

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Матеріалознавства та ливарного виробництва”

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою М та ЛВ
к.т.н., доцент
_____Олександр КУЗИК
“_____” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за другим (магістерським) рівнем вищої** **освіти**

на тему

**“Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського
машинобудування з розробленням процесу
виготовлення чавунних виливків з підвищенням
енергоефективності виробництва за рахунок утилізації
низькопотенціальних джерел теплоти”**

Виконав здобувач вищої освіти
_____5____курсу, групи ПМ-22М-1_____
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____Шишка О.А.
«_____» _____ 2023 р.
Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Олександр СКРИПНИК
«_____» _____ 2023 р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Механіко-технологічний

Кафедра Матеріалознавство та ливарне виробництво

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«___»_____2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ШИШКА Олександр Аркадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: “Ливарний комплекс заводу сільськогосподарського машинобудування з розробленням процесу виготовлення чавунних виливків з підвищенням енергоефективності виробництва за рахунок утилізації низькопотенціальних джерел теплоти”
2. Керівник роботи:
СКРИПНИК Олександр Вікторович, кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту: 1.12.2023 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: виконати технічне планування ливарного комплексу; розробити технологію ливарної форми; розглянути різні типи джерел низькопотенціального тепла, встановити що для умов виробництва на заводі сільськогосподарського машинобудування в якості джерела низькопотенційного тепла можливо застосувати стічні води ливарного комплексу, запропонувати спосіб і принципову схему установки утилізації низькопотенційного тепла стічних вод на базі парокомпресійного теплового насоса, розрахувати його основні конструкторсько-технологічні параметри.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Загальна частина	Скрипник О.В.		
Технологічна частина	Скрипник О.В.		
Наукова частина	Скрипник О.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна частина	15.09.2023	
2	Технологічна частина	6.10.2023	
3	Наукова частина	25.10.2023	

Дата видачі завдання

«_____»_____2023 р.

Підпис керівника

СКРИПНИК О.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«_____»_____2023 р.

Підпис здобувача

ШИШКА О.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на стор. друкованого тексту і містить
табл. рис.

ФОНД ЧАСУ, ОБЛАДНАННЯ, ВИРОБНИЧА ПРОГРАМА, ВІДЛИВОК, ФОРМА, ЖИВИЛЬНИК, ПРИПУСК, СТЕРЖЕНЬ, ГАЗОВІ РАКОВИНИ, ЗАЛИВКА, СПЛАВ, СТЕРЖНЕВА СУМІШ, ЗМІШУВАЧ

Завданням даної кваліфікаційної роботи є проектування та організація роботи ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування, розроблення технологічного процесу виготовлення виливка «Кришка задня RVH2 7» масою 12,91 кг із чавуну марки СЧ20 ДСТУ 8833:2019, проектування ливарного устаткування, яке має виконувати наступні завдання та задовольняти вимогам:

- для проектування ливарного цеху використовувати номенклатуру виливків, яка наведена в табл. 1.2;
- потужність відділення що проектується складає 12000 т придатних виливків на рік;
- максимально автоматизація і механізація технологічних процесів та окремих операцій;
- місце розташування цеху м. Кропивницький;

Основні джерела забезпечення роботи ливарного цеху:

- металічні матеріали – металобазис;
- вода – міське постачання;
- електроенергія – ТЕС, ГЕС, ТЕЦ;
- тепло і газ – місцева мережа газу;

для очищення та скидання стічних вод – замкнена система водопостачання і загальна міська каналізація.

Об'єкт кваліфікаційної роботи: проектування ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування 12000 тон придатних виливків на рік;

розроблення технології виготовлення виливків із чавуну.

Предмет кваліфікаційної роботи: планування і організація роботи ливарного комплексу; розроблення ефективного виробничого циклу, технологія ливарної форми, визначення джерела низькопотенційного тепла в проектуємому цеху та спосіб його утилізації.

Результати кваліфікаційної роботи: виконано технічне планування ливарного комплексу; розроблено технологію ливарної форми; розглянуті різні типи джерел низькопотенціального тепла, встановлено що для умов виробництва на заводі сільськогосподарського машинобудування в якості джерела низькопотенційного тепла можливо застосувати стічні води ливарного комплексу, запропоновано спосіб і принципова схема установки утилізації низькопотенційного тепла стічних вод на базі парокомпресійного теплового насоса, розраховані його основні конструкторсько-технологічні параметри.

Результати проектування можуть бути рекомендовані для впровадження при виробництві дрібних (до 150 кг) виливків середньої складності в умовах серійного або масового виробництва.

ABSTRACT

The explanatory note is set out on p. printed text and contains table
fig.

TIME FUND, EQUIPMENT, PRODUCTION PROGRAM, CAST, MOLD, FEEDER, FITTING, ROD, GAS SINKS, FILLING, ALLOY, ROD MIXTURE, MIXER

The task of this thesis is the design and organization of the foundry complex of the agricultural machinery plant, the development of the technological process for the production of the casting "Rear cover PVH2 7" weighing 12.91 kg from cast iron of the

C420 grade DSTU 8833:2019, the design of the foundry equipment, which should perform the following tasks and meet the requirements:

- for the design of the foundry, use the nomenclature of castings, which is given in the table. 1.2;
- the capacity of the planned department is 12,000 tons of usable castings per year;
- maximum automation and mechanization of technological processes and individual operations;
- location of the shop in Kropyvnytskyi;

The main sources of ensuring the operation of the foundry:

- metallic materials – metal bases;
- water - city supply;
- electricity - TPP, HPP, CHP;
- heat and gas – local gas network;

for wastewater treatment and disposal - a closed water supply system and general city sewerage.

The object of the master's thesis: design of the foundry complex of the agricultural machinery plant, 12,000 tons of usable castings per year; development of technology for manufacturing cast iron castings.

The subject of the master's thesis: planning and organization of the work of the foundry complex; development of an effective production cycle, foundry mold technology, determination of the source of low-potential heat in the designed workshop and the method of its disposal.

The results of the master's thesis: the technology of the foundry mold was developed; the technical planning of the foundry complex was completed; different types of low-potential heat sources are considered, it is established that for the conditions of production at an agricultural machinery plant, it is possible to use wastewater from a foundry complex as a source of low-potential heat, a method and principle scheme of a low-potential waste heat utilization installation based on a vapor compression heat pump is proposed, its main design and technological parameters.

Design results can be recommended for implementation in the production of small (up to 150 kg) castings of medium complexity in the conditions of serial or mass production.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....	
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	
1.1. Характеристика виробництва.....	
1.2. Вибір режиму роботи цеху.....	
1.3. Розрахунок фондів часу.....	
1.4. Розрахунок виробничої програми цеху.....	
1.5. Розрахунок плавильного відділення.....	
1.5.1. Розрахунок балансу металу.....	
1.5.2. Вибір плавильного агрегату.....	
1.5.3. Розрахунок шихти для плавки сплаву СЧ 20 методом підбору.....	
1.5.4. Опис процесу плавки в тигельних індукційних печах промислової частоти марки MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER.....	
1.5.5. Устрій і робота плавильного відділення.....	
1.6. Розрахунок формувально-заливочного відділення.....	
1.7. Розрахунок стержневого відділення.....	
1.7.1. Устрій і робота стержневого відділення.....	
1.8. Розрахунок сумішеприготувального відділення.....	
1.8.1. Устрій і робота сумішеприготувального відділення.....	
1.9. Розрахунок очисного відділення.....	
1.10. Ґрунтування і фарбування відливків.....	
1.11. Допоміжні відділення цеху.....	
1.12. Розрахунок складів ливарного цеху.....	
1.13. Енергетична частина.....	
1.13.1. Річна потреба в електроенергії.....	
1.13.2. Річна потреба цеху у воді.....	
1.13.3. Річна потреба в стисненому повітрі.....	

