перевірка ефективності роботи вентиляційних установок. Виконуються роботи з контролю за скидом стічних

вод та інструментальні заміри з метою санітарно-гігієнічного контролю робочих місць за умовами праці. Дніпроспецсталь на постійній основі реалізує програми, спрямовані на зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Пильна увага приділяється модернізації, проведенню капітальних та поточних ремонтів, установці нового газоочисного обладнання.

Дніпроспецсталь докладає всіх зусиль до мінімізації негативного впливу свого виробництва на навколишнє середовище і прагне скорочувати водоспоживання у виробничих циклах. Основний водозабір Дніпроспецсталь здійснює з поверхневих джерел і систем центрального водопостачання. Значна частина води знаходиться в оборотних циклах і використовується для охолодження виробничого обладнання, частина води, яка забирається використовується в технологічному процесі.

Поводження з основними матеріалами і відходами ПАТ «Дніпроспецсталь» приділяє велику увагу проблемі невідновлюваних природних ресурсів. Сталий розвиток передбачає раціоналізацію споживання, задоволення потреб теперішнього часу без загрози здатності майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби. Основними матеріалами в нашому виробництві є метали і феросплави. До використовуваних не поновлюваних матеріалів відносяться: добавочно- заправні матеріали, графітовані електроди, лакофарбова продукція, ПММ (бензин, дизпаливо). Всі інші матеріали після використання можуть перероблятися і повторно застосовуватися або за прямим призначенням, або у вигляді іншої продукції.

ПАТ «Дніпроспецсталь» усвідомлює, що зниження споживання палива та енергоємності технологічних процесів, крім зменшення виробничих витрат підприємства, приносить також значний ефект по заощадженню екології та природних ресурсів. Тому приділяє пильну увагу розробці та впровадженню програм з енергозбереження та зниження енергоємності виробництва. Основним напрямком діяльності у цій сфері є модернізація технологічного обладнання та впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій. Серед проектів, спрямованих на енергозбереження слід виділити: підвищення

ефективності роботи газовикористовуючих агрегатів шляхом проведення еколого-теплотехнічних випробувань нагрівальних пристроїв у цехах, які дозволили скоротити споживання газоподібного палива на 342 т. у. п.; впровадження локальних електромінікотельних у тупикових споживачів за територією заводу, що дозволило заощадити 5000 Гкал теплової енергії; розробка і впровадження установки утилізації тепла відхідних газів, що дозволило заощадити 2532 Гкал теплової енергії та забезпечити теплопостачання двох цехів і головної насосної станції від утилізованого тепла.

Виробництво сталі на ДСС представлено чотирма сталеплавильними цехами.

У цеху порошкової металургії встановлена індукційна піч ємністю 4 т. 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 ° С і тиску 1000 атм.).

У сталеплавильному цеху №2 виплавка сталі ведеться у відкритій електродуговій печі, з наступною продувкою в аргонокісло родному конверторі і обробкою на установці піч-ковш. Цей процес дозволяє отримати низковуглецеву корозійностійку нержавіючу сталь. Цех обладнаний індукційною піччю ємністю 8 т для виробництва жароміцних сталей і спеціальних сплавів.

У сталеплавильному цеху № 3 отримують високоякісну сталь шляхом обробки напівпродукту на установці піч-ковш фірми Danieli з подальшим вакуумуванням розплаву в вакууматорі фірми Mannesmann Demag.

Сталеплавильний цех №5 обладнаний печами ЕШП і ВДП різної ємності, що дозволяють виробляти сортові злитки вагою 0,9-6,0 т і листові злитки вагою 9,3-20,0 т. Технологія ЕШП забезпечує отримання сталі і спеціальних сплавів, що використовуються в найбільш відповідальних галузях промисловості: авіаційної, оборонної, а також теплової та атомної енергетики.

Переробне виробництво ДСС представлено прокатним, калібрувальним, ковальським, ковальсько-пресовим, термічним цехами і цехом ад'юстажной обробки металу.

На сорто-заготовочному стані 1050/950 прокатного цеху отримують заготовку для подальшої прокатки на сортових станах, а також виробляють прутки діаметром 130-280 мм. Сортові прокатні стани 550, 325 і 280 випускають продукцію діаметром від 8 до 130 мм, з поверхнею в стані після прокатки або механічно оброблену. Обробка поверхні продукції здійснюється на безцентрових обдирних верстатах в ході повністю механізованого процесу. На ділянці оздоблювальної лінії прокатного цеху, на верстаті Loeser RPS 377 відбувається обробка прутків діаметром 120-280 мм всього марочного сортаменту заводу вагою до 2,6 т. В обладнанні застосована технологія мокрого шліфування на «контактному колі» або «вільною стрічкою». Вся продукція, діаметром від 20 мм і більше, підлягає ультразвуковому контролю відповідно до стандарту EN 10308, ASTM A388 або SEP 1921.

У калібрувальному цеху виробляють круглі холоднотягнуті прутки діаметром 2-45 мм, круглі прутки зі спеціальною обробкою поверхні діаметром 1,9-50 мм і калібровані прутки шестигранного перетину, діаметром вписаного кола 12-46 мм (для ринку СНД).

Великогабаритні кування круглого, квадратного і прямокутного перерізу з різних марок сталі є продукцією кувально-пресового цеху. У цеху встановлено гідравлічні преси 60 МН і 32 МН, оснащені 5-ти і 10-ти тонними маніпуляторами.

У цеху знаходяться ділянки для термообробки, правки та оздоблення поковок, а також для ультразвукового контролю якості.

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

Цех ад'юстажної обробки металу проводить механічну обробку поверхні прутків діаметром 20-200 мм, остаточна обробка прутків зі спецвідділкою до кола 160 мм виробляється на верстаті RPS 327. У цеху встановлено дві лінії для обточування і спеціальної обробки поверхні. Тут проходять заключну обробку прутки, що надходять з прокатних станів 1050, 550, 325 і 280, а також кувального і кувально-пресового цехів.

В цілому ПрАТ «Дніпроспецсталь» використовує велику кількість енергоресурсів, які наведені у таблиці 1.1, та на діаграмі (рисунок 1.1). Основними споживаними енергоресурсами підприємства є природний газ та електрична енергія.

Одним з найбільш енергоємних цехів підприємства є прокатний цех, споживання енергоресурсів для якого показані у таблиці 1.2 та на рисунку 1.2. Тому в роботі прийнято рішення приділяти увагу розробці та впровадженню заходів зі зниження енергоємності виробництва на підприємстві і у прокатному цеху зокрема, та проаналізувати всі можливі шляхи підвищення енергетичної ефективності.

Таблиця 1.1 - Споживання енергоресурсів для ПрАТ " Дніпроспецсталь"

Найменування ресурсів	Одиниці вимірювання	Величина	Вартість, млн. грн
Електроенергія	тис. кВт·год	434641	782,35
Газ природний	тис. $м^3$	66660,4	599,94
Газ доменний	тис. $м^3$	136384	136,38
Теплова енергія	Гкал	107440	118,18
Вода технічна	тис. $м^3$	29543	35,45

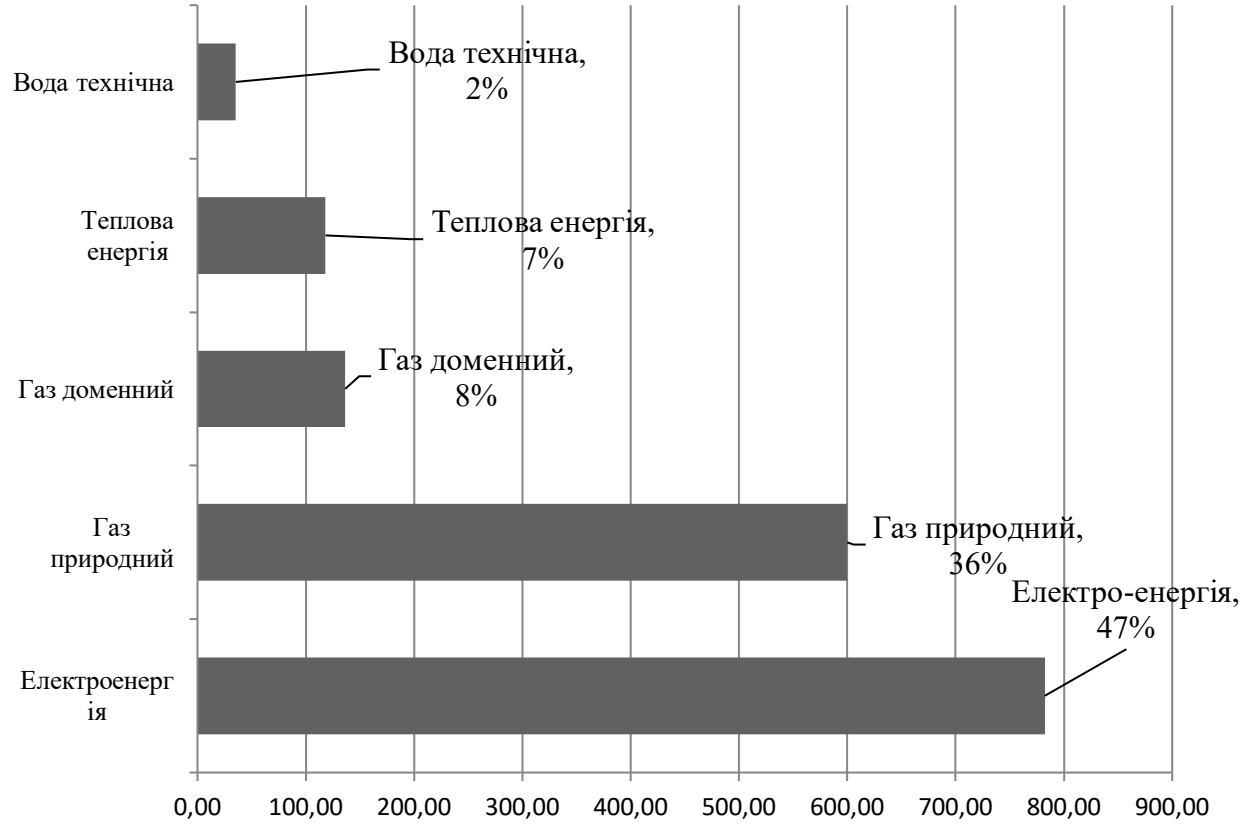


Рисунок 1.1 - Споживання енергоресурсів для ПАТ " Дніпроспецсталь"

Таблиця 1.2 - Споживання енергоресурсів для прокатного цеху

Найменування ресурсів	Одиниці вимірювання	Величина	Вартість, млн. грн
Електроенергія	тис. кВт·год	130911	235,64
Газ природний	тис. $м^3$	28500,8	256,51
Газ доменний	тис. $м^3$	64240,2	642,40
Теплова енергія	Гкал	40635	446,99
Вода технічна	тис. $м^3$	8380,5	10,057

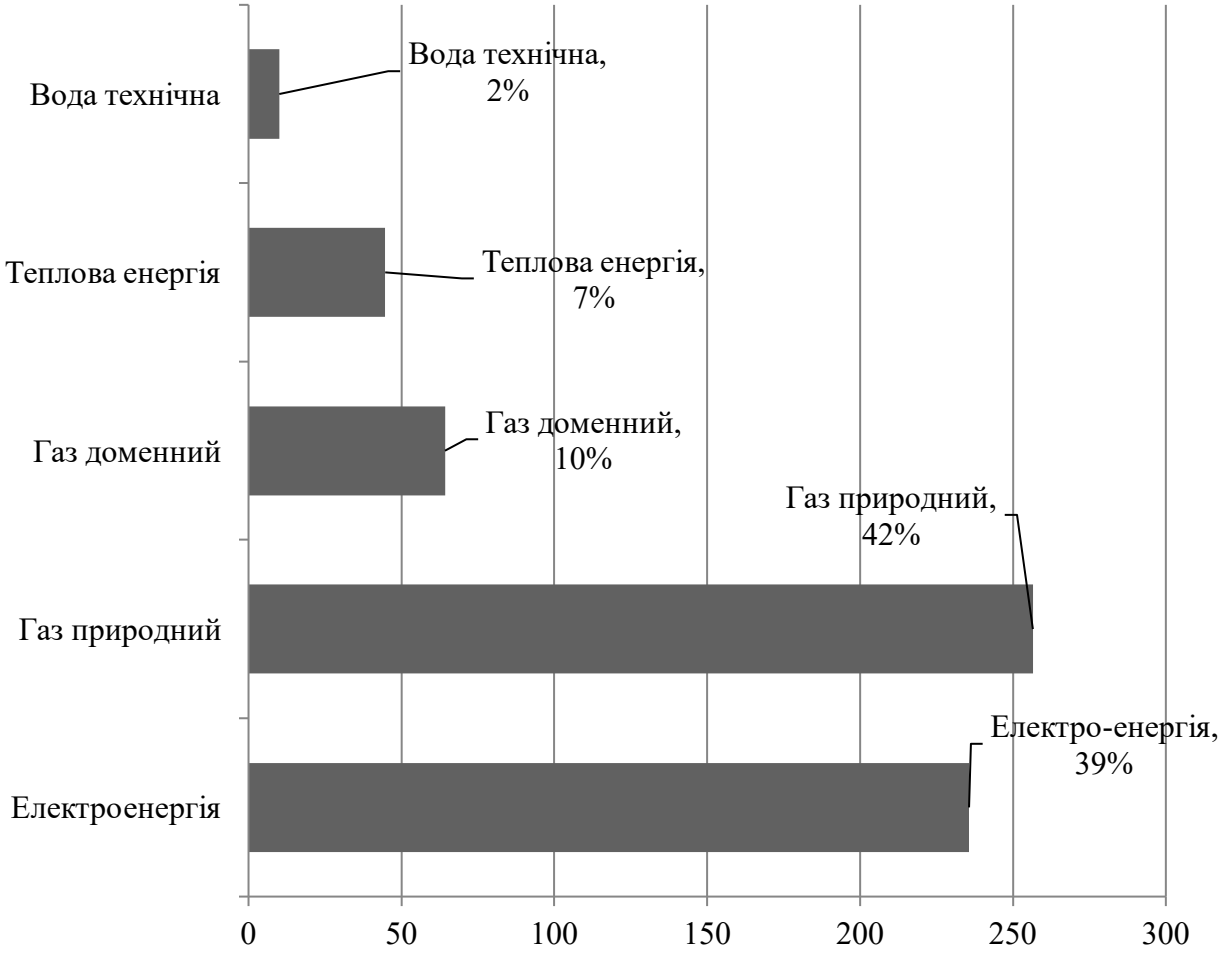


Рисунок 1.2 - Споживання енергоресурсів для прокатного цеху

1.2 Характеристика об’єкта дослідження

До складу прокатного цеху входить нагрівальне відділення, прокатні стани: стан заготовочний 1050/950, стан середньо сортний 550, стан середньо сортний 325, стан дрібно сортний 280, ділянка різання, травильне відділення, термічне відділення а також ділянка зачистки злитків. Прокатні стани спеціалізується на випуску заготівель квадратного й круглого перетину.

Досить відповідальною технологічною операцією є нагрівання металу перед прокаткою. Він повинен забезпечувати нормальні умови для деформації

металу й висока якість готової продукції. В останні роки розвивається новий напрямок у технології, засноване на керуванні процесом нагрівання металу з метою його оптимізації. Одну із завдань оптимізації процесу нагрівання можна сформулювати як питання про найбільш швидке нагрівання заготівлі до заданої температури за умови, щоб термічні напруги не перевищили певної заданої величини. Звичайно термічні напруги пропорційні різниці температур поверхні й середньої частини товщини заготівлі.

На заводі "Дніпроспецсталь" для нагрівання злитків використовують рекуперативні нагрівальні колодязі. У прольоті розташовано 12 груп нагрівальних колодязів. Група колодязів складається із двох осередків з розмірами з 1 по 9 групи 4.8×4.6×3 м, з 10-й по 12-у групу розміри осередків - 5.54×4.65×3 м. Стінки осередків складаються із двох шарів: один шар виготовлений із шамоту, другий шар - ізоляція. Колодязь закривається кришкою, що являє собою тверду металеву раму, що підтримує плоский підвісний звід. Для відкривання кришок застосовуються подові крани.

Конструкція нагрівальних рекуперативних колодязів з опаленням із центра подини обрана аналогічної існуючим колодязям.

Кожний осередок обладнаний газовим пальником у центрі поду.

Для високотемпературного підігріву повітря (до 800°С) застосовуються керамічні рекуператори з вертикальними трубами. Ці рекуператори збираються зі стандартних трубок восьмигранного перетину. Внутрішній діаметр трубок 108 мм, товщина стінки - 16 мм, висота - 356 мм, розташування трубок шахове. Димові гази рухаються по трубках зверху вниз, повітря йде між трубками противотоково-перехресним струмом стосовно диму. Керамічні рекуператори мають загальну площу нагрівання повітря 245 м^2. Для нагрівання повітря в рекуператорах використають теплоту газів, що відходять, з температурою близько 1100÷1250 °С.