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	
2.1. Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок.....	
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка.....	
2.2.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	
2.2.2. Визначення положення відливка у формі.....	
2.2.3. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	
2.3.1. Визначення габаритних розмірів кому.....	
2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки.....	
2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	
2.4. Опис технологічного процесу виготовлення відливка.....	
2.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші.....	
2.4.2. Формовка.....	
2.4.3. Збирання форм.....	
2.4.4. Заливка форм.....	
2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	
2.6. Охорона праці при литті сірого чавуну.....	
3. НАУКОВА ЧАСТИНА.....	
3.1 Джерела низькопотенційної теплової енергії.....	
3.2. Утилізація низькопотенційного тепла заснована на використанні теплових насосів.....	
3.2.1. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які використовують в якості джерела тепла – зовнішнє повітря.....	
3.2.2. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які використовують в якості джерела тепла – тепло води.....	
3.2.3. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які	

використовують в якості джерела тепла – ґрунт	
3.3. Утилізація низькопотенційного тепла заснована на використанні абсорбційних холодильних установок та трансформаторів тепла.....	
3.4. Утилізація низькопотенційного тепла заснована на використанні циклу Ренкіна.....	
3.5. Способи і пристрої для утилізації тепла промислових стоків.....	
3.6. Загальні відомості про парокомпресійні теплові насоси.....	
3.6.1 Класифікація парокомпресійних теплових насосів.....	
3.6.2 Робочі тіла парокомпресійних теплових насосів.....	
3.7. Розрахунок парокомпресійного теплового насоса.....	
ВИСНОВКИ.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	
ДОДАТКИ.....	

ВСТУП

Ливарне виробництво є основною заготівельною базою машинобудування.

Литі заготовки по розмірам та конфігурації в найбільшій мірі наближаються до готової деталі.

Основним напрямком вдосконалення та розвитку ливарного виробництва є розширене використання відомих і створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріалу та енергії, знизити трудомісткість, збільшити продуктивність, покращити умови праці і усунути шкідливий вплив на оточуюче середовище та нарешті підвищити якість і ефективність виробництва.

У виробництві литих заготовок для деталей машин і приладів значне місце займають способи отримання відливків в пісчаноглиняні форми, та так звані спеціальні способи лиття: по виплавляємим моделям, в керамічні форми, в кокіль, під тиском, центробіжне литво, електрошлакове лиття та інші, що дають змогу отримати відливки підвищеної точності, з високими службовими властивостями.

Технологічний процес одержання відливків в пісчаноглиняні форми відрізняється тим, що має невелику матеріало- і енергоємність, трудомісткість, дозволяють практично повністю автоматизувати процес виготовлення відливків, суттєво покращити умови праці і зменшити шкідливий вплив на оточуюче середовище.

Ці процеси, як правило здійснюються на автоматизованих або автоматичних ливарних установках, або лініях, тому сфера їх застосування в машинобудуванні весь час розширюється, а обладнання вдосконалюється.

Задачею даної кваліфікаційної роботи є проектування ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування 12000 тон придатних виливків на рік.

При проектуванні ливарного комплексу необхідно забезпечено його високий технічний рівень та економічну ефективність, максимально використати досягнення науки і техніки. При проектуванні ливарного комплексу опиралися на головні технічні напрямлення в галузі машинобудування, а також на правила та

рекомендації щодо проектування і будування, чинними нормативами та керівними нормативними документами з ливарного виробництва.

При проектуванні запропоновані найефективніші варіанти технологічних процесів виготовлення литих заготовок та оптимального використання високопродуктивного устаткування, яке забезпечує ці технологічні процеси. Приділена увага питанням уникнення перетину вантажопотоків, визначення площ основних і допоміжних відділень, розміщення устаткування і транспортних засобів, а також покращання умов праці в цеху. Важливим фактором даного проекту є наближення виробника виливків до замовника.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика виробництва

Призначення ливарного комплексу - виготовлення виливків із сірогочавуну марки СЧ20.

Основними параметрами вибору технологічного процесу та устаткування для виготовлення виливків є: характер виробництва, маса та габаритні розміри виливків, клас їх точності, рід металу, вид виробничої програми й потужність цеху.

За сучасною класифікацією комплекс можна представити так:

- за родом сплаву – чавун;
- за характером виробництва - масового виробництва;
- за масою виливків - дрібного литва;
- за технологічними процесами - лиття в разові піщані форми.

Відділення виготовлення чавунних виливків за структурою складається з таких основних і допоміжних відділень та дільниць:

- виробничі відділення:
 - 1) плавильне відділення з дільницею підготовки шихтових матеріалів;
 - 2) формувальне-заливальне-вибивальне відділення;
 - 3) стержньове відділення;
 - 4) сумішоприготувальне відділення;
 - 5) відділення фінішних операцій;
- допоміжні дільниці:
 - 1) ремонтно-механічні майстерні;
 - 2) ремонту та сушіння ковшів;
 - 3) лабораторії визначення хімічного складу металу та властивості сумішей;
- склади:
 - шихтових і формувальних матеріалів;
 - 2) модельної оснастки;

3) готових виливків.

1.2. Вибір режиму роботи цеху

Режим роботи ливарного цеху – це раціональне розподілення в часі та просторі всіх робіт, та процесів, які виконуються при виготовленні відливків.

Вибір оптимального режиму роботи ливарного цеху, залежить від масштабу виробництва, ваги відливків, серійності виробництва, роду металу і типу плавильних печей, характеру технологічних процесів.

Керуючись вищесказаним приймаємо для заданої номенклатури відливків тризмінний режим роботи. При цьому плавильне відділення повинно працювати в тризмінному режимі, забезпечуючи резерв рідкого металу без втрат теплоти на повторні запуски печей.

1.3. Розрахунок фондів часу

Відповідно до прийнятого режиму роботи цеху визначаємо фонди часу роботи обладнання та робітників.

При проектуванні і розрахунках проекту застосовують три види річних фондів часу роботи устаткування:

- календарний;
- номінальний;
- дійсний.

Календарний фонд часу розраховується за формулою:

$$\Phi_K = T_K \cdot S \cdot t, \quad (1.1)$$

де T_K - кількість днів у році;

S - кількість змін;

t - тривалість зміни.

$$\Phi_K = 365 \cdot 3 \cdot 8 = 5840 \text{ год.}$$

Номінальний фонд часу розраховується за формулою:

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - T_{\text{пр}} \cdot 1 - T_{\text{пд}} \cdot 0, \quad (1.2)$$

де 40 - кількість робочих годин на тиждень;

52 - кількість робочих тижнів;

$T_{\text{пр}}$ - кількість святкових днів на рік;

$T_{\text{пд}}$ - кількість передсвяткових днів на рік.

$$\Phi_n = 40 \cdot 52 - 10 \cdot 1 - 4 \cdot 0 = 2070 \text{ год.}$$

Дійсний фонд часу розраховується за формулою:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = \Phi_n \cdot S \cdot (1 - 0,01 \cdot f), \quad (1.3)$$

де Φ_n - номінальний фонд роботи устаткування, год.;

S - кількість змін, приймаємо 2;

f - витрата часу на ремонт устаткування, % [6].