Підведення повітря в колодязь здійснюється тангенціально під кутом 8 до горизонталі з метою зменшення вібрації гарячого повітря в зазор. З метою

зменшення втрати тепла з газами, що йдуть, установлені металеві трубчасті рекуператори.

Колодязі обладнані контрольно-вимірювальними пристроями, установлюваної на теплових щитах. Процес нагрівання злитків здійснюється з автоматичним регулюванням температури горіння й тиски в осередку. Можливо напівавтоматичне або дистанційне керування.

Стан заготівельний 1050/950 складається із двох лінійно розташованих клітей - обтискної й заготівельної. Сортамент стану: квадрат зі стороною 98÷350 мм, електроди, квадрат зі стороною 240 мм, коло діаметром 130÷300 мм із вуглецевих, легованих і високолегованих сталей спеціального призначення, що вимагають особливого режиму нагрівання, прокатки й додаткової обробки готової продукції й заготівлі. Стан катає злитки, передані в прокатний цех як гарячим, так і холодним всадом.

Стан "тріо" 550 складається із чотирьох клітей, розташованих в одну лінію, перша кліть - обтискна, друга й третя - чорнові, четверта кліть - чистова.

Три робочі кліті "тріо" обладнані механізованими пристроями вертикального й осьового регулювання валків станинами відкритого типу, з попередньою напругою вузла з'єднання кришки зі стійками станини для підвищення твердості станини. Твердість кліті 90 т/мм.

Чистова робоча кліть "дуо" конструктивно виконана аналогічно клітям 1÷3. Кантуюча шайба перед кліттю №4 забезпечує автоматичне кантування на 90° і втримання з фіксацією осі передчистового розкату при його завданні в калібри чистової кліті стану. Довжина рольганга перед кліттю №4 становить 35м для виключення скривлення розкату при переміщенні шлеперами.

Опори валків робочих клітей установлені на підшипниках кочення. У лінії стану валки з'єднані між собою універсальними шпинделями на тілах кочення.

Шестеренна кліть - відкритого типу із шевронними валками. Крутний момент двигуна сприймається середнім шестеренним валком.

На раскатному полі з передньої сторони стану є чотирьох і шестиниточні шлепери. Передачу розкату з 1 кліті на 2 здійснюють за допомогою чотириниткових шлеперів. Крок між нитками 3200 і 1600 мм. Передачу розкату з 2 кліті на 3 і з 3 на 4 роблять шестиниточними шлеперами із кроком 1600 мм. Із задньої сторони стану встановлені чотириниткові шлепера із кроком 3200 і 3400мм.

Перша, друга і третя кліті із завданням сторони обладнані підйомно-хитними столами. На столі за 1 кліттю змонтовані дві маніпуляціонні лінійки з незалежним приводом.

Характеристика головної робочої лінії стану:

- потужність електродвигуна головного приводу - 2400 кВт;
- число оборотів двигуна- 0÷150об/хв.;
- число оборотів валків - 0÷150 об/хв.;
- довжина бочки валків 1 кліті -1750 мм; 2-4 клітей -1600 мм;
- довжина валків min – 580 мм; max – 644 мм.

Основне й допоміжне устаткування сортового стану 325 розташовано в п'яти прольотах цеху:

- склад заготівлі;
- грубний проліт;
- становий проліт;
- склад готової продукції;
- машинний зал.

Склад заготівель стану 325 є частиною загального складу заготівель сортових станів і примикає до завантажувальних шлеперам нагрівальних печей:

Для нагрівання заготівель установлені п`ять методичних нагрівальних печей.

Стан 325 складається із двох робочих ліній і призначений для виробництва прокату вуглецевих, легованих і високолегованих сталей і сплавів з особливими властивостями.

Обтискна лінія складається із приводу, шестеренної кліті й трёхвалкової робочої кліті закритого типу, чистова лінія - із приводу, шестеренної кліті й п'яти робітників клітей із прорізами для 4-х валків, що працюють як двухвалкові. Відстань між осями робочих ліній стану - 28 м.

Для охолодження прокату перед різанням на стані є рейковий холодильник із прийомним і рольгангом, що відводить. Довжина холодильника-60 м, ширина -5 м.

За холодильником установлені ножиці з рухливим упором для різанням розкатів на замовлені довжини. Порізаний метал відводиться рольгангом на пристрій для скидання готової продукції в збірну кишеню.

Склад готової продукції обладнаний звареними секціями (бугелями); при прокаті більших партій тріщино чуйних сталей використають колодязі вповільненого охолодження.

На дрібно сортному стані 280 основне й допоміжне устаткування стану розташоване в чотирьох прольотах цеху:

– склад заготівлі,
– становий проліт,
– склад готової продукції,
– машинний зал.

Склад заготівель стану є частиною загального складу заготівель сортових станів, примикає до завантажувальної частини нагрівальних печей, уміщає добову потребу стану, з'єднаний з ад'юстажем заготівлі передатним візком вантажопідйомністю 20 т.

На стані є п`ять нагрівальних методичних печей. Відстань від вікна видачі заготівель до осі обтискної кліті - 14 м.

Стан 280 складається із трьох робочих ліній, призначений для виробництва прокату вуглецевих, легованих сталей і сплавів з особливими властивостями. Обтискна лінія складається із приводу й однієї робочої кліті типу "тріо". Чорнова лінія складається із приводу, шестеренної кліті й двох

робітників клітей типу "тріо", лінія працює як змінне "дуо". У першій кліті робітниками є нижня пара валків, у другий - верхня пара. Спільно обидві кліті чорнової лінії працюють тільки при прокатці прутків діаметром 6,5 - 9 мм, смуги перетином 4х20 мм, трапецієподібного профілю перетином 8,5х9,9 мм, у них виробляється три пропуски. При виробництві прокату інших розмірів сортаменту використається тільки кліть чорнової лінії.

Між обтискною й чорновою лініями клітей установлені ножиці гарячого різання, на яких відбувається обрізка розшарованих кінців розкатів обтискної кліті або різання їх на частині, якщо в цьому є необхідність. За ножицями по ходу прокатки встановлена підігрівальна камерна піч, призначена для підігріву недокатів. Відстань між осями обтискної кліті й ножиців - 17 м, між осями ножиців і підігрівальної печі - б м, між осями обтискної й чорнової лінії стану - 39 м. Обтискна й чорнова лінії з'єднані приводним рольгангом. Чистова лінія стану, складається із приводу й семи робочих клітей; шість клітей лінії типу "тріо", працюють як змінне "дуо", сьома кліть о чистова типу "дуо". Чорнова й чистова лінії стану зв'язані транспортним рольгангом, у якому вмонтована букса, що кантує.

Відстань між осями чорновою й чистовою лініями стану 21 м. За чистовою лінією стану на відстані 21 м по осі кліті № 5 установлені летучі ножиці, призначені для різання готового прокату на довжини 4,6; 30 м.

Готовий прокат, залежно від кінцевого розміру, одержують в кліті № 5, або в кліті № 7. Прокат, що поставляє в прутках, передається із чистових клітей № 5 і № 7 до летучих ножиць за допомогою напрямних труб і пари тягнучих роликів, установлених перед летучими ножицями. Готовий прокат трапецієподібний, перетином 8,5х9,9 мм, і діаметром 6,5:14 мм поставляє в бунтах, змотується на трьох моталках типу "Гаретта", У моталок для збирання бунтів і передачі їх на пакетувальна машину є пластинчастий транспортер

Прутковий прокат після різання на летучих ножицях передається транспортним рольгангом на рейковий холодильник. Довжина холодильника 33,6м, ширина 7,24 м. За холодильником установлені ножиці з рухливим

форштосом для різання розкатів на замовлені довжини, що відводить рольганг і пристрій для зштовхування готової продукції в збірну кишеню.

Склад готової продукції обладнаний звареними секціями для складування готового прокату, у прутках. Є площа для складування бунтів.

Технічна характеристика обладнання стану. Злитковіз - призначений для транспортування злитків від нагрівальних колодязів до прийомного рольганга й для укладання злитків на прийомний рольганг. Злитковіз складається із двох механізмів: механізму пересування й механізму перекидання колиски. Швидкість пересування злитковоза до 5,06 м/с, швидкість підходу злитковозу до упору - 0,4 м/с. Час перекидання колиски 3,0 - 3,5с.

Прийомний рольганг - призначений для приймання злитків від злитковоза й подачі його до поворотного стола. Прийомний рольганг складається з 10 секцій, по 3 кутих ролики в кожній секції. Загальна довжина прийомного рольганга до поворотного стола 17400 мм.

Поворотний стіл - призначений для розвороту злитків на 180° у горизонтальній площині й напрямку злитків у кліть донною частиною й розташований на відстані 39500 мм до стану. Поворотний стіл являє собою поворотну платформу діаметром 2900 мм і складається з 2-х механізмів: механізму повороту й рольганга. Час розвороту на 180°- 4,5с.

Транспортний рольганг - призначений для транспортування злитків і розташований за поворотним столом; складається з 12-ти секцій (по 3 шт.) пустотілих роликів. Довжина рольганга 12х1765=2118О.

Підводящий рольганг - призначений для передачі злитків із транспортного рольганга на робітник і є продовженням робочого рольганга перед кліттю. Довжина рольганга, що підводить, 14960мм.

Робочі рольганги та станинні ролики обтискної кліті розташовані з передньої та задньої сторони кліті й служать для завдання розкату (злитка) у валки й прийому їх з валків. Передній робочий рольганг складається з 8 цілком кованих роликів із кроком 650 мм.

Задній робочий рольганг має 8 роликів. Окружна швидкість роликів 1-3,5 м/с. Станинні ролики по 2 ролики з кожної сторони розташовані безпосередньо в станинах кліті.

Маніпулятор призначений для напрямку розкату з калібру в калібр і виправлення розкату.

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

Технічна характеристика маніпулятора:

- тип приводу лінійок – електричний;
- дина лінійок – 5465 мм;
- максимальний робочий розчин – 2100 мм;
- максимальне зусилля виправлення – 400 кН;
- робочий хід лінійок: правих - 1800 мм; лівих - 1950 мм;
- швидкість пересування лінійок м/с - 0,6÷1,2;
- висота лінійок правих, мм – 730; лівих, 880 мм;
- тип кантователя - крюковий із кривошипно-рейковим приводом;
- кількість гаків, що кантують, 4 шт.;
- вертикальний підйом гаків, що кантують, 860 мм;
- число підйомів гака у хвилину - 5.

Кліть складається із двох станин закритого типу. Робочі валки виготовлені зі сталі 60ХН. Діаметр нових робочих валків становить 1050 мм, мінімальний діаметр переточених валків - 970 мм.

Робочі валки, довжина бочки яких дорівнює 2250 мм, мають шейки діаметром 640 мм і опираються на підшипники з текстолітовими вкладишами, охолоджувані водою. Найбільше зусилля прокатки становить 18500кН, максимальна швидкість прокатки - 4,5 м/с. Привід індивідуальний від двох електродвигунів потужністю 3550 кВт кожний. Розчин валків змінюється в межах 10...800 мм. Вертикальну установку верхнього валка роблять натискним пристроєм зі швидкістю 200 мм/с. Зрівноважування верхнього валка роблять пристроєм, що врівноважує, і системою гідравліки.

Виїмку із кліті комплекту валків з подушками й установку в кліть нового комплекту роблять за допомогою механізму заміни валків обтискної кліті.

Швидкість прокатки на заготовочній кліті до 5,5 м/с. Валки виготовлені зі спеціального чавуну, шейки валків обертаються в текстолітових підшипниках. Для змащення й охолодження шийок валків до текстолітових вкладишів підведена вода, а також виробляється подача густого мастила для запобігання шийок валків від корозії.

Установку верхнього валка роблять натискним пристроєм. Максимальна швидкість підйому верхнього валка 200 мм/с. Зрівноважування верхнього валка гідравлічне.

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

Відводящий рольганг - розташований за робочим рольгангом обтискної кліті, має довжину 8400мм і служить для транспортування розкату до 900 тонних ножиців. Складається з 8 роликів із кроком 1200мм. Ролика мають окружну швидкість 1÷4 м/с і приводяться від індивідуальних електродвигунів ДП-32 (P=12кВт).

Передатні шлепери, встановлені за 900-тонними ножицями, призначені для передачі розкату після різання головної частини на лінію заготовочної кліті.

Передатні шлепери складаються з п'яти шлеперних доріжок зі шлеперними візками й сталевими канатами із кроком 2400 мм (5х2400 =1200 мм). Хід візків 8600 мм зі швидкістю 1,2 м/с. Шлепери приводяться в рух від електродвигуна МТВ-611-10 (P=45кВт) через редуктор і загальний трансмісійний вал. Загальна довжина шлеперного поля 14000 мм.

Здвоєний рольганг перебуває на шлеперном поле заготовочної лінії, має довжину 15600 мм і складається з 13 і 14 роликів. Ролики обертаються зі швидкістю 3,7м/с і 5,22м/с від індивідуальних електродвигунів АР73-12(P=3,5кВт) і АР73-10(P=5кВт). Довжина бочки роликів 700 мм і 1500 мм. Діаметр у всіх роликів 350мм, крок - 600мм.

Рольганг перед заготовочною кліттю загальною довжиною 16040 мм. Складається з 15 роликів із кроком 1035,1100,1200 мм. Привід роликів від індивідуальних електродвигунів ДП-32 (P=12кВт). Окружна швидкість роликів 1÷5,5 м/с. Діаметр бочки роликів 380 мм, довжина – 2400 мм.

Непарний рольганг розташований перед рольгангом заготовочної кліті й призначений для роботи при прокатці розкатів довших 15÷16 м. Рольганг має 13 непарних роликів із кроком 1200 мм.

Довжина рольганга 14400 мм. Діаметр бочки ролика 380 мм, довжина – 2400 мм.

Розподільний рольганг розташований у лінії заготовочної кліті за здвоєним рольгангом, його довжина 61200 мм. Призначений для транспортування розкату на передатні шлепери, які розташовані за ножицями із зусиллям різа 1250т. Розподільний рольганг складається з 2-х секцій: I секція довжиною 23700 мм із 20-ю роликами розташована перед шлеперним полемо й має швидкість обертання роликів 5,22м/с.

Привід здійснюється від електродвигунів з індивідуальним приводом (P=5кВт); 2-а секція довжиною 37500 мм із 32-мя роликами, розташована на шлеперному полі, має швидкість роликів 3,71м/с.

Привід здійснюється від індивідуальних електродвигунів P=3,5кВт.

Крок роликів обох секцій - 1200 мм, діаметр - 350 мм, довжина бочки – 600 мм.

Передатні шлепери, розташовані за 1250 тонними ножицями, складаються із правих і лівих шлеперів і призначені для передачі розкату на різку з розподільного рольганга на праві або ліві 1250-тонні ножиці.

Ширина шлеперного поля 35200 мм, крок шлеперів 2400·14=33600 мм, хід шлеперного візка–10580 мм, зі швидкістю 1,2 м/с.

Привід здійснюється через трансмісійний вал і редуктор від електродвигуна змінного струму (P=45кВт, n=576 об/хв.).

Відстань від шлеперного поля до осі заготовочної кліті – 65000 мм.

Рольганги перед ножицями із зусиллям різа 1250т призначені для подачі розкатів до ножиців.

Рольганги мають груповий привід від електродвигунів через циліндричний редуктор і коробку циліндричних шестірень.

Технічна характеристика (на один рольганг):

– кількість роликів, 3 шт.;
– діаметр бочки ролика, 350 мм;
– довжина бочки ролика, 600 мм;
– крок роликів, 700 мм;
– окружна швидкість роликів, 3,7 м/с;
– електродвигун приводу ДП-42 потужністю, 21 кВт;

Ролики рольгангів цільноковані, обертаються в підшипниках кочення. Рольганг обладнаний плитним настилом.

Відсувний рольганг 1250-тонних ножиців встановлений за ножицями (з боку робочої клітей) і призначений для скидання обрізі й проб у жолоб під рольгангом.

Технічна характеристика:

– кількість роликів, 8 шт.;
– діаметр бочки роликів, 350 мм;
– довжина бочки роликів, 660 мм;
– окружна швидкість роликів, 3,71 м/с;
– електричний двигун приводу рольганга ДП-62 потужністю, 64 кВт;
– електричний двигун руху рольганга МТМ-411 потужністю, 16 кВт;
– хід руху рольганга, 500 мм.

Рольганг має груповий привід через 2-х східчасту циліндричну передачу на конічні шестірні трансмісії. Ролики рольганга охолоджуються водою. Розміри головної обрізі злитків відкритої дугової виплавки розраховані по номінальній масі злитків при номінальній висоті наливу прибили.

Для забезпечення точності різання мірних довжин існують допуски на усадку при охолодженні металу.