Розраховуємо дійсний фонд часу для стержньових машин:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 5) = 5899 \text{ год.}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для сумішоприготувального обладнання:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) = 5837 \text{ год}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для очисного обладнання (галтувальні барабани, дробометні барабани і камери):

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 6) = 5837 \text{ год}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для автоматичних ліній лиття:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) = 5464 \text{ год}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для плавильної печі MFTDUO-MELT:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4) = 5961 \text{ год}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для обладнання фінішної обробки:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4) = 5961 \text{ год}$$

Розраховуємо дійсний фонд часу для іншого обладнання:

$$\Phi_{\text{д.уст.}} = 2070 \cdot 3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4) = 5961 \text{ год}$$

Розрахункові фонди часу роботи устаткування наведені в табл. 1.1

Таблиця 1.1

Розрахункові фонди часу роботи устаткування

Устаткування	Номинальний фонд часу, год.	Кількість змін	Регламентовані простой, %	Дійсний фонд часу, год.
Плавильні печі	2070	3	4	5961
Автоматичні лінії	2070	3	12	5464
Стержневі машини	2070	3	5	5899
Сумішоприготувальне обладнання	2070	3	6	5837
Очисне обладнання	2070	3	6	5837
Обладнання фінішної обробки	2070	3	4	5961
Інше обладнання	2070	3	4	5961

Дійсний фонд часу роботи робітників визначається за формулою:

$$\Phi_{\partial p} = \Phi_n \cdot (1 - 0,01 \cdot c), \quad (1.4)$$

де Φ_n - номінальний фонд часу, год.;

c - витрати часу на невиходи на роботу з поважних причин, % [6].

$$\Phi_{\partial p} = 2070 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) = 1863 \text{ год}$$

1.4. Розрахунок виробничої програми цеху

Розрахунок виробничої програми цеху виконано за допомогою програми ПРОЕКТ. Вихідні данні розрахунку приведені в табл. 1.2.

1.5. Розрахунок плавильного відділення

Для виготовлення відливків за заданою програмою використовуємо сплав СЧ 20. Хімічний склад цих сплавів приведений в табл. 1.3, 1.4, а механічні властивості в табл. 1.5, 1.6.

Таблиця 1.3

Хімічний склад сплаву СЧ20 ГОСТ 1412-85

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
В межах	3,30-3,50	1,4-2,40	0,70-1,00	<0,15	<0,20
Середнє	3,40	2,30	0,70	0,15	0,20

Таблиця 1.4

Механічні властивості сплаву СЧ20 ГОСТ 1412-85

Сплав	Межа міцності на розрив σ_p , МПа	Відносне подовження, %	Твердість по Брінеллю, НВ
СЧ 20	210	0,40 - 0,70	143 - 255

1.5.1. Розрахунок балансу металу. Визначаємо загальну масу металозавалки для печей, т:

$$M = \frac{100 \cdot (П + Л + Б)}{100 - з - у}, \quad (1.5)$$

де $П$ - придатне литво, т;

$Л$ - ливники, т;

$Б$ - брак, т;

$з$ - зливи і сплески, приймаємо по виробничим даним бази практики, $з = 3\%$;

$у$ - угар і безповоротні втрати - приймаються по характеристикам вибраних плавильних печей, $у = 4\%$.

Металозавалка для сплаву СЧ 20:

$$M = \frac{100 \cdot (12000,272 + 3151,311 + 600,013)}{100 - 3 - 4} = 16937,20 \text{ т}$$

Визначаємо відносний вміст придатного литва для СЧ20:

$$П = \frac{П}{M} \cdot 100 \quad (1.6)$$

$$П = \frac{12000,272}{16937,20} \cdot 100 = 70,85 \%$$

Визначаємо відносний вміст ливників в метало завалці для СЧ20:

$$Л = \frac{Л}{M} \cdot 100 \quad (1.7)$$

$$Л = \frac{3151,311}{16937,20} \cdot 100 = 18,61\%$$

Визначаємо відносний вміст браку в метало завалці для СЧ20:

$$B = \frac{B}{M} \cdot 100 \quad (1.8)$$

$$B = \frac{600,013}{16937,20} \cdot 100 = 3,54 \%$$

Визначаємо безповоротні втрати і угар в метало завалці для СЧ20:

$$Y = \frac{Y}{100} \cdot M \quad (1.9)$$

$$Y = \frac{4}{100} \cdot 16937,20 = 677,48 \text{ т}$$

Визначаємо зливи і сплески для СЧ20:

$$Z = \frac{3}{100} \cdot M \quad (1.10)$$

$$Z = \frac{3}{100} \cdot 16937,20 = 508,11 \text{ т}$$

Кількість рідкого металу для СЧ20:

$$Q_p = M - Y \quad (1.11)$$

$$Q_p = 16937,20 - 677,48 = 16259,72 \text{ т}$$

Розрахункові дані зводимо до табл. 1.5 і 1.6.

Таблиця 1.5

Баланс металу СЧ20

Компонент	СЧ20	
	%	т
Придатне литво	70,85	12000,272
Ливники	18,61	3151,311
Брак	3,54	600,013
Угар	4,00	677,480
Зливи і сплески	3,00	508,110
Всього	100	16937,270

Таблиця 1.6

Баланс металу на 1 т придатного литва для сплаву СЧ 20

Компоненти	%	т
Придатна частина		
Чавун ливарний, Л5, Л6	46,52	0,656
Лом сталевий, вид 21	4,80	0,067
Лом чавунний, вид 26	19,33	0,272
Феросиліцій ФС-45	3,60	0,053
ФеромарганецьФМн-78	0,60	0,009
Відходи власного виробництва	25,15	0,354
Всього по придатній частині	100,00	1,411
Витратна частина		
Ливники	18,61	0,262
Брак	3,54	0,049
Зливи і сплески	3,00	0,043
Всього відходів	25,15	0,354
Угар і безповоротні втрати	4,00	0,056
Придатне литво	70,85	1,001
Всього по витратній частині	100,00	1,411

1.5.2. Вибір плавильного агрегату. Для плавки сплаву марки СЧ 20 вибираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER, технічна характеристика якої наведена в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Технічна характеристика тигельну індукційну піч промислової частоти марки MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER

Технічний параметр	Числове значення
Ємність печі, т	2×1,5
Потужність, кВт	1500
Температура металу, °С	1650
Продуктивність плавки, т/год	2,65
Час розплавлення і перегріву, год	1

Розраховуємо необхідну кількість печей, за формулою:

$$n = \frac{\alpha \cdot M}{q \cdot \Phi_0}, \quad (1.12)$$

де α - коефіцієнт нерівномірності використання рідкого металу; $\alpha = 1,15 \dots 1,25$ [12];

M - річна кількість металевої шихти, т;

q - годинна продуктивність печі, год.;

Φ_0 - дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

$$n = \frac{1,25 \cdot 16937,20}{2,65 \cdot 5961} = 1,34 \text{ шт}$$

Приймаємо 2 печі

Розраховуємо коефіцієнт завантаження печей:

$$\kappa_3 = \frac{n_p}{n_{np}}, \quad (1.13)$$

де n_p - розрахункова кількість обладнання даного типу;

n_{np} - прийнята кількість обладнання даного типу.

$$\kappa_3 = \frac{1,34}{2} = 0,67$$

Для печей марки MFTDUO-MELT коефіцієнт завантаження становить $\kappa_3 = 0,7 \dots 0,85$ [2].

Оскільки розрахунковий коефіцієнт відповідає вказаному, приймаємо 2 комплекти печей.

Розрахунок кількості ковшів проводиться за формулою:

$$K_{\text{заг}} = K_0 + 0,15K_0 + 0,15K_0 + 0,15K_0, \quad (1.14)$$

де K_0 - розрахункова кількість ковшів,

Для переміщення металу від печей до дозаторів приймаємо два барабанних ковші, місткістю 1000 кг.

$$K_{\text{заг}} = 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 5,8 \text{ шт}$$

Приймаємо 6 ковшів, так як два робочі, два на ремонті і два запасних.

Переміщення барабанного ковша проводиться кран-балкою вантажопідйомністю $Q = 5$ т.

1.5.3. Розрахунок шихти для плавки сплаву СЧ 20 методом підбору.

Розрахунок шихти для плавки сплаву СЧ 20 методом підбору наведено в табл. 1.8.

1.5.4. Опис процесу плавки в тигельних індукційних печах промислової частоти марки MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER. Індукційні тигельні печі складаються з наступних основних частин: індуктора, магнітопроводів, каркасу, футеровки, механізму нахилу, електроустаткування і системи охолодження печі.

Індукційні плавильні печі мають індуктор – котушку, яку підключають до мережі змінного струму. При протіканні по котушці струму в оточуючому її просторі виникає змінне електромагнітне поле, при взаємодії з яким металеві тіла нагріваються. Швидкість нагрівання залежить від теплофізичних властивостей металу, що нагрівається, і параметрів електромагнітного поля.

Причиною нагрівання металу в змінному електромагнітному полі є виникнення в металі вихрових струмів (струмів Фуко – за ім'ям вченого, який відкрив це явище). При проходженні цих струмів всередині металу в останньому виділяється, у відповідності із законом Ленца–Джоуля, теплота, за рахунок якої і відбувається нагрівання металу.

Індукований в провіднику змінний електричний струм, на відміну від постійного струму, розподіляється по перерізу провідника нерівномірно.

Найбільша густина струму спостерігається в поверхневих шарах провідника, а найменша - на осі. Нерівномірність розподілу струму по перерізу тим більша, чим більша частота струму, діаметр провідника, його електрична провідність і магнітна проникність. При дуже високих частотах і великих діаметрах провідників практично весь струм проходить тільки в тонкому поверхневому шарі провідника.

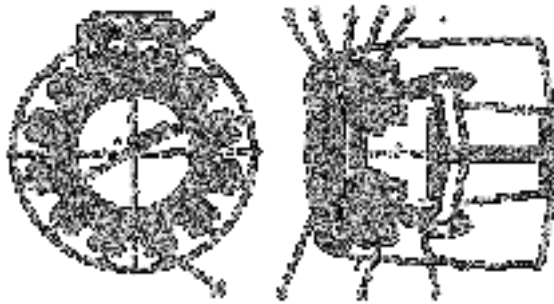


Рисунок 1.1 - Поперечний розріз індукційної тигельної печі:

1 - електровивід; 2, 4 - азбест; 3 - індуктор; 5, 8 - ізолятори; 6 - магнітопровід; 7 - прижимний гвинт; 9 - футеровка печі; 10 - балка каркаса печі.

В індукційних тигельних печах у ливарному виробництві виплавляють різні метали і сплави (сталь, чавун, мідь, бронзу, алюміній і т.д.). В цих печах усередині індуктора розташований тигель з вогнетривкого матеріалу. Внутрішній простір тигля заповнюється розплавленим металом. Тигель захищає індуктор від впливу рідкого металу. Товщина стінки тигля, тобто відстань між індуктором і рідким металом, впливає на електричні параметри печі: чим товстіше стінка, тим більша кількість магнітних силових ліній, що пронизують котушку, не бере участі у нагріванні металу.

Велике значення для роботи індукційної печі має частота живильного струму. Кожному значенню місткості печі й електричному опору шихти відповідає певна частота струму. При виборі частоти струму враховують, що внутрішній діаметр тигля має бути не менше 3,5 глибин проникнення струму в шихту.

1.5.5. Устрій і робота плавильного відділення. Плавильне відділення розташоване з торцевої сторони ливарного цеху. Шихтові матеріали, які поступають на склад по залізниці, розвантажуються на спеціальний майданчик вздовж колії. Металева шихта з відкритих вагонів розвантажуються мостовим краном з магнітною шайбою. Зберігається шихта в закромах, які заглиблені відносно пола складу на 4 м. Доставка металевої шихти до місця її зберігання для подальшого завантаження в плавильні печі робиться також за допомогою мостового магнітного крана. Флюси завантажуються мостовим грейферним краном в спеціальні ємності.

Біля плавильних печей розташовано бункери для шихтових матеріалів і флюсів. Металева шихта із бункерів поступає в вагові дозатори (печі оснащено установкою для зважування шихти).

Завантаження печей металозавалкою здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю $Q = 15$ т, оснащеного магнітною шайбою. Для обслуговування печей, транспортування рідкого металу від них до заливальної дільниці застосовується мостовий кран $Q = 15$ т.

Вогнетривка футерівка виконується вогнетривкою цеглою на розчині, шамотна футерівка має 25...30 % вогнетривкої глини і 70...75 % молотого шамоту або кварцового піску. Подину набивають формувальною сумішшю. Після ремонту футерівку сушать.

1.6. Розрахунок формувально-заливочного відділення

Розрахунок формувального відділення ливарного цеху виконано за допомогою програми ПРОЕКТ. Вихідні данні розрахунку приведені в табл. 1.9.

Для виробництва ливарних форм приймаємо безопочну формувальну лінію DISAMATCH на базі автомата FBO IV, технічна характеристика якої наведена в табл. 1.10. Потрібну для виконання програми кількість автоматичних ліній визначаємо за формулою:

$$n = \frac{N_{\phi}}{\Phi_{\phi} \cdot q}, \quad (1.15)$$

де N_{ϕ} - кількість ливарних форм на річну програму, шт.;

Φ_{ϕ} - дійсний фонд часу роботи автоматичної лінії, год.;

q - продуктивність машини, заливок/год;

Таблиця 1.10

Технічна характеристика DISAMATCH

Технічний параметр	Числове значення
Модель формовочного автомата	FBO IV
Ущільнення форми	Вдування суміші та гідравлічне пресування
Розмір кома шир. × дов. (мм)	Стандарт 700 × 600 × 180...250
(є й інші розміри кома)	
A × B × C × D(мм)	4225 × 5035 × 4477 × 1470
Швидкість виготовлення форм без постановки стержнів (с/форма)	36
Продуктивність, форм/год	100
Зусилля пресування, макс. Н/см ²	100
Потреба в стислому повітрі, Нм ³ /форма	2,5
Електрична потужність, кВт	30

$$n = \frac{853938}{5464 \cdot 100} = 1,56 \text{ шт}$$

Приймаємо 2 автоматичних лінії.

Визначаємо коефіцієнт завантаження безопочної формувальної лінії DISAMATCH:

$$\kappa_z = \frac{1,56}{2} = 0,78$$

Для безопочної формувальної лінії DISAMATCH коефіцієнт завантаження становить $\kappa_z = 0,7...0,85$ [2]. Оскільки розрахунковий коефіцієнт відповідає вказаному, приймаємо 2 безопочні лінії.

1.7. Розрахунок стержньового відділення

Розрахунок стержньового відділення ливарного цеху виконано за допомогою програми ПРОЕКТ. Вихідні данні розрахунку приведені в табл. 1.11.

Для виробництва ливарних стержнів приймаємо стержньовий піскострільний автомат з горизонтальним роз'ємом ящика моделі 4758Б2К1, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.12

Стержні виготовляються у холодних ящиках з швидкотвердіючих сумішей, що дає можливість підвищити точність стержня, а відповідно і точність відливок. Зменшення ливарних припусків дозволяє зменшити витрати на механічну обробку. Крім того, зникає необхідність у виготовленні каркасів, в громіздких (які займають великі площі) сушильних агрегатах, зростає продуктивність одиниці площі [8].

Таблиця 1.12

Технічна характеристика стержньового піскострільного автомата з горизонтальним роз'ємом ящика моделі 4758Б2К1

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Найбільша маса стержнів	кг	10,0
Продуктивність стержнів	год	60...80
Розміри стержневих ящиків	мм	400 × 320 × 200
Габаритні розміри машини	м	1850 × 1590 × 2660
Маса машини, кг	кг	3200

Необхідну для виконання програми кількість стержневих машин визначаємо за загальною методикою:

$$n = \frac{N_{\phi}}{\Phi_{\partial} \cdot q}, \quad (1.16)$$

де N_{ϕ} - кількість стержневих ящиків на річну програму, шт.;

Φ_{∂} - дійсний фонд часу роботи стержньової машини, год.;

q - продуктивність стержневої машини, заливок/год;

$$n = \frac{918859}{5899 \cdot 60} = 2,59$$

Приймаємо 3 стержньових піскострільних автоматів з горизонтальним роз'ємом ящика моделі 4758Б2К1.

Визначаємо коефіцієнт завантаження піскострільного автомату:

$$\kappa_z = \frac{2,59}{3} = 0,85$$

Для стержньового піскострільного автомата з горизонтальним роз'ємом ящика моделі 4758Б2К1 коефіцієнт завантаження становить $\kappa_z = 0,7...0,85$ [2]. Оскільки розрахунковий коефіцієнт відповідає вказаному, приймаємо 3 стержньових автомата.