При прокатці злитків до кінцевого профілю на першій кліті, без видалення обрізі головний і донною частини злитка в проміжному профілі на пресі із зусиллям 900т, обріз віддаляється в готовому профілі на ножицях із зусиллям 1250т або пилках.

Ножиці гарячого різання тиском 900т з нижнім різом призначені для обрізки й дорізки прибуткової частини злитка, а якщо буде потреба, при прокатці твердих марок стали - для обрізки донної розкуйовдженої частини перед прокаткою на заготовочній кліті. Ножиці розташовані в лінії обтискної кліті на відстані 19700мм від осі стану. Привід ножиців від 2 електродвигунів через редуктор. Потужність кожного двигуна 280кВт, швидкість обертання - 700÷1400 об/хв. Кількість різів у хвилину на першій швидкості - 6, на другій швидкості -11. Максимально відрізаємий перетин - квадрат 300 мм на першій швидкості при температурі металу не менш 800 ºС.

Технічна характеристика:

– розтвір ножів, 385 мм;

– довжина ножів, 1000 мм;

– висота верхнього ножа над крайкою рольганга, 350 мм.

Ножиці 900 т обладнані скидачем обрізі ножів , скидач приводиться в рух від електродвигуна Д1-31 (P = 8,5 кВт). Для скидання обрізі в жолоб під рольганг за ножицями є відкидний (потопаючий) ролик. Кількість ходів важеля скидача у хвилину 16. Максимальна маса, шматка що скидає 270 кг.

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

На пластинчастих ланцюгах конвеєра закріплені шкребки в кількості 39 штук, на яких одночасно може перебувати до 7 т обрізі. Конвеєр, рухаючись по похилій площині, виносить обрізь у спеціальний скрапний проліт і скидає її

через розвантажувальний жолоб у спеціальні короби, які встановлені на поворотному столі діаметром 4600 мм. Вантажопідйомність поворотного столу 40т, швидкість переміщення 0,06 м/с .

Ножиці складаються з наступних основних механізмів:

– ножиці;

– привід ножиців;

– шпиндель зі зрівноважуванням.

Привід ножиців задіян від 2-х електродвигунів через циліндричний редуктор і універсальний шпиндель, що з'єднаний з ексцентриковим валом ножиців.

Ножиці типові, з нижнім різом і являють собою два повзуни, установлених у малій станині відкритого типу. Верхній валок сидить на эксцентровом валу й з'єднаний з віссю нижнього повзуна за допомогою 2-х шатунів, що сприймає зусилля різання.

Верхній повзун переміщається по направляючих станини , нижній повзун - по направляючих усередині верхнього повзуна.

Під час роботи ножиців ножі охолоджуються водою. Ножиці з передньої сторони (по ходу прокатки із задньої сторони) обладнані зштовхувачем обрізків, що призначений для зштовхування заднього кінця розкату (по ходу прокатки передній кінець) у жолоб системи збирання обрізків, а також для подачі розкату на мірну довжину при відборі проб. Ножиці обладнані шахтним пристроєм для відбору проб. Кількість проб - 1-2 шт., час циклу 35 с.

Конвеєр збирання обрізків від ножиців призначений для збирання обрізків у короби.

Технічна характеристика

– кількість обрізі, що транспортує за 1 годину, 49 т;

– маса транспортуючої обрізі на горизонтальній ділянці, 4,7т;

– швидкість пересування стрічки, 0,105 м/с;

– кількість шкребків, 21 шт.;

– крок шкребків, 27х3000 мм;

– максимальна маса обрізка, 200 кг;

– електричний двигун приводу конвеєра МТ-52-8, 30 кВт.

На валу провідних зірочок установлений барабан, що обертаючись, передає обрізки з похилої частини конвеєра на розвантажувальний жолоб. Натяг ланцюгів виходить за рахунок маси нижнього провисаючої ділянки ланцюгів зі шкребком.

Сортамент стану та марки сталі. На заводі в прокатному цеху освоєне виробництво наступних марок швидкорізальної сталі: Р12М3ДО10Ф3-МП, Р12МФ5-МП (ТУ 14-1-2998-80), Р6М5ДО5-МП, Р12М3ДО8Ф2-МП (ТУ 14-1-2804-79), Р6М5Ф3-МП (ТУ 14-1-2998-80), Р12М3ДО5Ф2-МП (ТУ 14-1-3343-82) і Р9М4ДО8-МП (ТУ 14-1-3408-82).Технічні умови на порошкові швидкорізальні сталі розроблені інститутом "УкрНІІспецсталь" і заводом "Дніпроспецсталь" на підставі результатів дослідження якості металу, виготовленого в лабораторних умовах, з урахуванням досвіду закордонних фірм.

Доповнення до вимог ДСТУ 19265-73 на швидкорізальну сталь традиційного способу виробництва технічні умови на порошкову сталь передбачають оцінку наступних показників якості металу:

– скупчень сульфідних включень, що проявляються в макроструктурі металу у вигляді локальних ростворів поверхні шліфа. Дефект виникає в результаті сегрегації сірки на поверхні порошкових часток у процесі високотемпературного нагрівання (у ТУ цей вид дефекту іменується "сірчаною ліквацією");

– різнотравимості макроструктури металу, викликаної поділом порошку на фракції в процесі заповнення та вібрації капсул (у ТУ дефект обозначається "шаруватість");

– пористості в мікроструктурі металу, що виникає в результаті недоприсовки порошку або включення аргону усередину капсули з порошком у процесі гарячого газостатичного пресування;

– забруднення стали кисневими включеннями, що утворяться в результаті перерозподілу кисню по перетину пресовки в процесі високотемпературного нагрівання (у ТУ цей дефект позначена "киснева ліквація"), а також інших неметалічних включень, властивих сталям звичайного виробництва.

Технологічний процес прокатки металу. Документом на поставку злитків зі сталеплавильних цехів у прокатний цех є аналізна карта плавки (видається експрес-лабораторією відповідного сталеплавильного цеху) з оцінкою відділу технічного контролю про відповідність металу даної плавки вимогам необхідної нормативної документації.

Злитки плавок, по своєму хімічному складу відповідному графікові виплавки (замовленню), і необхідної нормативної документації застосовуються для посадки в колодязі блюмінга.

Доставка злитків до нагрівальних колодязів обтискного стану доставляється по залізниці.

Вимоги до технології замовлення обмовляються робочою картою стану, де вказують необхідний профіль, довжина, необхідність термообробки, стандарт або технічні умови на готову продукцію.

Для злитків, що надходять на обтискний стан у гарячому стані, основними контрольованими параметрами є хімічний склад і температура. Для злитків, що надходять у холодному стані, основними контрольованими параметрами є хімічний склад і відповідність маркування даним аналізной карти плавки і якості поверхні вимогам технологічних інструкцій.

Перед посадкою злитків контролером ОТК перевіряється відповідність хімічного складу вимоги замовлення, температури посадки вимогам

інструкції, відповідність розташування злитків схемі, наведеної на аналізній карті плавки, маркування і якості поверхні.

Контролер ОТК разом з нагрівальником визначають температуру поверхні злитків гарячого всаду по кривих охолодження або по таблиці. Посадка злитків у нагрівальні колодязі виробляється після дозволу контролера ОТК.

Тривалість посадки злитків однієї плавки не повинна перевищувати 15-25 хв. залежно від марок стали.

У холодний період року (при температурі нижче -10°С) злитки холодного всаду перед посадкою в нагрівальні колодязі витримуються в прольоті нагрівальних колодязів не менше 24 год.

Нагрівання злитків гарячого й холодного всада перед прокаткою здійснюється в рекуперативних нагрівальних колодязях.

У прольоті 12 груп колодязів. Кожна група колодязів складається із двох осередків розміром 5,54х4,65х3 м.

Опалюються колодязі коксодоменою сумішшю з добавкою природного газу.

Для спалювання газу кожний осередок обладнаний газовим пальником у центрі поду, двома рекуператорами, озташованими із двох протилежних сторін осередку. Рекуператори керамічні із загальною поверхнею 270 м^2 використовують теплоту відходящих газів з температурою близько 1100-1250 °С. Колодязі обладнані контрольно-вимірювальними апаратурою.

Маса садки в один осередок не повинна перевищувати 80 т. Мінімальна кількість злитків, що нагрівають в одному осередку, 8 шт.. В одному осередку можуть нагріватися злитки не більше трьох груп марок стали, що відповідають режиму нагрівання. При посадці в осередок злитків сталей різних груп нагрівання ведеться по режиму для сталі, що має більше повільний підйом температури, більше низьку температуру й меншу тривалість томління.

Після видачі таких злитків робиться нагрівання з максимальною швидкістю до заданої температури злитків інших груп.

На дошці посадки нагрівальником записуються: номер плавки, марки стали, кількість злитків, час початку й кінця посадки, температура злитків і осередку при посадці, схема посадки злитків. Аналогічні дані заносяться контролером ОТК у спеціальний журнал.

Необхідна температура металу встановлюється задатчиком температури на потенціометрі.

Завдання температури змінюється в процесі нагрівання металу відповідно до режиму для даної марки стали. Допускні відхилення від заданих температур плюс 10 °С, мінус 20 °С. Температура в колодязях перевіряється за допомогою контрольного оптичного пірометра після 20-хвилин витримки при заданій температурі й тиску для даного осередку, з обов'язковою попередньою перевіркою правильності роботи потенціометра.

При зупинках стану тривалістю до 2 год температура томління осередку зі злитками знижується на 100°С, при простої більше 2 год - знижується не менш, ніж на 200°С.

По закінченні простою відбувається нагрівання до температури томління, томління й видача злитків на прокатку.

Видача злитків відбувається рівномірно з таким розрахунком, щоб вони не затримувалися перед станом.

Доставка нагрітих злитків до стану відбувається за допомогою злитковоза.

Прокатка злитків здійснюється на блюмінгу "1050", що представляє собою обтискний дуо - реверсивний стан лінійного типу, що складає із двох клітей: обтискної (діаметр валків 1050 мм) і заготівельної (діаметр валків 950 мм). Кожна кліть має по 2 двигуни потужністю 3500 кВт. Стан пущений в 1955 році, реконструктивні заходи проводилися в 1966 і 1998 роках.

Залежно від розважування марки стали злиток за 15-25 пропусків обжимається до потрібного перетину. Передача злитка з калібру в калібр здійснюється маніпуляторами лінійками з передньої й задньої сторони.

Кантування розкату на 90° відбувається кантувачем з передньої сторони кліті (встановлені на лівій лінійці маніпулятора).

З обтискної кліті розкат надходить до ножиців 900 т, де утворюється прибуткова частина.

Квадратну заготівлю перетином більше 170 мм і сорт діаметром більше 275мм одержують на обтискній кліті.

При прокатці сортового прокату круглого перетину діаметром 130-275 мм і заготівлі перетином квадрат 100-160 мм розкату, після видалення прибуткової частини на ножицях 900 т, передається шлеперами на рольганг лінії заготівельної кліті.

На заготівельній кліті із квадратної заготівлі по системі квадрат - овал, овал - коло за 2-4 пропуски одержують прокат круглого перетину діаметром 160-275 мм і за 4-6 пропусків по системі квадрат - ромб - овал - коло одержують прокат діаметром 130-150 мм.

Квадратна 100-160 мм для сортових станів катається у заготівельній кліті по системі ромб - квадрат за 4-6 пропусків.

Порізка металу на необхідні довжини відбувається на ножицях зусиллям 1250 тонн або роторних пилок. Тут же виробляється й відбір проб для проведення необхідних випробувань.

Обрізь від ножиців 900 т, 1250т та інших пив після таврування по жолобу подається на відводний конвеєр її в короби, установлені на поворотній платформі.

Розрізані на потрібні довжини заготівлі й сортовий прокат маркірується, скидають у кишені. З кишень за допомогою кранів метал передається, залежно від технології й вимог замовлення, у ями вповільненого охолодження, площадки або вантажиться у вагони.

Охолодження металу після прокатки відбувається, залежно від марки сталі, або в не опалювальних колодязях (ямах) уповільненого охолодження, або на повітрі. У прольоті стану є 18 колодязів для охолодження заготівель та 19 колодязів для охолодження сортового прокату.

Розміри робочого простору колодязів:

– для заготівлі 5000х5000х2000 мм;

– для сортового прокату 7000х2500х2000 мм.

Температура металу при завантаженні в колодязі вповільненого охолодження повинна бути не нижче 700°С. Вимір температури металу відбувається переносною термопарою через 20 хвилин після закінчення завантаження, подальші виміри відбувається через кожні 4 години. Залежно від марки сталі час охолодження може коливатися від 36 до 92 год.

Після охолодження метал передається на ад'юстаж, а метал потребуючий термообробки, відповідно до замовлення відвантажується не пізніше встановленого часу в термічний цех.

Травлення металу відбувається з метою видалення окалини й виявлення поверхневих дефектів. Відділення травлення заготівлі для сортових станів складається з 2 ліній.

Кожна лінія є самостійним агрегатом, керування лініями здійснюється з поста керування, завантаження та вивантаження відбувається кранами. Лінія розрахована на травлення заготівель довжиною 1250-3900 мм максимальним перетином 200х200 мм.

Максимальна вантажопідйомність однієї лінії 70 т. Середня тривалість травлення однієї садки - 15-20 хв.

Пересадження кошиків відбувається з ванни у ванну. Кожна лінія включає 6 ванн. Максимальна ємкість однієї ванни - 11 $м^3$.

Ванни футеровані кислототривкою цеглою. Температура розчину у ваннах 55-95°С.

Відділення травлення сортаменту складається з 3 травильних ванн, однієї промивної й однієї ванни нейтралізації. Розміри ванн 6,5х1,4х2,2 м.

Травлення металу відбувається відповідно до режимів для груп марок сталі, зазначеними в інструкції. Контроль концентрації кислоти і якості протравленого металу виробляється відповідно до вимог інструкцій.

Споживачами природного газу в прокатному цеху є камерні нагрівальні печі, ефективність роботи яких є досить низькою, тому розробка та провадження нових наукових та технічних заходів в цьому напрямку є першочерговим завданням.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В КАМЕРНИХ ПЕЧАХ

2.1 Загальні відомості про камерні печі

Камерна піч - це широке сімейство високотемпературних приладів з електричним нагріванням, які мають зону нагріву кубічної форми.

Також відомі як муфельні, печі та печі коробчастого типу, ці пристрої мають численні застосування, включаючи плавлення металів, спалювання органічних речовин, озолення та спікання кераміки, камерні печі є необхідними інструментами для дослідницьких лабораторій, а також повсякденними партнерами для професіоналів, які працюють у кераміці, стоматології, ювелірних виробах та інших подібних сферах.

Зазвичай камерні печі мають передній завантажувальний порт, що дозволяє завантажувати в піч об’єкт лікування. Конструкція підйомних дверей замість традиційних бічних шарнірних конструкцій утримує гарячі поверхні подалі від оператора, коли двері відкриваються, коли камера гаряча.

Thermansys має широкий асортимент печей камерного типу для застосувань, які вимагають обробки від робочої температури від 1200 до 1800C, використовуючи три типи нагрівальних елементів, які визначають максимальну робочу температуру. Thermansys пропонує камерні печі з усіма можливими нагрівальними елементами та максимальною робочою температурою від 1200C до 1800C. Також доступні моделі індивідуального дизайну.

Печі з металевим нагрівальним елементом є найпоширенішим типом, а максимальна робоча температура обмежена 1200C-1250C постійно.

Від цієї межі температури і вище використовуються керамічні обігрівачі. Для безперервних рівнів до 1550C камерні печі з нагрівачами з карбіду кремнію (SiC) є чудовим варіантом із високою ціною. Для температурних рівнів від 1600C до 1800C можна використовувати лише нагрівачі з дисиліциду молібдену ($MoSi_2$).

Основні питання, які слід враховувати, це, очевидно, максимальна робоча температура та об’єм пристрою, який має бути достатнім для виконання бажаного процесу.

Високотемпературні електропечі, як правило, є дорогим обладнанням. Вибираючи піч, потенційний користувач повинен знати, що при максимальній робочій температурі до 1200C вартість обладнання є відносно низькою. У цих моделях використовуються металеві нагрівальні елементи (нагрівачі) FeCrAl. Проте від 1200C і вище відбувається нелінійне (крокове) збільшення вартості обладнання, оскільки моделі з максимальною робочою температурою 1200C і вище використовують керамічні нагрівальні елементи та спеціальну ізоляцію з високим вмістом оксиду алюмінію. Користувач повинен враховувати цей фактор вартості при виборі максимальної робочої температури для печі камерного типу.

Незважаючи на це, є користувачі, які віддають перевагу вибору печі з вищою робочою температурою, ніж необхідна для його застосування для подальшого використання. Однак користувачеві важливо взяти до уваги, що нагрівальні печі MoSi2, наприклад, розроблені для роботи від 1000C і вище. Не рекомендується тривалий час експлуатувати піч MoSi2 при температурі нижче 1000C. Захисний оксидний шар елемента зменшується, і елемент піддається корозії. Те ж саме станеться при роботі печі із захисним інертним газом. Thermansys пропонує порожню роботу в повітряній атмосфері вище 1400C протягом 2 годин кожного разу, коли піч працює за знижених умов або нижче 1000C протягом 24 годин або більше.