1.7.1. Устрій і робота стержневого відділення. Стержнева суміш до стержневих автоматів моделі 4758Б2К1 поступає із сумішоприготувального відділення за допомогою стрічкового конвеєра передається безпосередньо в бункери для роздачі, які розташовані над стержневими автоматами. На території ділянки є спеціальне місце, на якому зберігають стелажі з готовими стержнями.

Технологічний процес виготовлення стержнів по холодній оснастці полягає в тому, що стержнева суміш, яка заповнює порожнину стержневого ящика, на протязі 15 – 60 с твердіє. Отриманий стержень не потребує додаткової сушки, а його міцність достатня для транспортування і простановки в форму. Головна особливість технологічного процесу виготовлення стержнів по холодній оснастці полягає в тому, що отримані стержні мають високою міцністю.

На першій позиції здійснюється прижим стержневого ящика до пісcomedної головки і заповнення його сумішшю. На другій позиції стержні затвердівають в ящику. На третій виконується розкриття стержневого ящика, видалення готового стержня і обдув внутрішньої порожнини ящика стиснутим повітрям.

Для очищення робочої поверхні ящика і покриття її роздільним складом машина має рухомі форсунки, які при русі уперед обдувають стиснення повітрям робочу поверхню розкритого ящика, а при русі назад - покривають її роздільним складом.

1.8. Розрахунок сумішоприготувального відділення

Для розрахунку сумішоприготувального відділення складаємо відомості витрат формувальної та стержньової суміші, які наведені в табл. 1.13, 1.14.

Таблиця 1.13

Відомість витрат формувальної суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неущільненому стані, $M_{nc} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неущільненому стані з урахуванням просипань $M_{np} = (1,1 \dots 1,15) \cdot M_{nc}, \text{м}^3$
136190	190666	219265,9

Таблиця 1.14

Відомість витрат стержньової суміші на рік

Витрати суміші в ущільненому стані $V_c, \text{м}^3$	Річні витрати суміші в неущільненому стані, $M_{nc} = 1,4 \cdot V_c, \text{м}^3$	Витрати суміші в неущільненому стані з урахуванням просипань $M_{np} = (1,1 \dots 1,15) \cdot M_{nc}, \text{м}^3$
878,58	1230,012	1414,51

Для приготування формувальної суміші вибираємо ливарний змішувач вихрового типу, з обертаючоюся чашею моделі MC22-40, технічна характеристика якого наведена у табл. 1.15.

Таблиця 1.15

Технічна характеристика ливарного змішувача вихрового типу, з обертаючоюся чашею моделі MC22-40

Найменування параметрів	Числове значення
Об'єм замісу, м^3	2,5
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	35
Розміри чаші, $\varnothing$ – діаметр, м	2500
Продуктивність витяжної вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$	12000
Габаритні розміри, мм:	$5600 \times 4200 \times 3200$
Маса змішувача, кг	35000

Необхідну кількість змішувачів розраховуємо за формулою:

$$M = \frac{K_n \cdot G}{q \cdot \Phi_{\text{д.у.}}}, \quad (1.17)$$

де K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи машини, $K_n = 1,15 \dots 1,25$ [8];

G - річна кількість перероблюємого матеріалу, м^3 (табл. 1.15);

q - продуктивність машини, $\text{м}^3/\text{год}$ (табл. 1.17);

$\Phi_{\text{д.у.}}$ - річний фонд часу машини (табл. 1.1).

$$M = \frac{1,2 \cdot 219265,9}{35 \cdot 5837} = 1,28 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнта завантаження:

$$\kappa_z = \frac{1,28}{0,80} = 1,61 \text{ шт}$$

Приймаємо 2 змішувачі вихрового типу, з обертаючоюся чашею моделі МС22-40.

Склад формувальної суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.16).

Таблиця 1.16

Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Зворотня суміш, %	92 - 96
Пісок кварцовий КО2, КО16, %	3,0 - 5,8
Бентонітова глина, %	0,6 - 1,0
Гранульоване вугілля, %	0,4 - 1,2
Вода, %	до вологості 3,2 - 3,8
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,17 - 0,21
Газопроникність, одиниць	100 - 125
Плинність (по Орлову), одиниць	170 - 210

Для приготування стержевої суміші приймаємо змішувач шнековий С1Ш - 3, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.17.

Кількість змішувачів визначаємо за формулою:

$$M = \frac{\alpha \cdot G \cdot t}{60 \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{д.у.}}}, \quad (1.18)$$

Таблиця 1.17

Технічна характеристика змішувача шнекового С1Ш-3

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м ³	0,3
Час перемішування, хв	15
Продуктивність, м ³ /год	0,3
Потужність, кВт	4
Габарити, мм	1375 × 420 × 1652
Маса, кг	480

де α - коефіцієнт нерівномірності роботи машини, $\alpha = 1,2$;

G - кількість перероблюваної суміші за рік, м³;

t - час перемішування, хв;

ψ - місткість замісу, м³;

$\Phi_{\text{д.у.}}$ - дійсний фонд часу машини.

$$M = \frac{1,2 \cdot 1414,51 \cdot 15}{60 \cdot 0,3 \cdot 5837} = 0,242 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнта завантаження:

$$\kappa_z = \frac{0,242}{0,80} = 0,302 \text{ шт}$$

Приймаємо 1 змішувач шнековий СШ-130.

Склад стержньової суміші приймаємо за необхідними вимогами [12] (табл. 1.18).

1.8.1. Устрій і робота сумішоприготувального відділення.

Сумішоприготувальне відділення розташоване біля формувальної і стержньової діляниць. Змішувачі обладнують бункерами для сипучих і рідких компонентів. Матеріали подаються за допомогою стрічкового конвеєра. Відпрацьована суміш з-

під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії поступає на конвеєр, на якому збирається просип з формувальних машин, просіюється на барабанному решеті, підлягає електромагнітній сепарації і після цього охолодженою до $T = 38 - 40$ °С і зволоженою поступає у змішувач для приготування формувальних сумішей.

Таблиця 1.18

Склад і фізико-механічні властивості стержньової суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Пісок марки Об1к %	97,0 - 96,9
Зв'язуюче БС-40, %	1,9 - 2,0
Каталізатор, %	1,1
Живучість, хв	2
Час твердіння, хв	4
Міцність на стискування, МПа	0,9 - 1,3

1.9. Розрахунок очисного відділення

В числі витрат праці по виготовленню відливків очисні операції складають до 40%, причому в очисних відділеннях застосовується найбільша кількість ручної праці.

У очисному відділенні виконуються операції щодо видалення стержнів з відливків, обрізання ливниково-живильної системи, зачистки, обрубки.

У відділенні повинні бути робочі місця для остаточного контролю, комплектування і вивозу відливків. Для попередньої очистки та охолодження відливків із вказаного сплаву приймаємо охолоджувальний барабан безперервної дії моделі DISACOOOL 2900 [4]. Технічна характеристика барабана наведена у табл. 1.19.

Таблиця 1.19

Технічна характеристика охолоджувального барабана моделі DISACOOOL 2900

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	2,5
Об'єм завантаження, м ³	2,0
Габаритні розміри, мм	3500 × 1650 × 1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Кількість барабанів визначається за формулою:

$$n = \frac{G \cdot K_n}{\Phi_{\text{д.у.}} \cdot q}, \quad (1.19)$$

де G - маса відливок, т/рік;

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи [8];

$\Phi_{\text{д.у.}}$ - дійсний час роботи устаткування;

q - продуктивність, т/год (табл. 1.20).

$$n = \frac{12600,286 \cdot 1,25}{5837 \cdot 2,5} = 1,07 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнту завантаження:

$$n_1 = \frac{1,07}{0,75} = 1,43$$

Приймаємо 2 барабана.

Також для очистки відливок застосовуємо дробометний барабан моделі DISA, Технічна характеристика дробометного барабану моделі DISA наведена в таблиці 1.20.