Середовища з високою температурою є високоактивними. Багато підпресів можуть працювати паралельно всередині високотемпературної печі, що працює з певним навантаженням. Зазвичай у печах камерного типу внутрішня ізоляція, оскільки нагрівачі також знаходяться в прямому контакті з процесом. Поточні гази, а також пари, які можуть утворюватися в процесі, можуть реагувати з внутрішньою ізоляцією камери або нагрівачами. Навіть інертні гази, які використовуються як захисна атмосфера, можуть спричинити

ризик пошкодження нагрівачів, як зазначено вище. Тому цьому пункту слід приділяти особливу увагу, щоб уникнути зносу або навіть пошкодження обладнання. Інструкції з експлуатації Thermansys містять таблиці з максимально допустимими температурами печі для різних атмосфер, які можуть бути створені всередині камери кожної моделі. Контакт оброблених зразків навантаження з ізоляцією також є важливим фактором, який слід враховувати. Ізоляція з високим вмістом глинозему, яка зазвичай використовується, є досить інертною і не легко реагує з іншим твердим матеріалом, але є винятки. Класичним прикладом є стабілізований діоксид цирконію ітрієм, який має високу реакційну здатність із волокнистою ізоляцією з оксиду алюмінію в печах при температурі вище 1500C. Будь ласка, зверніться до технічної групи Thermansys для отримання додаткової допомоги з цього питання.

Зазвичай через високу температуру та необхідність вільного випромінювання нагрівальні елементи оголюються всередині нагрітої камери печі. Проте від Thermansys доступні спеціальні моделі, як-от серія BOX-CW-1100 і печі Cuppellation (CUP-AS-1200), де нагрівачі захищені від атмосфери процесу.

Спеціальна конструкція з камерними печами з нижнім завантаженням дозволяє завантажувати оброблюваний предмет в нижню частину (серце) зони нагріву. Пересувається або дно, або корпус печі.

Нагрівальна зона нижнього завантаження постійно закрита з усіх боків і зверху. Це дає велику перевагу такій конструкції, оскільки резистори можуть існувати на всіх чотирьох сторонах камери, що призводить до більшої рівномірності температури. Теплові втрати в навколишнє середовище під час роботи також зменшуються порівняно з піччю з фронтальним завантаженням. Нижні лідери також краще служать для програм, які вимагають завантаження гарячої печі. Тепло природним чином підвищується завдяки природній конвенції, і таким чином відкриття нижньої частини гарячої зони мінімізує

втрати та можливу загрозу безпеці оператора порівняно з печами з камерою переднього завантаження.

За запитом Thermansys може надати спеціально розробленІ печі з нижньою загрузкою для застосування з максимальною робочою температурою від 1200 до 1700С. Більшість печей камерного типу мають димохід у верхній частині для відведення газів, що утворюються під час термічної обробки. Залежно від типу застосування та інтенсивного випуску гарячі гази слід безпечно видаляти з приміщення лабораторії.

Якщо вентиляції приміщення недостатньо для відводу вихлопного тепла та газів, які можуть утворитися під час роботи, піч слід розмістити під витяжним ковпаком.

Якщо це також не підходить, користувач також може забезпечити індивідуальну вентиляцію димоходу печі, використовуючи техніку, описану на рисунку праворуч. Зверніть увагу, що вихлопні гази, що виходять з димоходу, можуть мати надзвичайно високу температуру. Тому пряме підключення до колектора вентиляційних труб неможливе. Гарячі гази, що виходять з димоходу печі, повинні бути розбавлені свіжим повітрям з навколишнього середовища перед тим, як потрапити у вентиляційний канал, знижуючи загальну температуру та концентрацію вихлопних газів.

У стандартних доступних камерних печах рівномірність температури гарантується як відхилення від конкретної робочої температури для певного об’єму всередині гарячої зони, коли порожня піч перебуває в стабільному стані протягом певного періоду. Користувач повинен надати спеціальні послуги калібрування для визначення однорідності температури за допомогою доступних міжнародних стандартів. Ці калібрування зазвичай охоплюють частину загального об’єму печі, що називається робочим простором. Стандартні печі Thermansys не відкалібровані під час доставки. Це спеціальна пропозиція послуги на запит.

Як правило, фактична однорідність температури всередині камерної електричної лабораторної печі залежить від багатьох параметрів. Перш за все,

на робочу температуру по відношенню до максимальної робочої температури. Високотемпературні печі призначені для роботи та кращої продуктивності за високих температур, близьких до їх максимальної робочої температури. Для печі із закритими герметичними дверцятами тепло передається в основному ІЧ-випромінюванням, що генерується нагрівачами. Залежно від нагрівача і процесу випромінювання починає з'являтися від 500-600C і вище.

Нижче цієї межі температури, як правило, рівномірність температури всередині камери погана через відсутність потужного механізму перенесення. Чим вища температура, тим вище випромінювання, і, таким чином, рівномірність температури пропорційно покращується та досягає максимуму. Як можна зрозуміти, оскільки випромінювання є засобом передачі тепла від нагрівачів до завантаження, коефіцієнт випромінювання завантаження, тобто здатність завантаження поглинати теплове випромінювання, є важливим параметром, який, зрештою, визначить фактичну різницю, якщо така є, між температурою печі та температурою завантаження. Тип навантаження, вид, геометрія та маса також відіграють роль у рівномірності його температури. Як правило, чим вище маса й об’єм, а також менша випромінювальна здатність обробленого навантаження, тим вищим має бути час витримки для рівномірної термічної обробки.

На практиці камерні печі ніколи не бувають газонепроникними. Враховуючи той факт, що ці пристрої зазвичай мають димохід для відведення плинних газів, атмосферне повітря всмоктується через дверні інтерфейси через надзвичайно високу природну конвенцію, яку створює висока температура. Це може створити холодні зони всередині камери через надходження холодного повітря. Користувач повинен завжди перевіряти стан ізоляції дверцят, яка створює герметичність з камерою. Погане ущільнення може призвести до сильного потоку холодного повітря в цій точці, що сильно вплине на однорідність.

Камерні печі Thermansys оснащені системою керованої концепції попереднього підігріву повітря. Завдяки регульованим повітряним отворам на

задній стороні повітря проходить через закриті канавки всередині ізоляції, отримуючи тепло від гарячої ізоляції. Потім попередньо нагріте повітря надходить у камеру через численні отвори у верхній передній частині камери та виходить із задньої частини, утворюючи плавний попередньо нагрітий і рівномірний за температурою ламінарний потік повітря через завантаження.

Камерні печі не є газонепроникними пристроями. Камера виготовлена з керамічних частин, з'єднаних досить щільно, але недостатньо для створення герметичності. Дверцята камерних печей також не герметичні. Застосування вакууму або підвищеного тиску неможливо всередині стандартної печі камерного типу. Подібні додатки вимагають використання трубчастої печі в поєднанні з відповідною робочою трубою та кінцевими фланцями для ущільнення газу.



Рисунок 2.1 – Зовнішнів вигляд печі



Рисунок 2.2 – Промислова піч



Рисунок 2.3 –Піч з відкритими дверцятами

Однак зазвичай захисну атмосферу можна підтримувати всередині камерної печі. Інертний, окислювальний або відновлений газ можна постійно подавати в камеру. Вхідний газ буде постійно витісняти атмосферне повітря, що знаходиться всередині камери, і створювати всередині селективну атмосферу. Чим вищий потік газу, тим вищою буде концентрація газу та витіснення повітря. Проте ні в якому разі кисень не буде повністю видалено.



Рисунок 2.4 –Електрична нагрівальна піч

Різниця між лабораторною камерною піччю і промисловою камерною піччю полягає в розмірах. Промислові печі, як правило, обробляють більші партії матеріалу, тоді як лабораторні печі зазвичай використовуються для обробки менших зразків. Промислові камерні печі мають більш міцну конструкцію, щоб витримувати вимоги виробничих потужностей.

2.2 Характеристика термічної печі в умовах ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Печі з підвісним подом використовуються для термічної обробки важких і великих сталевих деталей, температура й атмосфера змінюються залежно від процесу та застосування; такі як загартування, відпал, м’який відпал, нормалізація, зняття напруги, гомогенізація та рекристалізація зі звичайною робочою температурою між 250–1150°C залежно від застосування.

Візок завантажується ззовні печі за допомогою вилкового навантажувача або мостового крана до того, як візок увійде в піч. Зазвичай завантаження охолоджується всередині печі до того, як оператор витягне візок, але за допомогою спеціальної конструкції піч можна відкрити та вилучити завантаження з печі для охолодження або гасіння, поки піч ще гаряча та працює.

Топка утеплена високотемпературним волокнистим утеплювачем і мінеральною ватою. Радіаційні нагрівальні елементи встановлюються на внутрішніх бічних стінках печі, а в деяких випадках і в днищі (візку) і люку/дверцях; для досягнення найкращої рівномірності температури.

Візок, що приводиться в рух електродвигуном, складається зі сталевої рами, ізоляційної та вогнетривкої цегли. Наша піч із подом оснащена нашим унікальним термостійким ущільненням між подом і візком, яке можна відкрити під час роботи для ефективного охолодження.

Подова піч із візком має кілька різних конструкцій; люк/двері, які відкриваються вертикально або ковзають горизонтально, ручні двері, які можна підвішувати ліворуч/праворуч або постійно фіксувати на кінці візка.



Рисунок 2.5 – Печь з відкритими дверцятами

Усі наші печі з візком-подом постачаються з повною документацією та сертифікатом CE відповідно до LVD, EMC та Директиви щодо машин.

Ми також можемо дотримуватися галузевих стандартів, таких як; AMS2750E / AMS2750F (аерокосмічна промисловість), CQI-9 (автомобільна промисловість), API 6A 21-е видання (нафта/газ/морське виробництво) та ISO 17663:2009 (зварювання).

2.3 Розробка математичної моделі теплових процесів

Галузі, які в основному відповідальні за високе споживання енергії, повинні інвестувати в науково-дослідні проекти з метою розробки нових систем управління для раціонального використання енергії та подолання руйнівних наслідків зміни клімату, спричиненої поведінкою людини. Дослідження, описане в цій роботі, стосується ковальської промисловості, де виробничі процеси, як правило, починаються з нагрівання сталі в печах, і

продовжуються іншими процесами, такими як термічна обробка і різні форми механічної обробки. Однією з найбільш відповідальних операцій, з точки зору втрат енергії, є відкриття дверцят печі для операцій вставки та витягу. За цей час температура печей за кілька хвилин знижується на сотні градусів. Оскільки розсіяне тепло має знову подаватися через спалювання палива, збільшуючи споживання енергії та викиди забруднюючих речовин, оцінка кількості втраченої енергії має вирішальне значення для розробки систем, які можуть стримати ці втрати. Для виконання цього дослідження було використано програмне забезпечення для моделювання CFD. Результати показують, що при відкритті дверцят через різницю температур і тиску між піччю і навколишнім повітрям створюється турбулентність. Результати також показують, що кількість енергії, втраченої за 10 хв для випромінювання, конвекції та провідності, дорівнює 5606 МДж, де конвекція є основним фактором, з 5020 МДж. Створена модель, після валідації, була застосована для виконання інших симуляцій з метою поліпшення енергетичних характеристик печі. Результати показують, що скорочення часу відкривання дверей економить енергію та обмежує викиди забруднюючих речовин.

Глобальне скорочення викидів вуглекислого газу стає ключовою метою державної політики, що призводить до скорочення використання викопного палива [1]. Глобальні парникові гази утворюються в результаті ряду видів економічної діяльності, в основному виробництва електроенергії, виробництва тепла і промислової діяльності [2], а також сільського господарства і розведення [3], транспорту [4], будівництва [5] і видобутку, переробки і транспортування палива [6].

Викиди парникових газів від промисловості в першу чергу пов'язані з викопним паливом, що спалюється на об'єктах з виробництва енергії, а чорна металургія входить до п'ятірки найбільш енергоємних галузей промисловості, як повідомляється в журналі Energy Technology Perspectives 2014 [7]. Основним викликом для цього сектору є зниження енергоспоживання,

викидів парникових газів та викидів забруднюючих речовин [8].

Чорній металургії необхідно інвестувати ресурси, щоб обмежити свій вплив на навколишнє середовище. Найбільш використовуваними методами визначення енергоспоживання та ефективності виробничих процесів є чисельне теплове моделювання та аналіз життєвого циклу (РКА) [9,10].

Більшість робіт, наведених в літературі, відносяться до прохідних балкових печей і мають на меті прогнозування розподілу температури в плитах, що відіграє головну роль в якості кінцевого продукту, а також ефективність нагріву печі [11–17]. Більшість цих робіт спиралися на математичні моделі, так як експерименти досить складні у виконанні через великі розміри реальних печей, обмеженого фізичного доступу і жорстких умов навколишнього середовища печі [18].

Нещодавно була виконана цікава робота по моделюванню спряженого теплообміну і потоків рідини всередині промислової печі з програмним забезпеченням CFD [19]. У роботі представлена модель, здатна моделювати теплообмінний потік конвекції, провідності та випромінювання в 3D печі з наявністю шести провідних сталевих твердих тіл [20].

Натомість у цій статті основна увага приділяється термічному аналізу ковальської печі та обговорюються результати спільних досліджень між Університетом Перуджі та Divisione Fucine di Acciai Speciali Terni (SdF), світовим лідером у галузі кування сталі.

У SdF ковані вироби отримують за допомогою виробничого процесу, в якому беруть участь печі та преси. Як правило, для досягнення правильної геометрії потрібно кілька циклів нагріву та механізмів. Однак ці процеси породжують внутрішні напруги та дефекти, які погіршують якість продукції. З цієї причини ковану сталь піддають іншим термічним і фінішним обробкам для зняття напружень, модифікації молекулярної структури та покращення якості та продуктивності кінцевих матеріалів.

З кількох аналізів, проведених у SdF, з'ясувалося, що надмірне використання печей у виробничих процесах є одним з основних факторів,

відповідальних за високе споживання енергії. Підвищення їх енергоефективності дозволило б підприємству скоротити викиди забруднюючих речовин, заощадити енергію та знизити собівартість кінцевого продукту.

Всі печі в SdF працюють на природному газі, але відрізняються один від одного своїми габаритами, кількістю пальників, вогнетривкими властивостями і так далі. Однак можна класифікувати їх за двома основними категоріями. Печі термічної обробки, які, як правило, вимикаються після закінчення обробки, і ковальські печі, які завжди включаються при максимальній температурі і використовуються для нагрівання зливків. Безперервна робота ковальських печей є основною причиною високого енергоспоживання, так як для компенсації втрат енергії при відкритті печі і підтримки робочого температурного режиму необхідна безперервна подача енергії.

Типова операція встановлення/витягування починається з відкриття дверцят печі, продовжується рухом витягуваного вогнища візка, потім позиціонуванням або підбором продукції за допомогою верхнього пересувного крана і, нарешті, закінчується вставкою вогнища візка та закриттям дверей. Час, необхідний для виконання цих операцій, залежить від багатьох факторів, таких як розміри злитків, час маневрування, наявність несправностей і і так далі. З аналізу даних, які є в розпорядженні SdF, з'ясувалося, що час варіюється приблизно від 10 хв до 1 год. У цьому часовому проміжку температура печі знижується на сотні градусів, від 300 C

для коротких відкриттів - до 700 C для довгих відкриттів.

Наскільки нам відомо, в літературі немає інших досліджень з оцінки теплової поведінки ковальських печей під час перехідних періодів введення та екстракції, хоча оцінка втрат енергії та інших параметрів, таких як швидкість і напрямки газів, є обґрунтованим інструментом прийняття рішень для зниження споживання енергії. Складність явищ, що відбуваються в реальних умовах, ускладнює аналіз дослідження, де провідність, конвекція і

випромінювання відбуваються одночасно [21]. З цієї причини в даній роботі обговорюються результати тривимірного моделювання перехідних процесів, виконаних за допомогою програмного забезпечення CFD, ковальської печі, враховуючи загальний час відкриття 10 хв. Перше моделювання було проведено з часом підйому дверцят 157 с, що відображає реальний робочий стан печі в SdF. Потім створена модель була перевірена за допомогою експериментального випробування, проведеного в SdF з тими ж робочими умовами, що і до моделі. Послідовно, з метою підвищення енергоефективності печі, були проведені ще два моделювання з різною швидкістю відкривання дверцят і в цій статті обговорювалися. Зокрема, враховувався час відкриття 40 і 60 с. Отримані результати також були використані для визначення вуглецевого сліду процесу.

2.4 Налаштування моделі

Створення моделі почалося з промальовування геометрії та її дискретизації за допомогою процесу сітки. Вона продовжилася визначенням імітаційної установки, а закінчилася аналізом отриманих результатів [22].