Таблиця 1.20

Технічна характеристика дробометного барабану моделі DISA

Назва характеристики	Величина
Продуктивність барабану, т/год	5...10
Максимальна вага відливка, кг	150
Число обертів за хвилину дробометного апарату, об/хв	2500
Діаметр дробу, мм	1,5 : 2,0
Потужність електродвигуна, кВт	17
Число обертів за хвилину, об/хв	1450
Кількість обертань сита просіву дробу за хвилину, об/хв	30
Об'єм внутрішнього простору барабану, м ³	0,90
Габаритні розміри, ширина × діаметр, мм	1600 × 1300

Кількість дробометних барабанів моделі DISA розраховуємо аналогічно:

$$n = \frac{12600,286 \cdot 1,25}{5837 \cdot 5} = 0,54 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнта завантаження:

$$K = \frac{0,54}{0,75} = 0,72$$

Виходячи з виробничої необхідності приймаємо два дробометних барабана.

Для зачистки відливок застосовуємо зачисні верстати моделі 3М363.

Технічна характеристика зачисного верстату моделі 3М363 наведена в табл. 1.21.

Таблиця 1.21

Технічна характеристика зачисного верстату моделі 3М363

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80 - 125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Кількість зачисних верстатів розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{G \cdot K_n}{\Phi_{\text{д.у.}} \cdot q}, \quad (1.20)$$

де G - маса відливок на річну програму;

K_n - коефіцієнт нерівномірності роботи [7];

$\Phi_{\text{д.у.}}$ - дійсний фонд часу роботи обладнання;

q - продуктивність, т/год (табл. 1.22).

$$n = \frac{126000,286 \cdot 1,25}{5837 \cdot 0,5} = 5,4 \text{ шт}$$

З урахуванням коефіцієнта завантаження:

$$K = \frac{5,4}{0,8} = 6,75$$

Щоб задовольнити умовам нормальної роботи приймаємо 7 верстатів.

1.10. Грунтування і фарбування відливків

У масовому та крупносерійному виробництві грунтовка виконується на конвеєрі, який об'єднує всі фарбувально-сушильні агрегати (табл. 1.22 - 1.24).

Для транспортування дрібних відливок до 10 кг рекомендуються набірні касети на 2 - 8 відливок або корзини.

Таблиця 1.22

Технічна характеристика миючої машини

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, кг/хв	70
Тривалість промивки відливків ,хв	10
Температура миючої рідини, °С	90
Габаритні розміри відливків, мм	425 × 315 × 250
Ємність ванни, м ³	3,3
Швидкість руху відливків через камеру, м/хв	0,65
Потужність електродвигуна, кВт	11,4

Таблиця 1.24

Технічна характеристика прохідної фарбувальної камери

Назва характеристики	Величина
Розмір фарбованих відливок, мм довжина × ширина × висота	370×360×250
Кількість відсмоктувального повітря, Нм ³ /год	8000
Потужність, кВт	4,7
Загальна вага, кг	897

Таблиця 1.25

Технічна характеристика сушильної прохідної камери

Назва характеристики	Величина
Максимальний розмір відливків, мм довжина × ширина × висота	2700 × 800 × 500
Температура сушки, °С	90
Продуктивність камери, кВт	10,2
Загальна вага, кг	20760

1.11. Допоміжні відділення цеху.

Визначаємо площі під лабораторії й комори.

Лабораторія хімічна і спектральна 50 м²

Лабораторія механічних випробувань 36 м²

Загальна цехова комора	36 м ²
Інструментальна комора механіка, електрика	50 м ²
Інструментальна комора обрізної дільниці	36 м ²

Інструментальна ремонтна майстерня – визначаємо за допомогою таблиці [4], виходячи з кількості одиниць технологічного і підйомно-транспортного устаткування, встановленого в цеху.

Площа, яка приходить на 1 верстат 8 - 10 м², і місце слюсаря буде знаходитися в межах 4 - 6 м²[5].

Тому площу під один верстат приймаємо 8 м², а місце слюсаря 4 м².

Сумарна площа ремонтної майстерні можна визначити:

$$S_{op} = 4 \cdot 8 + 4 \cdot 4 = 48 \text{ м}^2$$

Дільниця футеровки ковшів і ремонту ковшових печей. Ковшова дільниця призначена для капітального ремонту і футеровки ковшів, а також для ремонту плавильних печей.

Для футеровки ковшів застосовують вогнетривкі матеріали. Ці матеріали зберігають на складі, а маси для футеровки готують на спеціальній дільниці підготовки ковшів. Цю дільницю найчастіше розміщують у плавильному відділенні, у тому самому прольоті, де розливають рідкий метал. Площу дільниці беруть із розрахунку 8 - 10 м² на 1000 т придатного литва на рік.

$$S_{kf} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ м}^2$$

1.12. Розрахунок складів ливарного цеху

Сумарна площа площадок під зберігання шихтових матеріалів визначається за формулою:

$$S_{\kappa} = 1,1 \cdot (S_{\text{заг ш}} + S_{\text{зд}}), \quad (1.21)$$

де 1,1 - коефіцієнт збільшення розрахункової площі площадок для обліку їх фактичного заповнення;

$S_{\text{заг ш}}, S_{\text{зд}}$ - розрахункові площі площадок для компонентів шихти, м².

Визначення площі під зберігання відповідно складових шихти визначаємо за формулою:

$$S = \frac{Q \cdot a \cdot b}{(k \cdot \Phi_e \cdot h \cdot \gamma)}, \quad (1.22)$$

де Q - річний випуск придатного литва, т;

a - норма витрат відповідного компонента шихти, % металозавалки;

b - норма зберігання даного матеріалу, діб;

k - вихід придатного литва, % металозавалки;

Φ_e - річний фонд часу роботи плавильного устаткування, діб;

h - висота зберігання компонента шихти, м;

γ - насипна маса даного матеріалу, кг/м³.

Визначаємо площу необхідну для зберігання чавуну ливарного:

$$S_1 = \frac{12000,286 \cdot 46,52 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 57,94 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу необхідну для зберігання лому сталевого:

$$S_2 = \frac{12000,286 \cdot 4,8 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 5,97 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу необхідну для зберігання лому чавуну:

$$S_3 = \frac{12000,286 \cdot 19,33 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 24,07 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу, необхідну для зберігання відходів власного виробництва.

$$S_4 = \frac{12000,286 \cdot 25,15 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 31,32 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу необхідну для зберігання феросиліцію:

$$S_5 = \frac{12000,286 \cdot 3,6 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 4,48 \text{ м}^2$$

Визначаємо площу необхідну для зберігання феромарганцю:

$$S_6 = \frac{12000,286 \cdot 0,6 \cdot 20}{70,85 \cdot 259 \cdot 3 \cdot 3,5} = 0,74 \text{ м}^2$$

Загальна площа під шихтові матеріали:

$$\sum S = 57,94 + 5,97 + 24,07 + 31,32 + 4,48 + 0,74 = 124,52 \text{ м}^2$$

Розрахункова площа під допоміжні матеріали визначається за формулою:

$$S = \frac{Q \cdot a_1 \cdot b}{(\Phi_e \cdot h \cdot \gamma)}, \quad (1.23)$$

де a_1 - норма витрат відповідного матеріалу на 1т придатного литва, т

Решта позначень та сама, що і у формулі (1.22).

Площа під флюс:

$$S_7 = \frac{12000,286 \cdot 0,1 \cdot 20}{259 \cdot 1,65 \cdot 4} = 13,99 \text{ м}^2$$

Площа під глину формувальну:

$$S_8 = \frac{12000,286 \cdot 0,1 \cdot 20}{259 \cdot 0,65 \cdot 10} = 14,25 \text{ м}^2$$

Площа під пісок формувальний:

$$S_9 = \frac{12000,286 \cdot 1,1 \cdot 20}{259 \cdot 0,67 \cdot 10} = 152,13 \text{ м}^2$$

Загальна площа площадок під допоміжні матеріали:

$$S_{\text{зод}} = S_7 + S_8 + S_9 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{зод}} = 13,99 + 14,25 + 152,13 = 180,37 \text{ м}^2$$

Корисна площа складу складає сумарну площу площадок для шихтових матеріалів та допоміжних

$$S_{\kappa} = 1,1 \times (124,52 + 180,37) = 335,37 \text{ м}^2$$

1.13. Енергетична частина

1.13.1. Річна потреба в електроенергії. Визначаємо потребу цеху в технологічній, силовій освітлювальній електроенергії по типовим нормам витрат на 1 т придатного литва [5].