Геометрія цього випадку дослідження складається тільки з області рідини, що беруть участь в теплових потоках, і по дверцятах печі. Так як піч знаходиться в умовах експлуатації, коли дверцята піднімаються вгору, а всі пальники відключаються, модель може бути створена з дуже чистою геометрією, без протяжних компонентів, які не впливають на рух рідини і теплові потоки. На рисунку 2.6 показані дві деталі створеної геометрії, зокрема, положення геометрії печі розглядається з одного кута всієї області, щоб забезпечити повний огляд моделі.

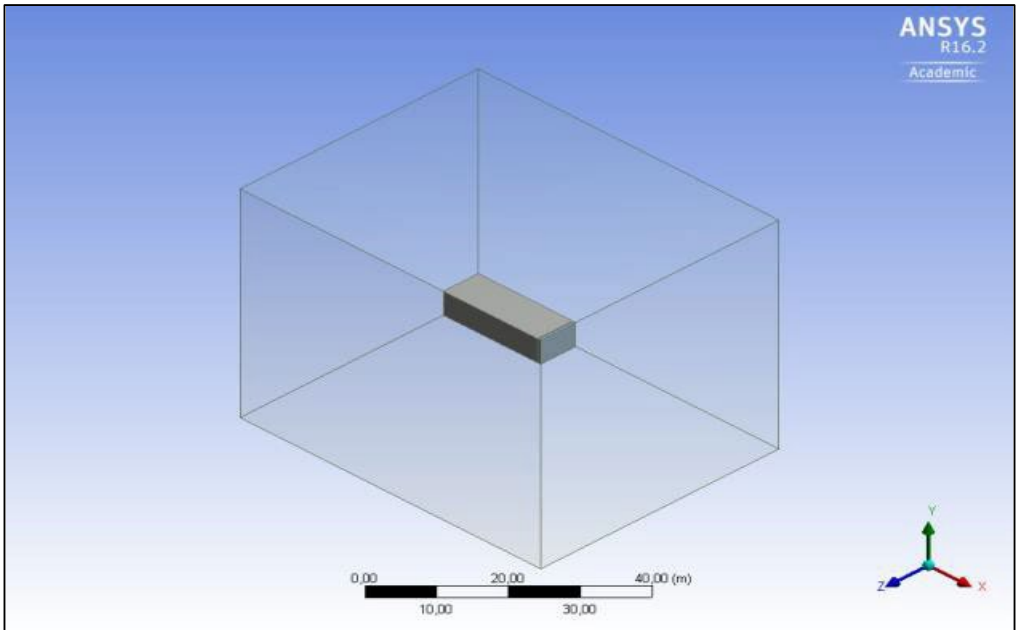


Рисунок 2.6 - Геометрія, що використовується для моделювання: вся область, що розглядається для аналізу

Піч має висоту 4,7 м × ширину 6,9 м × глибину 18,55 м. Ці розміри знаходяться щодо внутрішнього простору печі, який є простором, займаним рідиною. Дверцята намальована на відстані 10 см від кордону печі, так як в момент відкривання вона ковзає в горизонтальному напрямку перед підняттям вгору. Цей рух зменшує тертя між дверцятами і межами печі. Ширина і висота дверцята така ж, як і у печі, при цьому глибина становить 50 см. Нарешті, корпус, який представляє собою подачу навколишнього повітря за межі печі, був проведений з відстанню 20 м від верхньої поверхні печі, 1 м від нижньої і задньої поверхонь і 5 м від бічних поверхонь. У наступній таблиці 1 наведені розміри компонентів моделі.

Таблиця 2.1 - Розміри комплектуючих моделі.

Компонент	Висота (м)	Ширина (м)	Глибина (м)
Піч	6.9	4.7	18.55
Двері	6.9	4.7	0.5
Корпус	25.7	16.9	30.06

Зображення печі, що міститься в корпусі, дозволяє охарактеризувати рух рідин між піччю і навколишнім середовищем.

Щоб гарантувати безперервність між двома доменами: піччю та навколишнім середовищем, була використана конформна сітка (рисунок 2.7 а). Оскільки двері не мають значного впливу на теплові потоки, вони не були схильні до процесу зачеплення, як це було продемонстровано на рисунку 2.7 б. Крім того, будучи симуляцією перехідних процесів з динамічною сіткою, вся область була сітчаста з тетраедричною сіткою, яка підтримує операцію пересітки на кожному часовому кроці.

2.5Моделі для конвекції та випромінювання

Для моделювання турбулентних потоків, що виникають при відкритті дверей, був використаний підхід Рейнольдса-Усередненого Нав'є-Стокса (RANS). Останні дослідження показують, що вона являє собою найбільш загальноприйняту модель для моделювання турбулентності, особливо для промислових застосувань [18]. Ця модель виведена з формулювання стандартної моделі k-ε, запропонованої Лаундером і Сполдінгом, яка базується на двох рівняннях транспорту, що включає дві змінні турбулентної кінетичної енергії (k) і швидкість турбулентного розсіювання (ε) [23]. За допомогою стандартної моделі k-ε можна з високою точністю передбачити поведінку потоку в присутності турбулентностей. Однак реалізована модель k-ε, розроблена за стандартною моделлю k-ε, пропонує іншу формулу, що дає більш точні результати, ніж перша, для турбулентних потоків [24]. При використанні опції «посилена обробка стіни» використовуються спрощені формули величин турбулентності в осередках біля стінки.

Для моделювання радіаційного теплового потоку був проведений попередній аналіз концентрації димових газів всередині камери печі при

відкритті дверцят. Результати показали, що пальники працюють з надлишком повітря, уникаючи утворення сажі. З цієї причини було зроблено припущення про оптичну товщину, що дорівнює нулю, і використано модель Surface to Surface [25]. У цій моделі обмін енергією між поверхнями залежить від їх розміру і положення по відношенню до інших. Модель розглядає ці геометричні фактори за допомогою обчислення коефіцієнтів представлення [26]. Модель S2S також передбачає, що поверхні сірого кольору і розсіяні, а випромінювальна здатність і поглинаюча здатність не залежать від довжини хвилі. Добре відомо, що для сірих тіл повна енергія, що падає (E) на поверхню, частково відбивається (ρE), частково поглинається (αE) і частково передається (τE). Так як дана модель часто використовується з непрозорими поверхнями для теплового випромінювання в інфрачервоному спектрі, то частку переданої енергії можна не враховувати. З цими припущеннями, з

Закон [27] виходить, що $\alpha + \rho + \varepsilon = 1$, але $\alpha = \varepsilon$, отже, $\rho = 1 - \varepsilon$ [26].

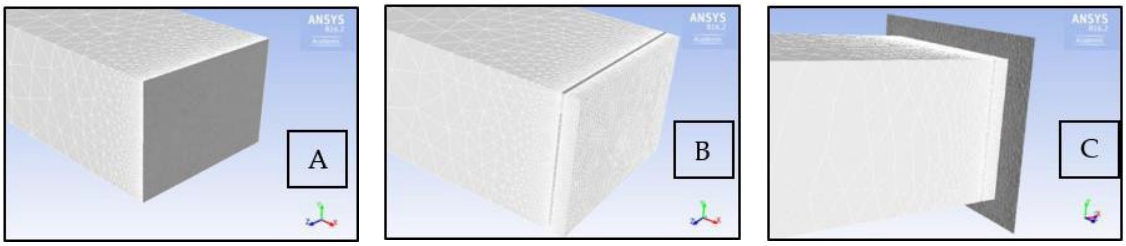
2.6Граничні умови моделі

Гранична умова на кордонах стін була задана за допомогою «посиленої обробки стін» Fluent, яка дозволяє передбачити потоки в пристінній області, де змішуються ламінарні та турбулентні потоки [28]. Граничні та клітинні умови, задані для початкового часу, були надані SdF.

Зокрема, температура печі знаходиться в робочому стані 1500 К, в той час як температура навколишнього середовища знаходиться на рівні 300 К. Тиск встановлюється на рівні 101 325 Па для навколишнього середовища і надлишковий тиск 40 Па по відношенню до навколишнього середовища для печі. Використання динамічної сітки дозволило нам зробити моделювання перехідних процесів з рухом дверей. Завдяки використанню формули зворотної різниці першого порядку вдалося розрахувати рівняння

консервативної енергії для кожного кроку часу, враховуючи два кроки одночасно [29].

Для того, щоб контролювати і оцінювати рух рідини, а також теплові потоки, що виникають при відкритті дверей, було створено три керуючі поверхні. Як показано на рисунку 3а, перша поверхня А, що має розміри, рівні 6,9 м × 4,7 м, розташована відповідно до виходу газів з печі. Ця поверхня дозволяє кількісно оцінити кількість сумарного конвективного потоку, який залишає піч протягом усього розглянутого перехідного часу. Оскільки інтуїтивно можна очікувати, що гарячі гази, що виходять з печі, прагнуть рухатися вгору, проходячи через простір між дверцятами і краєм печі, що утворився через прокручування дверцят, утворилася нова поверхня В. Ця поверхня з розмірами 6,9 м × 0,1 м показана на рисунку 3б. Для уловлювання потоків, що відхиляються в інші сторони, остання контрольна поверхня С була розташована за дверима з більшими розмірами, ніж інші, 6,3 м × 9,2 м (рисунок 2.7 в). Орієнтація геометрії на рисунках була обрана таким чином, щоб показати чіткий вигляд створюваних поверхонь.



(a) (b) (c)

(a) - контрольна поверхня А, розташована відповідно до виходу газів з печі; (b) - керуюча поверхня В, створена у верхній секції між дверцятами та краєм печі; (c) - контрольна поверхня С, створена за дверима.

Рисунок 2.7 - Створені керуючі поверхні для оцінки конвективного потоку в різних зонах:

2.7 Результати моделювання

Вважався період в 10 хв від відкриття дверей з тимчасовим кроком 0,1 с. Зокрема, перше моделювання, пов'язане з реальним робочим станом печі на заводі з повним відкриттям за 157 с, було проведено та підтверджено за допомогою експериментального випробування, проведеного в реальній печі в SdF.

Першим параметром, який контролювався за допомогою моделювання, була максимальна температура, досягнута на двох контрольних поверхнях B і C під час відкриття. Ця тенденція показана на рисунку 2.8, де можна побачити, що найвища температура реєструється на поверхні B, яка досягає значень близько 1200 K через кілька секунд після відкриття, а потім знижується, досягаючи значень 800 K. Натомість максимальна температура, зареєстрована на поверхні C, починається від значення навколишнього середовища до значень близько 700 K.

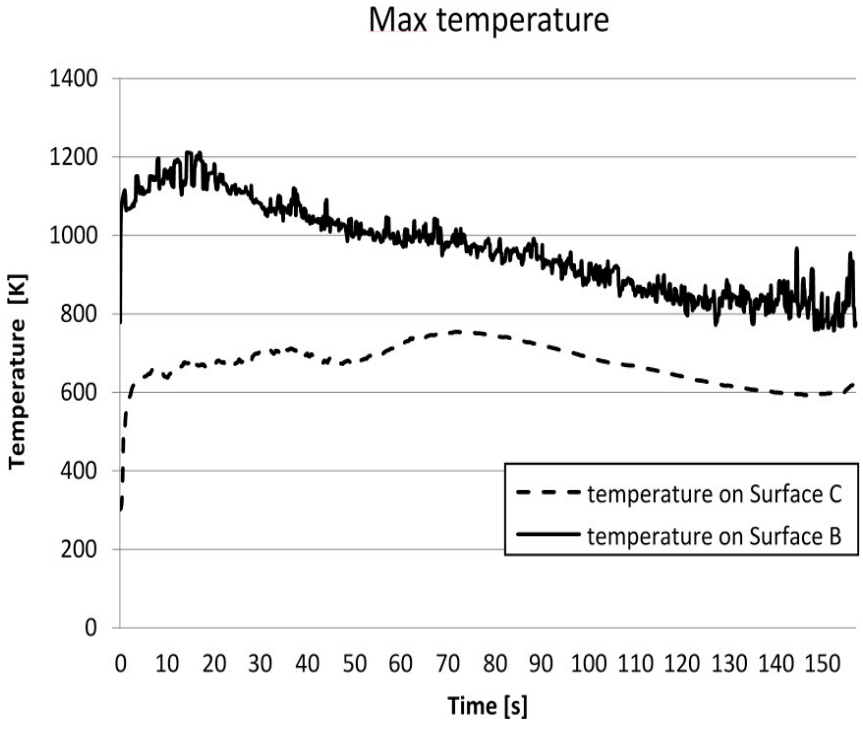
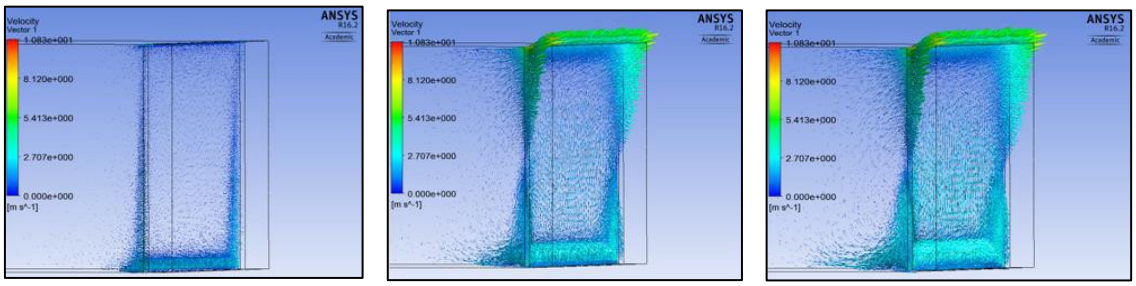


Рисунок 2.8 - Тенденція максимальної температури досягається в поверхні B і C протягом 157 с відкриття дверей.

Значення максимальної температури, зареєстрованої на двох поверхнях, залежать від руху рідини, що виходить з печі. Наприклад, на рисунку 2.9 показана послідовність векторів швидкостей від початкового часу, до 1 с. Ця послідовність рамок демонструє, як гарячі гази всередині камери рухаються вгору і виходять з печі через верхню секцію зі швидкістю, що досягає 12 м/с. Тим часом зовнішнє повітря при температурі навколишнього середовища рухається до печі через нижню частину.

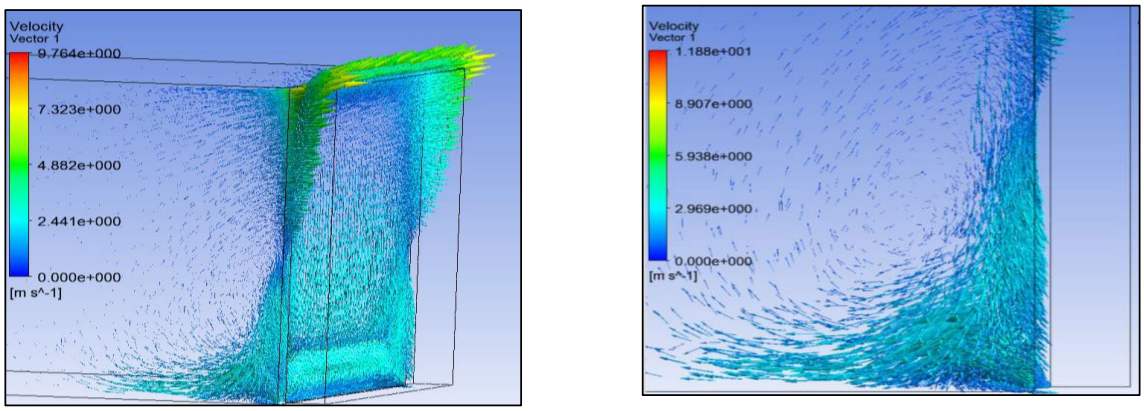


(a) (b) (c)

Рисунок 2.9 - Послідовність векторів швидкостей в різний момент часу на виході з печі: а) вектори швидкостей при 0 с; б) вектори швидкостей в 0,5 с; в) вектори швидкостей в 1 с.

У міру того, як дверцята продовжують відкриватися, вихори зникають, вектори швидкостей зменшуються, і гарячі гази, що виходять з печі, починають проходити під дверцятами (рисунок 2.9). Повний рух конвективних потоків за перехідний час 157 с, щодо домену печі, показано на доданому відео.

Продовжуючи аналіз гідродинаміки моделі, можна спостерігати з рисунка 6 , що гарячі гази, які не можуть бути випущені з верхньої частини, викликаються вниз, утворюючи конвективний рух при зустрічі з холодним повітрям, що надходить ззовні.