Загальні витрати електроенергії по цеху складають:

$$W = W_T + W_c, \quad (1.24)$$

де W_T - річна витрата електроенергії на електропривод силових установок, кВт/рік;

W_c - річна потреба електроенергії на електропривод силових установок, кВт·рік;

Річна потреба електроенергії розраховується на основі встановленої потужності устаткування і річної кількості його роботи. Укрупнені розрахунки приводяться по питомим нормам витрати електроенергії на 1т придатного литва по формулі:

$$W_c = P_c \cdot Q_z \cdot K_w, \quad (1.25)$$

де P_c - питома витрата силової електроенергії на 1т придатного литва, кВт·рік [6];

Q_z - випуск придатних відливок, т/рік;

$K_w = 1,05$ - коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії в мережі.

$$W_c = 120 \cdot 12000,286 \cdot 1,05 = 1512036 \text{ кВт/рік}$$

Річну витрату електроенергії на технологічні потреби визначаємо по формулі:

$$W_T = P_T \cdot Q_z \cdot K_w, \quad (1.26)$$

де P_T - питома витрата технологічної електроенергії на 1т придатного литва, кВт·рік [8];

$$W_T = 420 \cdot 12000,286 \cdot 1,05 = 5292126 \text{ кВт·рік}$$

Загальні витрати електроенергії:

$$W = 1512036 + 5292126 = 6804162 \text{ кВт·рік}$$

Річна потреба в освітлювальній електроенергії визначається по формулі:

$$W_0 = 0,001 \cdot \rho \cdot F \cdot T_d \quad (1.27)$$

де ρ - середні витрати за 1 годину на 1м² площі (для виробничих відділень ливарного цеху, $\rho = 18$ Вт) [6];

F - освітлювальна площа, м²;

T_d - річне число годин освітлювального навантаження.

$$W_0 = 0,001 \cdot 18 \cdot 13824 \cdot 5615 = 1397191,68 \text{ кВт/рік}$$

1.13.2. Річна потреба цеху в воді. Вода в ливарному цеху витрачається на приготування формувальної суміші, грануляцію шлаку, охолодження дугової печі, господарчі потреби, побутові і санітарно-гігієнічні потреби. Витрати води на технічні потреби розраховуються по формулі:

$$P_T = P_v \cdot Q_{\text{річн}}, \quad (1.28)$$

де P_T - питомі витрати технологічної води на 1т придатного литва [1], м³/т.

$$P_T = 35 \cdot 12000,286 = 420010 \text{ м}^3$$

Витрати води на побутові потреби, господарсько-питні (45 л на 1 чоловіка в зміну). Тоді:

$$P_x = 45 \cdot 195 \cdot 3 = 26325 \text{ м}^3$$

Річну потребу цеху в воді визначаємо:

$$P = P_t + P_x, \quad (1.29)$$

$$P = 420010 + 26325 = 446335 \text{ м}^3$$

1.13.3. Річна потреба в стисненому повітрі. Розрахунок ведемо на 1т придатного литва по формулі:

$$Q_{ст} = P_{ст} \cdot Q_z, \quad (1.30)$$

де $P_{ст}$ - витратна стисненого повітря на 1т придатного литва, $P_{ст} = 750 \dots 850 \text{ м}^3/\text{т}$ [8].

$$Q_{ст} = 800 \cdot 12000,286 = 9600228 \text{ м}^3$$

В загальній частині кваліфікаційної роботи виконано розрахунок фондів часу обладнання та робітників, річної програми цеху, основних відділень ливарного комплексу, обґрунтовано вибір новітнього обладнання, визначені площі допоміжних відділень та складів, визначено річну потребу в електроенергії, воді, стисненому повітрі.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок

Відливок відноситься до XI класу точності за ГОСТ 26645 - 85, виготовляється із СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 [13]. На відливку не допускається наявності формувальної суміші і пригару, задири і нарости повинні бути видалені. Відливок повинен бути очищений до блискучого металу. Перекіс по лінії роз'єму ливарної форми не допускається.

Допускається: на оброблювальних поверхнях одиничні раковини 5 мм, глибиною 2 мм в кількості 5 шт; нарости не більше 1,5 мм площі не більше 6 см; пригар в важкодоступних для очистки місцях; заливи по лінії роз'єму та на стику стержнів в важкодоступних місцях.

Вказані вище дефекти дозволяється виправляти зварюванням з подальшою очисткою. Інші технічні вимоги за ГОСТ 232470-77.

Деталь "Кришка задня PVH2 7" представляє собою корпусну деталь в яка використовується для виконання ремонтного обслуговування гідравравлічного насосу. Маса деталі 12,91 кг, габаритні розміри 219 × 200 × 74 мм, твердість 170...240 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал, отвори. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішні поверхня відливка представляє собою прямокутні та циліндричні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має три стержня, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

2.2.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.

Для виготовлення відливка "Кришка задня PVH2 7" застосовуємо безопочну формувальну лінію DISAMATCH на базі автомата FBO IV. На цій лінії весь процес отримання відливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір кому в світлі 700×600 мм. Висота верхньої кому рівна висоті нижньої - 180 мм. Модельна плита двостороння, на плиті змонтовані частини моделі та ливникова система для оформлення нижньої та верхньої напівформи.

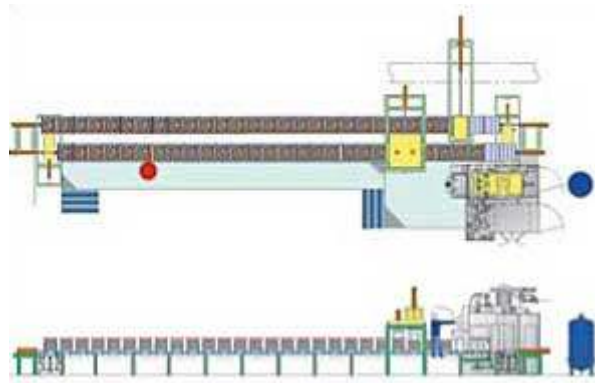


Рисунок 2.1 - Загальний вид автоматичної лінії DISAMATCH

Принцип роботи автоматичної лінії DISAMATCH слідує: у початковому положенні верхня і нижня півформи відкриті. Модельна плита розташовується ліворуч позаду в стані готовності. На першому етапі модельна плита, переміщуючись між верхньої і нижньої напівформами, рухається нагору в напрямку нерухомої верхньої півформи, за модельною плитою рухається нижня напівформа. Розташування вертикального ливника уздовж поверхні форми може вибиратися будь-яким. Як уже було описано раніше, напівформи закриваються за допомогою двох центрованих напрямних колон. Потім інтегрована система упорскування камери зволожує поверхні двох закритих камер форми, щоб знизити зношування і спростити наступне виштовхування моделі.

Після закриття система повертається назад на 90° . Щілини для надуву суміші у верхню і нижню напівформи примикають безпосередньо до двох отворів у бункері для формувальної суміші. Потім здійснюється впорскування і пресування

формувальної суміші, відповідно до заданого процесу DISAMATCH, під час якого пресування контролюється з використанням системи, яка добре зарекомендувала себе.