(a) (b)

Рисунок 2.10 - Вектори швидкостей газів при відкритті в 3 см: а) вектори швидкостей і формування конвективного руху; б) особливості конвективного руху в нижній частині печі

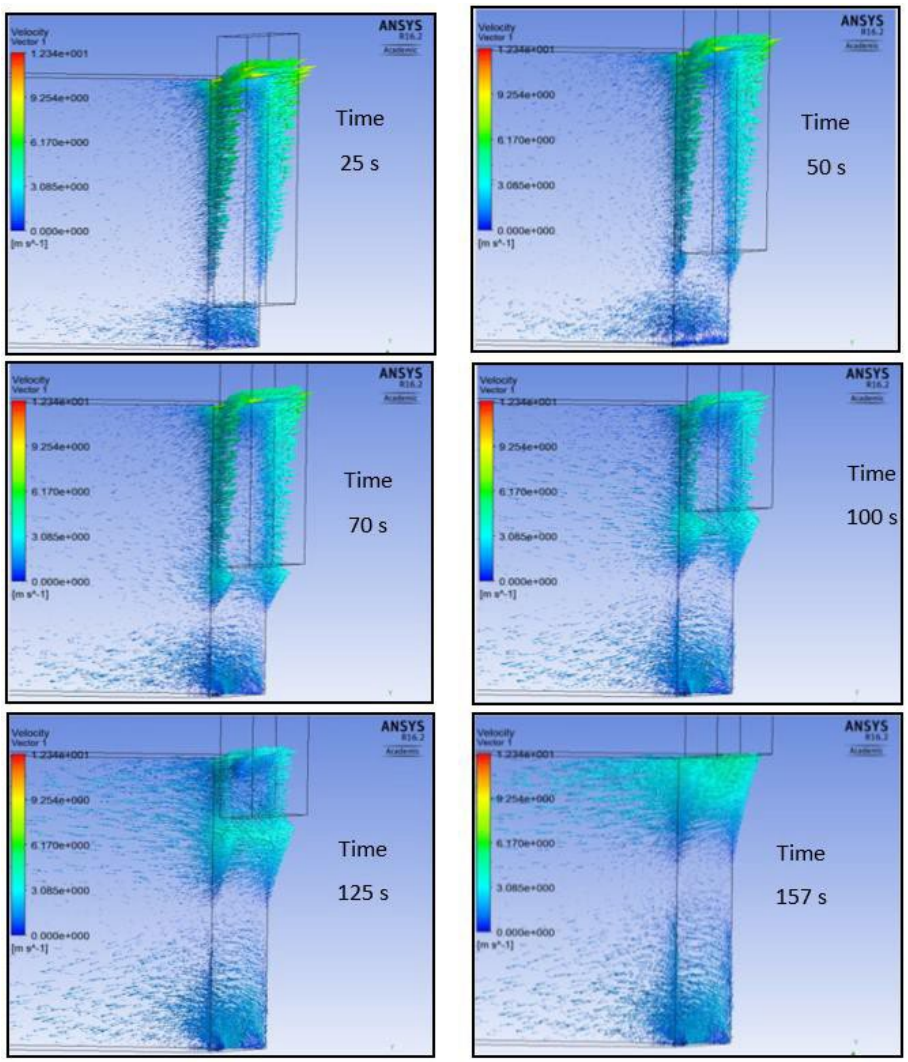


Рисунок 2.11 - Рух рідини протягом перехідного часу від відкриття дверей, до повного відкриття 4,7 м за 157 с.

Важливо підкреслити, що вектори, про які повідомляється на попередніх зображеннях, стосуються газів, які рухаються в домені печі. Наприклад, спостерігаючи картину, що стосується руху 50 с, може здатися, що вектори проходять через двері. В реальності цього не відбувається, оскільки при проходженні газів через повітряну область наявність дверей відхиляє рух векторів в інших напрямках, як це можна побачити з рисунка 2.12.

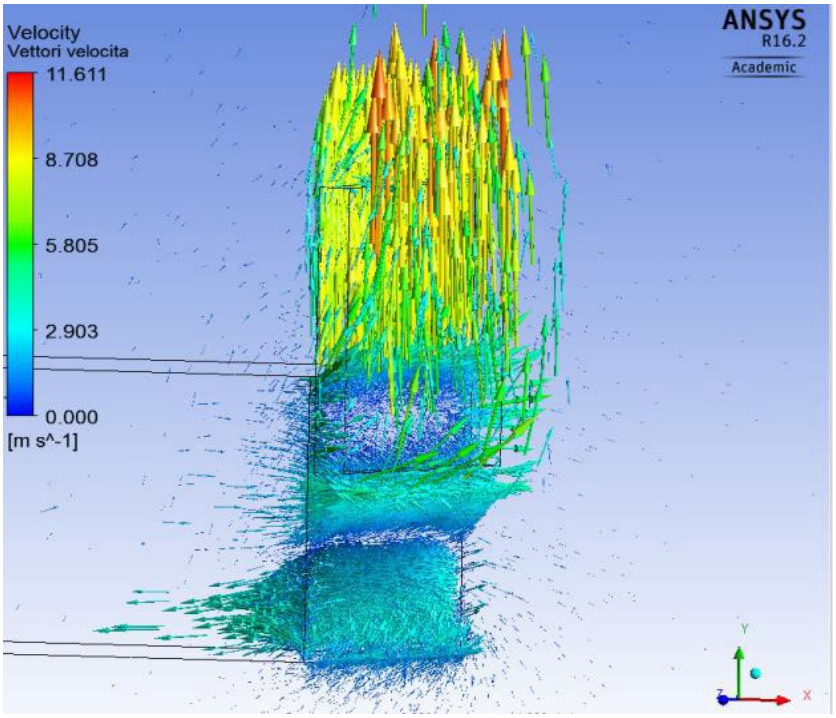


Рисунок 2.12 - Напрямки векторів швидкості в повітряній області, які рухаються вертикально вгору між дверима і піччю і безпосередньо за межі дверей

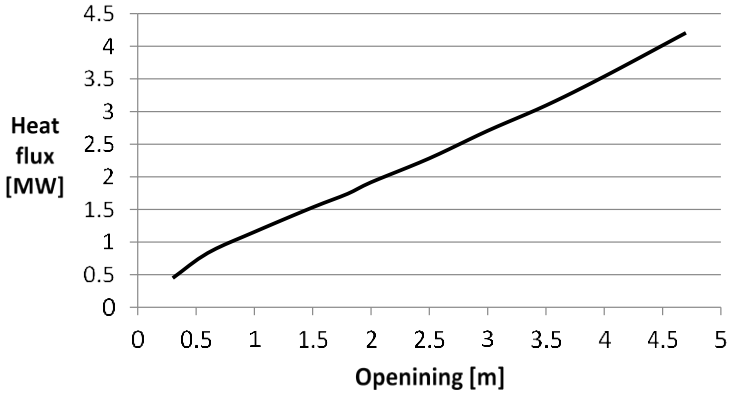


Рисунок 2.13 - Графік тенденції теплового потоку протягом 157 с.

Для того, щоб оцінити енергетичні потоки, було виявлено внесок трьох форм теплообміну: конвекції, випромінювання та провідності. За допомогою програмного забезпечення CFD було оцінено кількість теплового потоку під час відкриття для конвекції та випромінювання, а також використано електронну таблицю для провідності.

Значення радіаційної енергії, яка проходить через відкриття дверей, оцінені за перші 157 с і пов'язані з повним відкриттям дверей на 4,7 м, наведені на рисунку 9.

Отримані значення показують, що потік зростає лінійно з часом і так само з відкриттям. Навіть якщо під час відкривання стіни починають остигати, радіаційний тепловий потік на одиницю площі залишається приблизно однаковим, тому що різниця температур змінюється незначно. Ці значення були перевірені за допомогою аналітичного розрахунку протягом кількох часових кроків з використанням коефіцієнтів представлення, наданих Fluent.

2.8Конвективний тепловий потік

Оцінка конвективного теплового потоку проводиться шляхом розрахунку масової витрати ентальпії.

Знання значень, розрахованих для кожного такту часу в моделюванні, дозволяє отримати сумарний конвективний тепловий потік. Тенденція виникнення потоків при повному відкритті дверей на 4,7 м за 157 с показана на рисунку 10. Можна побачити, що тепловий потік на дверях дається від суми інших. Порівнюючи два типи теплового потоку за перші 157 с, можна побачити, що конвективний тепловий потік вище радіаційного, навіть якщо останній залежить від четвертого степеня температури. Така поведінка пов'язана з тим, що турбулентність, що виникає при відкритті, створює рух

повітря з великим числом Рейнольдса.

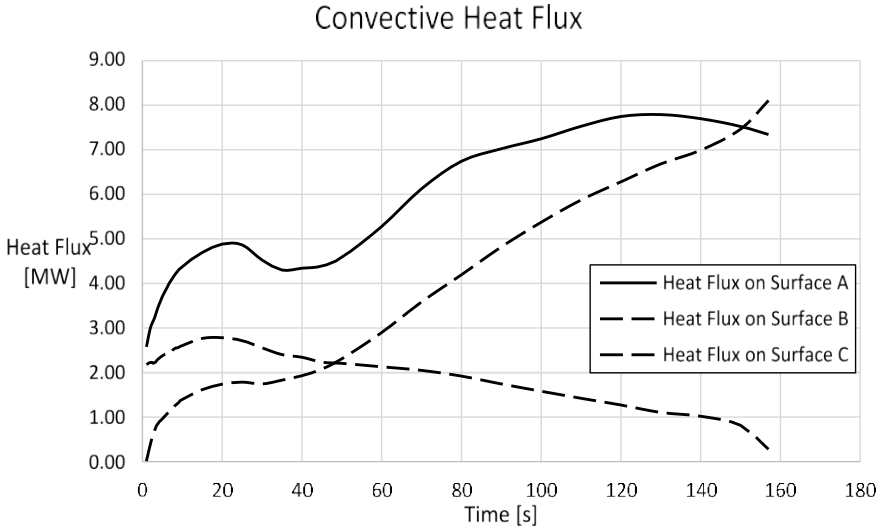


Рисунок 2.14 - Конвективний тепловий потік оцінюється в трьох керуючих поверхнях, створених для повного відкриття дверей на 4,7 м.

Розрахувати величину провідного теплового потоку через стінки печі можна було за даними, що стосуються розшарування стінок, як показано на рисунку 2.15, і за тенденцією температури, отриманої в результаті моделювання.

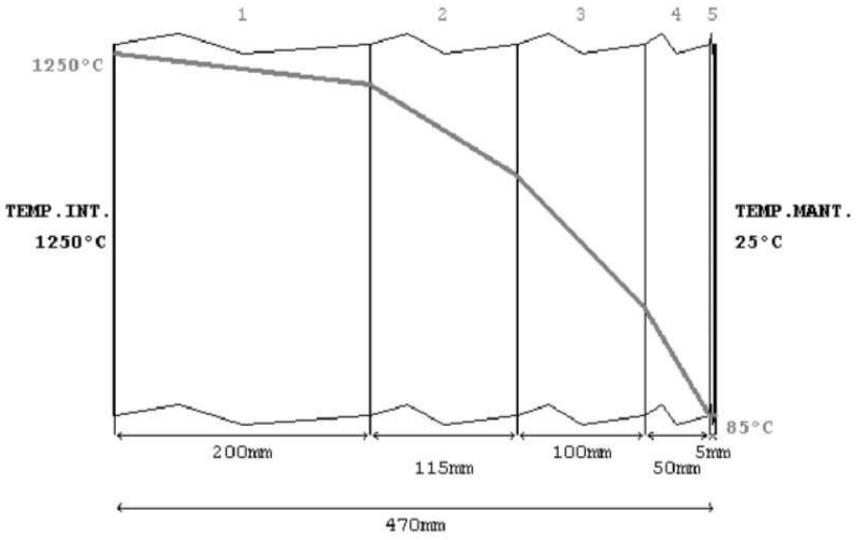


Рисунок 2.15 - Креслення, що показує стратиграфію стінок печі зі зниженням температури при знаходженні печі в робочих умовах

2.9 Загальні втрати енергії та валідація моделі

Знання тенденцій теплових потоків у функції часу дозволило розрахувати втрати енергії. Зокрема, в таблиці 2.2 наводиться енергія для трьох теплових потоків.

Таблиця 2.2 - Кількість енергії, що втрачається при відкритті, 600 с на випромінювання, конвекцію і провідність.

Тип теплового потоку	Енергія (МДж)
Радіації	313
Конвекції	5252
Проведення	41
Всього	5606

Щоб оцінити точність цих значень, був проведений непрямий аналіз за допомогою знання витрати метану піччю. Припускаючи, що менша теплотворна здатність природного газу дорівнює 34 МДж/м^3, витрата дорівнює 165 Нм3 метану. Однак розрахунковий витрата метану ведеться щодо моделі, створеної при ідеальних умовах експлуатації печі. Реальна поведінка, натомість, обумовлюється багатьма параметрами, такими як, наприклад, наявність теплових мостів і пошкоджених вогнетривів, які збільшують тепловий потік через стіни. Ще одним аспектом є наявність проміжку між вогнищем візка і бічними стінками печі, що необхідно для уникнення тертя при русі, але дозволяє частині тепла виходити з печі, збільшуючи втрати. Ці та інші явища впливають на реальне споживання природного газу, збільшуючи загальну кількість палива, необхідного для підтримки в топковій камері певної температури. Валідація моделі була проведена за допомогою експериментального тесту, проведеного в SdF. Випробування починалося з відкриття дверцят порожньої ковальської печі при

робочій температурі. Піч залишалася відкритою протягом 10 хвилин з вогнищем візка всередині, а потім знову закривалася.

Коли дверцята були повністю закриті, пальники почали дзвонити, щоб знову вийти на робочу температуру. Дві миттєві фотографії цього експериментального випробування представлені на рисунку 2.16, на яких можна побачити зміну інтенсивності кольору печі, що відповідає раптовому падінню температури.



(a) (b)

Рисунок 2.16 - Знімки, зроблені під час експериментального тесту, зроблені в SdF: (a) - зображення пов'язане з частковим відкриттям через 60 с; (б) - картина пов'язана з повним розкриттям на 157 с

Витрата метану контролювалася між часом закриття, після закінчення 10 хв, і часом, необхідним для повернення в робочих умовах. Беручи до уваги спрощення моделі, було проведено порівняння двох значень споживання метану і в результаті вийшло, що значення мають однаковий порядок величини. Ця валідація гарантує точність моделі та дозволяє нам використовувати її як інструмент прийняття рішень для майбутніх розробок, що дозволить нам розробляти більш ефективні процеси. Для того, щоб охарактеризувати слід цього явища, оцінюється викид CO_2, викликаний спалюванням 165 $Нм^3$ метану.

3 ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ В УМОВАХ ПРАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

3.1 Моделювання конвективного потоку

Як видно з таблиці 2.2, основний внесок у загальні втрати тепла відбувається за рахунок конвекції. З цієї причини створена модель була застосована для оцінки того, як збільшення швидкості обертання дверцят може вплинути на конвективні потоки печі і, як наслідок, на глобальні енергетичні показники. З цієї причини було проведено ще два моделювання повного розкриття через 40 с і 60 с. На рисунку 3.1 показана тенденція конвективного теплового потоку на поверхні A для трьох різних отворів.

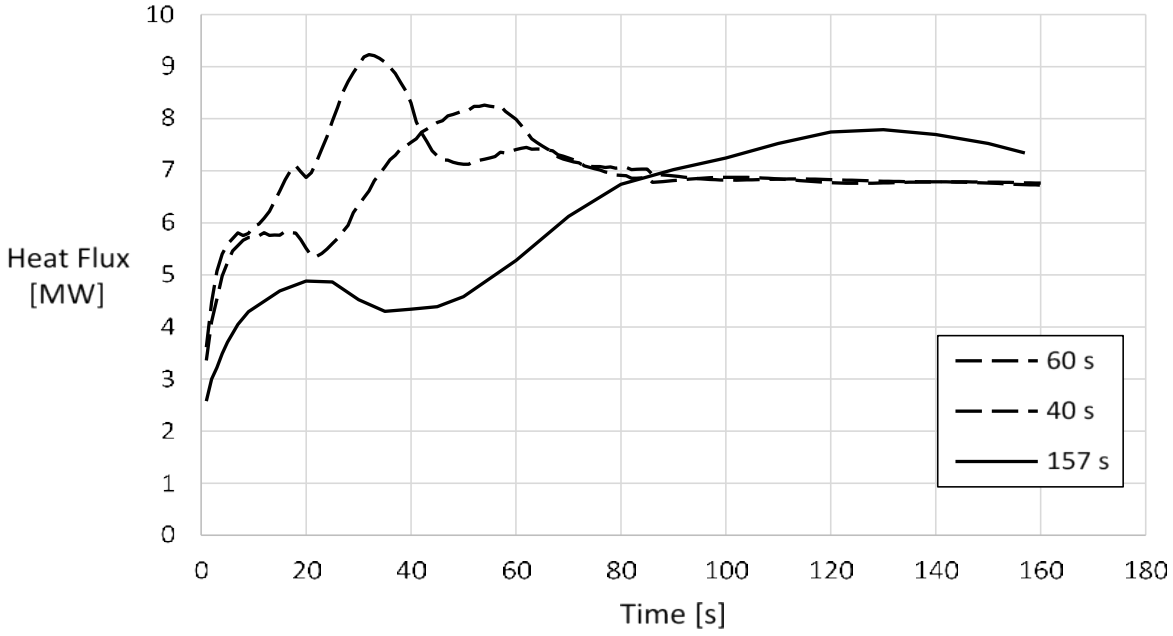


Рисунок 3.1 - Конвективний тепловий потік оцінюється на керуючій поверхні A для трьох різних відкривань по 40 с, 60 с і 157 с

Як можна помітити, скорочення часу відкриття тягне за собою збільшення максимального значення розрахункового конвективного теплового

потоку, яке перевищує 9 МВт для відкриття за 40 с. З оцінки кількості енергії, втраченої під час підйому дверей і протягом наступних 10 хвилин для трьох різних тематичних досліджень, результати показують, що відкриття протягом 40 с мінімізує втрати тепла, із загальною сумою 4324 МДж за загальний час 640 с. У наступній таблиці 3.1 наведені значення конвективного теплового потоку для різних отворів.

Таблиця 3.1 - Енергетичні потоки оцінюються на контрольній поверхні А в трьох різних прикладах для часу відкриття дверей і загального часу.

Час (и)	Енергетичний потік (МДж)	Час (и)	Енергетичний потік (МДж)
40	499	640	4586
60	607	660	4664
157	1304	757	5252

Завдяки цьому дослідженню компанія зробила свій виробничий процес більш ефективним, заощадивши паливо та обмеживши викиди забруднюючих речовин, просто скоротивши час відкриття дверей, з 157 до 40 с. Кількість близько 60 кг CO2 економиться просто за рахунок скорочення часу відкривання дверей. Подальше скорочення цього часу не допускається через механічні обмеження системи підйому дверей. Дані, отримані в результаті цього дослідження, також використовуються для інших досліджень, що стосуються дизайну системи пневматичних ножів для установки впритул до дверей.

3.2 Економічні показники використання запропонованої моделі

За цикл роботи пічна установка споживає 83 м^3/год ($Q_г$) близько 16 м^3/год на один пальник. Якщо нагрів у камерній нагрівальній печі проходить 16 годин,

з яких дві години працють 2 пальники, шість годин – 4, і ще щість годин працюють 3 пальники. То витрати на газ за один цикл однієї печі:

$$Q_г = 2 \cdot 4 \cdot 16 + 4 \cdot 6 \cdot 16 + 3 \cdot 6 \cdot 16 = 800 м^3/цикл;$$

$$Q_г = 800 \cdot 5 = 4000 м^3/цикл \text{ - коли працюють всі 5 печей;}$$

Прийнято, що середня кількість робочих днів дорівнює кількості циклів у рік і дорівнює 200 днів, а вартість $1м^3$ природного газу 9грн. *З* – витрати.

$$З = 4000 \cdot 200 \cdot 9 = 7{,}2 \text{ млн. грн/рік;}$$

В результаті розрахунків з використанням запропонованого інструментарію для об'єкту дослідження та спираючись на результати попередньо проведеного експерименту співробітниками кафедри, де за рахунок застосування просторового електричного поля вдалося зекономити близько 11% природного газу. *Е* – економія.

$$Е = 7{,}2 \cdot 11\% = 0{,}8 \text{ млн грн/рік} = 800 \text{тис. грн /рік;}$$

Капітальні витрати — це витрати, спрямовані на відтворення основних засобів виробничого і не виробничого призначення, на створення нових, реконструкцію і розвиток наявних основних засобів, включаючи об'єкти соціальної сфери.

Для того щоб знайти суму капіталовкладень розрахувано витрати на придбання регуляторів газу та напруги та витрати на споживання електричної енергії:

$$К = З_{е.е.} + З_{рег.Q} + З_{рег.U}; \qquad (3.1)$$

де $З_{е.е.}$ – витрати на електричну енергію за рік, грн;

$З_{рег.Q}$, $З_{рег.U}$ – витрати на регулятори газу та напруги, грн;

$$З_{рег.Q} = 5 \cdot 24000 = 120 \text{ тис.грн};$$
$$З_{рег.U} = 5 \cdot 1500 = 7{,}5 \text{ тис. грн};$$

При потужності P = 1 кВт, і напрузі що не може перевищувати 1000В, при роботі печі 16 годин, та кількості робочих днів ,максимальне значення витрат на електроенергію:

$$З_{е.е.} = 1600 \cdot 1{,}8 = 2880 \text{ грн за рік};$$
$$К = 120 + 7{,}5 + 2{,}88 = 130{,}4 \text{ тис. грн на рік};$$

$$Т_{ок} = \frac{К}{П}; \qquad (3.2)$$

де $Т_{ок}$ – термін окупності;

$К$ – сумарні капіталовкладення;

$П$ – прибуток.

Термін окупності - кількість часу, необхідна для покриття витрат на той чи інший проект або для повернення коштів, вкладених підприємством за рахунок коштів, одержаних в результаті основної діяльності по даному проекту.

Прибуток, як економічний показник, є різницею між чистим доходом і собівартістю продукції. Прибуток є кінцевим результатом діяльності підприємства.

$$Т_{ок} = \frac{130{,}4}{800} = 0{,}16 \text{ року} = 2 \text{ місяці};$$

Встановлено, що потенційно можлива економія в такому випадку складе не менше 800 тис грн на рік.

Економічні розрахунки показали, що сумарні капіталовкладення в реалізацію проекту близько 130 тис. грн. при строку окупності, розрахованому за цінами на обладнання 2024 ріку складає близько 2 місяців, що не перевищує нормативний.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

До потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів приміщення прокатного цеху ПрАТ “Дніпроспецсталь”належать:

- недостатня освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом;
- рухомі частини механізмів і приводів;
- вібрація від технологічного обладнання та вентустановок;
- шум, створюваний обладнанням [21,22].

Основними шкідливими чинниками в приміщенні цеху є небезпека ураження електричним струмом та шум, що досягає 85 дБА, джерелом якого є:

- бустер-компресор;
- турбодетандер;
- насосне та вентиляційне обладнання [23].

Цех є приміщенням категорії середньої важкості (виконуються роботи середньої важкості), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22–24 ºС (допустима – 19–21 ºС);
- оптимальна відносна вологість – 40–60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с [24, 25].

У зв'язку з тим, що природне освітлення цеху здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця працівника цеху представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці технолога киснево-компресорного цеху

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови			Час дії фактора, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	91				
2	Шум, дБА	80	88	8			75
3	Інфразвук, дБ						
4	Ультразвук, дБ						
5	Неіонізуючі випромінювання: - радіочастотний діапазон, В/м - діапазон частоти, кВ/м						
6	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, ^{0}С - швидкість руху повітря, м/с відносна вологість повітря, %	15–23 не більше 0,3 не більше 75	18 0,2 75				100 100 100
7	Важкість і напруженість праці	категорія важкості – середньої важкості IIа					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в цеху характеризуються наявністю шкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності, проте характеризуються проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Для створення і автоматичної підтримки в цеху оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря.

До заходів щодо захисту працівників від шуму належать:

- використання сучасного обладнання;
- розміщення пультів контролю та управління у звукоізольованому приміщенні;
- установка на бустер-компресорі та насосах шумопоглинального кожуха;
- застосування індивідуальних засобів захисту від шуму;
- раціональне планування приміщення [26, 27].

Найбільш ефективним засобом зниження шуму є заміна шумних технологічних операцій на малошумні або повністю безшумні, проте цей метод боротьби не завжди можливий, тому велике значення має зниження його в джерелі. Зниження шуму у киснево-компресорному цеху досягається шляхом вдосконалення конструкції або схеми тієї частини устаткування, яка чинить шум, використання в конструкції матеріалів із зниженими акустичними властивостями, устаткування на джерелі шуму додаткового звукоізолюючого пристрою або обгороджування, розташованого по можливості ближче до

джерела. Для боротьби з шумом на шляхах передачі передбачений шумопоглинальний кожух, який може закривати окремий шумний вузол машини.

Пропонується знизити шум від устаткування застосовуючи акустичні екрани, що відгороджують шумний механізм від робочого місця або зони обслуговування машини. Передбачається застосування шумопоглинальних облицювань для обробки стелі і стін шумних приміщень, що призводить до зміни спектру шуму убік нижчих частот, що навіть при відносно невеликому зниженні рівня істотно покращує умови праці.

З метою захисту від шуму обслуговуючого персоналу на виробничих дільницях з шумними технологічними процесами або з шумним обладнанням необхідно влаштовувати кабіни спостереження та дистанційного контролю. Використовуючи звукоізольовані кабіни, можна забезпечити практично будь-яке необхідне зниження шуму [28].

Кабіни виготовляються з цегли, бетону та інших будівельних матеріалів. Кабіни можуть бути збірними з металевих панелей. У приміщеннях з джерелами теплових випромінювань кабіни повинні також забезпечувати захист від цього шкідливого чинника.

Збірні звукоізольовані кабіни встановлюються на гумових віброізоляторах. З метою зниження шуму, який створюється припливно-витяжною системою вентиляції, необхідно встановлювати глушителі шуму з боку входу та виходу повітря.

Вікна мають бути мінімальних розмірів з використанням товстого скла або з органічного скла. За периметром вікна необхідно герметизувати гумовими прокладками. При використанні подвійного скління між листами скла встановлюється звукоізольована прокладка по периметру вікна.

У дверях кабіни необхідно забезпечити щільність та герметичність по всьому периметру дверей. При умові високої необхідної ізоляції двері повинні бути подвійними. У місцях прокладки технологічних комунікацій слід також передбачати заходи звукоізоляції. Внутрішні поверхні кабіни личкуються

звукопоглинальним матеріалом з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в діапазоні 250–2000 Гц.

Розрахунок необхідної ізоляції кабіни технолога киснево-компресорного цеху проведено за наступним алгоритмом.

Необхідне зниження шуму кабіною визначається, як:

$$R_{каб.н.} = L_ш - L_{доп}, \quad (4.1)$$

де $L_ш$ – октавний рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на запропонованому місці установки кабіни, виміряний в діючому приміщенні, дБ;

$L_{доп}$ – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях в кабінах, дБ.

Відповідно до формули 4.1 необхідне зниження шуму кабіною у киснево-компресорному цеху складає:

$$R_{каб.н.} = 88 - 80 = 8 \text{ дБ}$$

Необхідна звукоізольована здатність елементів огороджувальних конструкцій (вікон, стін та дверей звукоізольованих кабін) визначається за формулою, дБ:

$$R_{н.і} = L_{сер} - 10lgB + 10lgS_i - L_{доп} + 10lg(n), \quad (4.2)$$

де B_i – постійна кабіни у даній октавній смузі частот, м^2;

S_i – площа i-го елементу кабіни, через який шум проникає в кабіну, м^2;

n – кількість однакових елементів.

Постійну приміщення B_i визначають за формулою:

$$B = B_{1000} \cdot \mu, \quad (4.3)$$

де B_{1000} – постійна приміщення на середньогеометричній частоті 1000 Гц, визначається за таблицею 4.2 залежно від об'єму V, м^3 і типу приміщення, м^2;

μ – частотний множник, визначається за таблицею 4.3.

Розрахунок проведено для частоти 125 Гц.

Об’єм кабіни складає, м^3:

$$V_к = a \cdot b \cdot h = 3{,}3 \cdot 4{,}2 \cdot 2{,}3 = 31{,}88.$$

Постійна приміщення B_{1000} на середньогеометричній частоті 1000 Гц визначається, враховуючи тип приміщення за таблицею 4.2, м^2:

$B_{1000} = V/20 = 31{,}88/20 = 1{,}59$

Таблиця 4.2 – Постійна приміщення залежно від об'єму V, м^3 і типу приміщення

Тип приміщення	Описання приміщення	Постійна приміщення B_{1000}, м^2
1	З невеликою кількістю людей (металообробні цехи, вентиляційні камери, генераторні, машинні зали, випробувальні стенди і т.п.)	V/20
2	З жорсткими меблями і великою кількістю людей або з невеликою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі і деревообробні цехи, кабінети і т.п.)	V/10
3	З великою кількістю людей і м'якими меблями (робочі приміщення будівель управлінь, аудиторії учбових закладів, класні приміщення в школах, житлові приміщення і т. п)	V/6
4	Приміщення із звукопоглинальним облицюванням стелі і частини стін	V/1,5

Таблиця 4.3 – Частотний множник

Об'єм приміщення V, м^3	Частотний множник μ на середньогеометричних частотах октавних полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5

Постійна приміщення B визначається за формулою (4.3), м^2:

$$B = 1{,}59 \cdot 0{,}75 = 1{,}19,$$

Площа вікна складає, м^2:

$$S_{вікна} = 3 \cdot 1 = 3.$$

Площа дверей становить, м^2:

$$S_{дверей} = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6,$$

Площа п’яти стін, тому що так розташована кабіна, м^2:

$$S_{стін} = 2 \cdot 4{,}2 \cdot 2{,}3 + 2 \cdot 3{,}3 \cdot 2{,}3 + 4{,}2 \cdot 3{,}3 = 48{,}36.$$

Необхідна звукоізольована здатність елементів огороджувальних конструкцій становить, дБ:

$$R_{н.вікна} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 3 - 80 + 10\lg 1 = 14{,}02,$$

$$R_{н.двері} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 1{,}6 - 80 + 10\lg 1 = 11{,}29,$$

$$R_{н.стін} = 90 - 10\lg 1{,}19 + 10\lg 48{,}36 - 80 + 10\lg 5 = 33{,}08.$$

Перевірочний розрахунок очікуваного зниження шуму кабіною $R_{каб}$ визначається за формулою:

$$R_{каб} = R_{сер} + 10lg\ B - 10lg \sum_{i=1}^{n} S_i, \quad (4.4)$$

де $R_{сер}$ – середня звукоізоляція всіх огороджень кабіни, дБ;

S_i – площа кожного елемента огородження, м^2;

n – загальна кількість елементів огородження.

Середня ізоляція повітряного шуму даною неоднорідною (збірною) огороджувальною конструкцією $R_{сер}$ визначається за формулою, дБ:

$$R_{сер} = 10lg\ (S_{заг} / \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0{,}1 \cdot R_i}), \quad (4.5)$$

де $S_{заг}$ – загальна площа неоднорідного огородження, м^2;

S_i та R_i – площа, м^2, та звукоізоляція окремого елементу, дБ.

Середня звукоізоляція $R_{сер}$ за формулою 4.4 становить, дБ:

$$R_{сер} = 10\lg (52{,}96 / (3 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 23} + 1{,}6 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 12} + 48{,}36 \cdot 10^{-0{,}1 \cdot 38})) = 26{,}35.$$

Очікуване зниження шуму кабіною $R_{каб}$ становить:

$$R_{каб} = 25{,}32 + 10\lg 1{,}19 - 10\lg 52{,}96 = 8{,}83.$$

Перевіряємо умову $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: 8,83 ≥ 8 дБ – умова виконується.

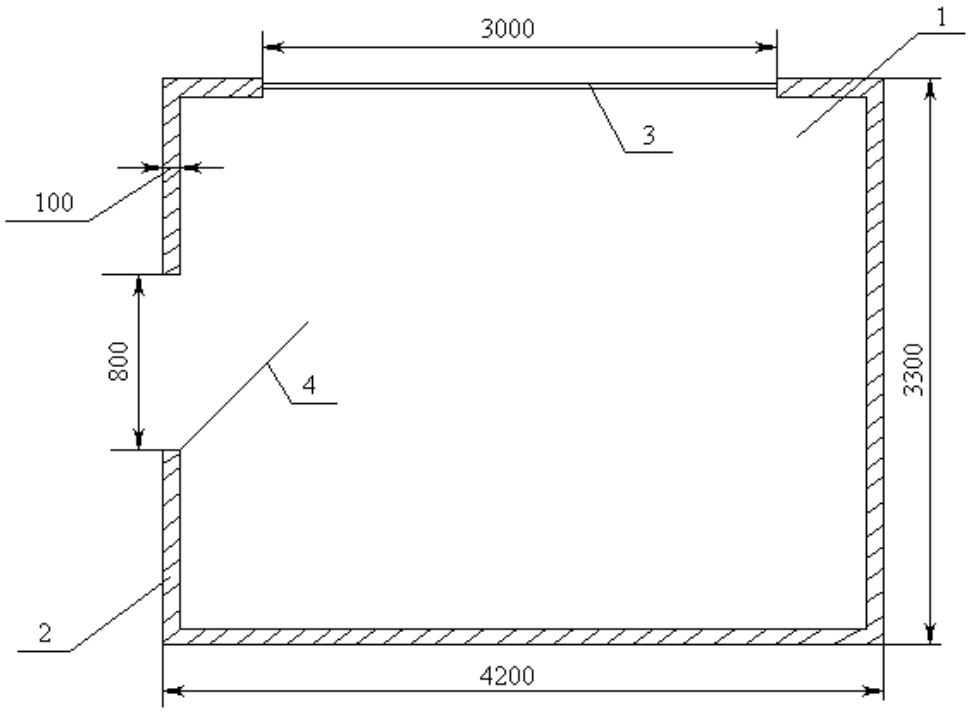
Таким чином, вибрано звукоізолюючу кабіну технолога:

– стіни кабіни виготовляються залізобетонною панеллю товщиною 100 мм, поверхневою густиною 250 кг/м^2;

– двері із стандартного полотна завтовшки 40 мм без ущільнювальних прокладок;

– одинарне вікно з органічним склом товщиною 20 мм.

Звукоізольовану кабіну технолога зображено на рисунку 4.1.



1 – робоча зона; 2 – стіна; 3 – вікно; 4 – двері.

Рисунок 4.1 – Звукоізольована кабіна технолога

Таким чином, кабіна технолога забезпечує необхідну звукоізоляцію, адже за розрахунком: $R_{каб} \geq R_{каб.н.}$: 8,83 ≥ 8 дБ – умова виконується.

4.3 Виробнича санітарія

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) виробничого приміщення, який визначається температурою, відносною вологістю та рухом повітря.

Під оптимальними мікрокліматичними умовами розуміють поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності.

Показники мікроклімату в приміщенні представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Нормовані величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в киснево-компресорному цеху

Період року	Категорія робіт	Температура			Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	допустима		Оптимальна	допустима	Оптимальна, не більше	Допустима на робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа		На робочих місцях, не більше		
			Постійна	Постійна				
Холодний	Середньої важкості-IIа	19-21	23	17	40-60	75	0,2	Не більше 0,3
Теплий	Середньої важкості-IIа	21-23	27	18	40-60	65 (при 26ºС)	0,3	0,2-0,4

Створення необхідних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні забезпечується природною та механічною загальною вентиляцією повітря, яка представляє собою зміну повітря в приміщенні, призначену

підтримувати в ньому відповідні метеорологічні умови і чистоту повітряного середовища.

Вентиляція приміщень досягається видаленням з них нагрітого або забрудненого повітря і подачею чистого зовнішнього повітря.

Оптимальна температура повітря в цеху в холодну пору року забезпечується водяною системою опалення.

Одним із чинників, які визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і виконане, очі працівника протягом тривалого часу зберігатимуть здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці, не втомлюючись. Це сприяє зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

Недостатнє освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. У цьому випадку очі працівника сильно напружені, важко розрізняють оброблювані предмети, у людини знижується темп і якість роботи, погіршується загальний стан.

У киснево-компресорному цеху використовується природне бокове та штучне освітлення в якості люмінесцентних ламп типу ДРЛ.

Розряд зорових робіт у приміщенні цеху – VIII а. Загальне освітлення становить 75 Лк.

4.4 Захисні заходи з електробезпеки

Приміщення цеху згідно ПУЕ можна віднести до I класу — з підвищеною небезпекою ураження струмом (відносна вологість повітря понад 75%; струмопровідний пил; температура понад 350С або короткочасно 400С незалежно від пори року; можливість одночасного дотикання людини до металевих корпусів електрообладнання і заземлених металевих конструкцій

будівлі; наявність струмопровідних підлог земляних, залізобетонних, цегляних та ін.) [29].

Для захисту від електричного струму передбачається надійне захисне заземлення електростаткування. Заземлюючі пристрої забезпечують безпеку людей і захист електроустановок, експлуатаційні режими роботи. Для тієї частини електроустаткування, яка може виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, забезпечено надійний контакт із заземлюючим пристроєм. Запропоновано проводити інструментальну перевірку стану захисного заземлення не рідше одного разу на рік, а також після монтажу або ремонту.

Для забезпечення електробезпеки запропоновано дотримуватися наступних вимог:

– конструкція виробничого устаткування, що приводиться в дію електроенергією, повинна включати пристрій для забезпечення електробезпеки;

– в устаткуванні має бути забезпечено захист від випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою;

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи.

4.5 Пожежна безпека

Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в цеху є горючі і важкоспалимі речі, які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса — з

металевих незахищених конструкцій. Огороджувальні конструкції — з негорючих листових матеріалів з негорючим утеплювачем або утеплювачем груп низької та помірної горючості (ступінь вогнестійкості будівлі — IIIа) [30].

Можливими причинами пожежі є підвищена температура довкілля, обладнання та наявність горючо-змазочних матеріалів.

Запобігання пожежі повинно досягатися запобіганням утворенню горючого середовища, запобіганню утворення в горючому середовищі джерел запалення.

Протипожежна безпека в енергосиловому цеху забезпечується:

– застосуванням засобів пожежогасіння і відповідної пожежної техніки;

– застосуванням автоматичних установок пожежної сигналізації;

– застосуванням основних будівельних конструкцій об'єктів з

– регламентованими межами вогнестійкості і межами поширення вогню;

– нанесенням на поверхні конструкцій вогнезахисних фарб;

– пристроями, що забезпечують обмеження поширення пожежі;

– організацією своєчасної евакуації людей;

– застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту людей від небезпечних чинників пожежі;

– застосуванням систем протипожежного захисту.

Запобігання виникненню джерела вибуху досягаються шляхом: регламентації вогневих робіт; запобіганням нагріву устаткування до температури самозаймання вибухонебезпечного середовища; застосуванням швидкодіючих засобів захисного відключення можливих електричних джерел ініціації вибуху; застосуванням вибухозахищеного устаткування.

Для зовнішнього пожежогасіння передбачається установка гідрантів із загальною витратою води 20 л/с.

Для гасіння одягу, насиченого киснем, передбачено протипожежні душові кабіни з автоматичною подачею води при вході в кабіну.

У приміщеннях передбачаються первинні засоби пожежогасіння: пінні вогнегасники типу ОХП-10, ОП-М і ОП-9ММ (густопінні хімічні), ОХВП-10 (повітряно-пінний хімічний), вуглекислотні типу ВВ, азбестові ковдри, ящики з піском, протипожежні щити.

В якості датчиків використані димові і теплові датчики. На виході з приміщень встановлюються сповіщувачі ручні. Сигнал про пожежу виводиться на прилад “Дунай”, встановлюваний в приміщенні, в якому знаходиться цілодобовий черговий персонал. Передбачено автодозвон для передачі сигналу про пожежу на пульт централізованого спостереження державної пожежної охорони.

Передбачено систему оповіщення про пожежу першого і другого типу з використанням гучномовного зв'язку, установкою світлових покажчиків та звукових сигналів.

Передбачено блискавкозахист та заземлення споруд. В якості блискавко приймального пристрою використовуються металоконструкції цеху.

Захист від електростатичної індукції забезпечується шляхом приєднання всіх металевих корпусів обладнання та комунікацій до внутрішньої магістралі заземлення.

4.6 Засоби індивідуального захисту

На робочих місцях, де не вдається знизити шум і вібрацію допустимих рівнів технічними засобами, або де це недоцільно з техніко-економічних міркувань, застосовують засоби індивідуального захисту (далі – ЗІЗ).

ЗІЗ не тільки сприяють профілактиці захворювань, прямо або побічно пов'язаних з впливом шуму (приглухуватість, шумова хвороба, порушення

нервової, серцево-судинної систем тощо), але і підвищують працездатність людини.

У залежності від конструктивного виконання ЗІЗ поділяються на протишумові навушники, що закривають вушну раковину зовні; протишумові вкладиші, що перекривають зовнішній слуховий прохід або прилеглі до нього; протишумові шоломи і каски; протишумові костюми.

Протишумові вкладиші роблять з твердих, еластичних і волокнистих матеріалів. Вони бувають одноразового та багаторазового користування.

Щодо ефективності захисту від шуму, маси і сили притиснення до привушної зоні навушники й вкладиші діляться на три групи: А, Б та В. ЗІЗ вибирають виходячи з частотного спектру шуму на робочому місці і враховують зручність їх носіння при виконанні даної робочої операції і кліматичні умови.

Протишумові шоломи закривають всю голову, вони застосовуються при дуже високих рівнях шуму в поєднанні з навушниками, а також протишумні костюмами. Навушники виконані із звукопоглинальних матеріалів, щільно облягають вушну раковину і стримуються дугоподібною пружиною.

При роботі з ручним механізованим електричним і пневматичним інструментом застосовують ЗІЗ рук від дії вібрацій. Це рукавиці, а також віброзахисні прокладки або пластини, оснащені кріпленнями до рук. Враховуючи несприятливу дію холоду на розвиток віброхвороб, в зимовий час працівників треба забезпечувати теплими рукавицями.

При роботі з ручними механізмами та за умов дотримання гігієнічних норм, сумарний час роботи в контакті з вібрацією не повинен перевищувати 2/3 робочого часу. Крім того, одноразове безперервне дію вібрації, включаючи мікропаузи, не повинно перевищувати для ручних машин 15-20 хвилин. Обідня перерва рекомендується не менше ніж 40 хвилин, необхідні також дві регламентованих перерви (для активного відпочинку, виробничої гімнастики за спеціальним комплексом, фізіопрофілактичних процедур): 20 хвилин через 1-2 години після початку зміни і 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви.

Таким чином, приміщення киснево-компресорного цеху ПАТ “Дніпроспецсталь” відповідає майже всім вимогам з охорони праці та техногенної безпеки. Для зниження шуму, пов’язаного з роботою компресорного обладнання, розраховано шумоізоляцію кабіни технолога.

ВИСНОВКИ

В роботі досліджено енергоспоживання ПрАТ «Дніпроспецсталь» та прокатного цеху зокрема, проаналізовані всі можливі шляхи підвищення енергетичної ефективності камерної нагрівальної печі з викатним подом.

У цьому дослідженні було проаналізовано поведінку реальної промислової печі, що використовується в ковальській промисловості. Моделювання CFD типової операції вставки/екстракції, виконаної в ковальській печі, показало, що кількість енергії, втраченої за загальний час 10 хв, дорівнює 5606 МДж, де основним сприяючим фактором є конвективний тепловий потік, зі значенням 5252 МДж. Для того, щоб охарактеризувати теплові потоки протягом усього перехідного часу, спостерігали також за іншими змінними. Зокрема, результати показали, що при відкритті через різницю в температурі і тиску всередині і зовні утворювалися турбулентності, що становлять основну причину втрати тепла. Валідація моделі, проведена за допомогою експериментального тесту, проведеного в SdF, дозволила використовувати модель як інструмент прийняття рішень.

З цієї причини також було проведено два інших моделювання. Результати показали, що скорочення часу відкриття дверей з 157 с до 40 с зменшує втрати енергії, обмежуючи витрату палива і викиди забруднюючих речовин. Важливість даного дослідження обумовлена ще й тим, що створена модель може бути застосована до дуже великої різноманітності печей, так як залежить тільки від геометрії і від умов експлуатації. Модель може використовуватися для печей будь-яких розмірів і працювати від будь-якого виду енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Nastasi, B.; Lo Basso, G. Hydrogen to link heat and electricity in the transition towards future Smart Energy Systems. Energy 2016, 110, 5–22. [CrossRef]

2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2014); Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2014.

3. Castellani, B.; Rossi, F.; Filipponi, M.; Nicolini, A. Hydrate-based removal of carbon dioxide and hydrogen sulphide from biogas mixtures: Experimental investigation and energy evaluations. Biomass Bioenergy 2014, 70, 330–338. [CrossRef]

4. Cotana, F.; Rossi, F.; Nicolini, A.; Rinaldi, S.; Merico, M.C. Electric vehicles for postal service equipped with a kinetic energy recovery system. Int. J. Green Energy 2015, 12, 485–492. [CrossRef]

5. Rossi, F.; Castellani, B.; Presciutti, A.; Morini, E.; Anderini, E.; Filipponi, M.; Nicolini, A. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. Energy Build. 2016, 126, 340–352. [CrossRef] Energies 2016, 9, 833 13 of 13

6. Brinchi, L.; Castellani, B.; Rossi, F.; Cotana, F.; Morini, E.; Nicolini, A.; Filipponi, M. Experimental investigations on scaled-up methane hydrate production with surfactant promotion: Energy considerations. J. Pet. Sci. Eng. 2014, 120, 187–193.

7. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2015; OECD Publishing: Paris, France, 2015.

8. Castellani, B.; Morini, E.; Filipponi, M.; Nicolini, A.; Palombo, M.; Cotana, F.; Rossi, F. Comparative analysis of monitoring devices for particulate content in exhaust gases. Sustainability 2014, 6, 4287–4307. [CrossRef]

9. Han, S.H.; Chang, D.; Huh, C. Efficiency analysis of radiative slab heating in a walking-beam-type reheating furnace. Energy 2011, 36, 1265–1272. [CrossRef]

10. Zhang, L.; Huang, H.; Hu, D.; Li, B.; Zhang, C. Greenhouse gases (GHG) emissions analysis of manufacturing of the hydraulic press slider within forging machine in China. J. Clean. Prod. 2016, 113, 565–576. [CrossRef]

11. Kim, J.G.; Huh, K.Y.; Kim, I.T. Three-dimensional analysis of the walking-beam type slab reheating furnace in hot strip mills. Numer. Heat Transf. A Appl. 2000, 38, 589–609.

12. Jakliˇc, A.; Kolenko, T.; Zupanˇciˇc, B. The influence of the space between the billets on the productivity of a continuous walking-beam furnace. Appl. Therm. Eng. 2005, 25, 783–795. [CrossRef]

13. Kim, M.Y. A heat transfer model for the analysis of transient heating of the slab in a direct-fired walking beam type reheating furnace. Int. J. Heat Mass Transf. 2007, 50, 3740–3748. [CrossRef]

14. Jang, J.H.; Lee, D.E.; Kim, M.Y.; Kim, H.-G. Investigation of the slab heating characteristics in a reheating furnace with the formation and growth of scale on the slab surface. Int. J. Heat Mass Transf. 2010, 53, 4326–4332. [CrossRef]

15. Han, S.H.; Chang, D.; Kim, C.Y. A numerical analysis of slab heating characteristics in a walking beam type reheating furnace. Int. J. Heat Mass Transf. 2010, 53, 3855–3861. [CrossRef]

16. Han, S.H.; Chang, D. Radiative slab heating analysis for various fuel gas compositions in an axial-fired reheating furnace. Int. J. Heat Mass Transf. 2012, 55, 4029–4036. [CrossRef]

17. Han, S.H.; Chang, D. Optimum residence time analysis for a walking beam type reheating furnace. Int. J. Heat Mass Transf. 2012, 55, 4079–4087. [CrossRef]

18. Bhuiyan, A.B.; Karim, M.R.; Naser, J. Modeling of Solid and Bio-Fuel Combustion Technologies. In Thermofluid Modeling for Energy Efficiency Applications; Elsevier: London, UK, 2015; pp. 259–309.

19. ANSYS Fluent Academic Research 16.2; ANSYS: Canonsburg, PA, USA.

20. Hachem, E.; Jannoun, G.; Veysset, J.; Henri, M.; Pierrot, R.; Poitrault, I.;

Massoni, E.; Coupez, T. Modeling of heat transfer and turbulent flows inside industrial furnaces. Simul. Model. Pract. Theory 2013, 30, 35–53.

21. Song, G.; Bjorge, T.; Holen, J.; Magnussen, B.F. Simulation of fluid flow and gaseous radiation heat transfer in a natural gas-fired furnace. Int. J. Numer. Methods Heat Fluid Flow 1997, 7, 169–182. [CrossRef]

22. Tu, J.; Yeoh, G.H.; Liu, C. Computational Fluid Dynamics, 2nd ed.; Butterworth-Heinemann: Woburn, MA, USA, 2013.

23. Launder, B.E.; Spalding, D.B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence; Academic Press: London, UK, 1972.

24. Shih, T.H.; Liou,W.W.; Shabbir, A.; Yang, Z.; Zhu, J. A New k-" Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows—Model Development and Validation. Comput. Fluids 1995, 24, 227–238. [CrossRef]

25. Siegel, R.; Howell, J.R. Thermal Radiation Heat Transfer; Hemisphere Publishing Corporation: Washington, DC, USA, 1992.

26. Surface-to-Surface (S2S) Radiation Model Theory. In ANSYS® Academic Research, Release 16.2, Help System; ANSYS: Canonsburg, PA, USA, 2015; pp. 162–164.

27. Modest, M.F. Radiative Heat Transfer; Series in Mechanical Engineering; Academic Press: New York, NY, USA, 1993.

28. Near Walls treatments for Wall-Bounded turbulent flows. In ANSYS® Academic Research, Release 16.2, Help System; ANSYS: Canonsburg, PA, USA, 2015; p. 107.

29. Dynamic Mesh Theory. In ANSYS® Academic Research, Release 16.2, Help System; ANSYS: Canonsburg, PA, USA, 2015; pp. 34–36.