Після пресування система повертається в початкове положення, у якому модель знімається з верхньої напівформи. У ході цього процесу модельна плита і нижня напівформа опускаються гідросистемою для розділення (із заздалегідь заданими прискоренням, швидкістю і на задану відстань). Після того, як модельна плита (МП) досягне свого початкового положення, нижня напівформа відділяється від неї – технологічні параметри задані для процесу вилучення. Жорстка конструкція формувальної машини і внутрішньокамерна система впорскування забезпечують якісне відділення. Тепер модельна плита вертається в позицію готовності, після цього стержень може бути встановлений у форму у відкриту нижню напівформу, яка перебуває на оптимально ергономічній висоті від підлоги в 900 мм, як вручну, так і автоматичним простановщиком стержнів (CSE).

Під час установки стержнів простановщик переміщається в машині на позицію над нижньої напівформою і зупиняється. Нижня напівформа рухається до простановщика для введення стержня. Підтримка вакууму в простановщику припиняється для того, щоб стержень міг бути розміщений точно у формі. Потім нижня напівформа вертається у вихідне положення, і простановщик виводиться з машини. Тепер шлях для нижньої напівформи вільний, і вона може переміщатися до нерухомої верхньої напівформи зі швидкістю, яка індивідуально задається, і дві напівформи з'єднуються. Повна форма видавлюється із системи нижньої і верхньої напівформ (по заданих параметрах), виводиться з машини і транспортується на палету. Потім робочий цикл повторюється. Для економії часу деякі фази робочого циклу можуть проводитися паралельно.

Під формувальною лінією розміщені стрічкові конвеєри для збору суміші, які транспортують суміш до вибивної решітки. Далі нахилений конвеєр підіймає суміш на рівень іншого стрічкового конвеєра, що подає її на полігональне сито. Після просіювання суміш збирається в проміжний бункер, який розміщено знизу. Із проміжного бункера суміш за допомогою реверсивного стрічкового конвеєра

подається до охолоджувача суміші, де проходить її охолодження приблизно до $+20^{\circ}\text{C}$. Вологість та температура суміші контролюється за допомогою датчиків. Вміст вологи суміші на виході не повинен перебільшувати 2...3 % [14]. Далі стрічковий конвеєр транспортує охолоджену суміш до бункера на зберігання. Перед подачею суміші на змішувач, вона зволожується до потрібного рівня та зважується. Після змішування суміш транспортується до бункера перед формувальними автоматами. Усі стрічкові конвеєри оснащені аварійними тросами, містками та захисними ковпаками.

Оскільки маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх виготовлення використовуємо стержньовий піскострільний автомат з горизонтальним роз'ємом ящика моделі 4758Б2К1.

Стержні виготовляються у холодних ящиках з швидкотвердіючих сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

Втрати температури сплаву СЧ20 при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сплаву СЧ20 з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40 $^{\circ}\text{C}$, а при переливі з ковша в ківш - 30...50 $^{\circ}\text{C}$.

Рекомендована температура заливки сплаву СЧ20 при середній товщині стінки відливки 23 мм і з врахуванням втрат тепла складають 1320 – 1380 $^{\circ}\text{C}$ [15].

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, відливки охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у відливці закінчуються усі перетворення. Відливки із сплаву СЧ20 необхідно вибивати при температурі 200 $^{\circ}\text{C}$.

Відливки потрапляють в барабан для остаточного відділення від суміші. Із барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

Перед очищенням відливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення відливка складається із наступних операцій:

- видалення стержнів із відливків;
- відділення ливників, випарів;
- очищення відливків від прилиплої формувальної суміші;
- остаточного контролю якості відливків після очищення і обрубки.

Відливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання відливків здійснюється на стаціонарних обдирочнозачисних станках.

Контроль якості відливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Грунтовка відливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки.

Відливки перед фарбуванням промиваються в мийній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка відливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °C на протязі 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

2.2.2. Визначення положення відливка у формі. Положення відливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, так як оброблювані циліндричні поверхні – посадочні місця повинні бути розташовані вертикально, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного відливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що відливок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує

хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

2.2.3. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сплаву СЧ20 вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 3 - 4 мм [4].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для сплаву СЧ20 знаходиться у межах 0,6 - 1,3 % [16].

Для середніх відливків ливарна усадка рівна 0,8 - 0,9 %. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах 3...6 мм [17].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі, не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-80. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [4]. Для даного відливка, величина ухилу складає 1° ... 2° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку. Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [16]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо горизонтальні знаки стержнів довжиною 35 мм [4].

Величину ухилів та зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [4]. Для горизонтального знака $\alpha = 10^{\circ}$, $\beta = 15^{\circ}$, $S_1 = 0,3$ мм, $S_2 = 0,5$ мм, $S_3 = 0,45$ мм, а для вертикального $\alpha = 7^{\circ}$, $\beta = 10^{\circ}$, $\alpha_1 = 3^{\circ}$, $S_1 = 0,5$ мм, $S_2 = 0,6$ мм, $S_3 = 0,75$ мм.

2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1. Визначення габаритних розмірів кому. Габарити кому визначаються габаритами відливка, числом відливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах 0,25...1,2.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3...0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху кому та від моделі до низу кому. При формовці декількох відливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20...25$ мм [4]. Відстань від тіла відливка до стінок кому складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки кому 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [4]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію DISAMATCH, з розмірами кому $700 \times 600 \times 180$ мм приймаємо кількість відливків отримуємо в одній опоці рівним 6 шт.

2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [13]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

де S_1 - коефіцієнт, $S_1 = 0,9$ [17];

δ - середня товщина стінок відливка, $\delta = 23$ мм;

C_1 - вага одного відливка з ливниковою системою, кг.

$$C_1 = C_g + 0,4 \cdot C_g \quad (2.2)$$

$$C_1 = 12,91 + 0,4 \cdot 12,91 = 18,07 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 0,9 \cdot \sqrt[3]{38 \cdot 18,07} = 7,94 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C - висота відливка, мм;

t - оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{74}{7,94} = 9,32 \text{ мм/сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [14].

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_{ж} = \frac{G \cdot 1000}{\mu t \gamma \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.4)$$

де G - вага одного відливка, з ливниками і т.п., кг;

μ - коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,75$ [13];

g - прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p - середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{C}, \quad (2.5)$$

де H_0 - висота металу в чаші, $H_0 = 180$ мм;

p - висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 34$ мм;

C - загальна висота відливка, $c = 68$ мм.

$$H_p = 180 - \frac{36^2}{74} = 163 \text{ мм} = 16,2 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{18,07}{0,75 \cdot 9,32 \cdot 7100 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,162}} = 0,000204 \text{ м}^2 = 2,04 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника - трапеція за вимогами [4]. Уточнена сумарна площа живильника для однієї відливки становить $\sum F_{жс} = 2,2$ см².

Загальна площа живильників для 6 відливків складає :

$$\sum_{від} F_{жс} = 6 \sum F_{жс} = 2,2 \cdot 6 = 13,2 \text{ см}^2$$

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{см} = 1 : 1,1 : 1,5 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,1 = 2,2 \cdot 1,1 = 2,42 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу шлаковловлювача - за вимогами [4]. Уточнена сумарна площа шлаковловлювача для однієї відливки становить $\sum F_{жс} = 2,5 \text{ см}^2$.

Загальна площа шлаковловлювача для 6 відливків складає:

$$\sum_{від} F_{ш} = 6 \sum F_{ш} = 2,5 \cdot 6 = 15 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{ст} = \sum F_{ш} \cdot 1,5 \quad (2.7)$$

$$F_{ст} = 2,2 \cdot 1,5 = 3,3 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу стояка - коло за виробничими вимогами.

Загальна площа стояка для 6 відливків складає:

$$\sum_{від} F_{ш} = 6 \sum F_{ш} = 3,3 \cdot 6 = 19,8 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 19,8}{3,14}} = 5 \text{ см}$$

Приймаємо $d_{cm} = 50 \text{ мм}$.

Визначимо діаметр чаші для одного відливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm} \quad (2.10)$$

$$D = 2,7 \cdot 5 = 135 \text{ мм}$$

2.4. Опис технологічного процесу виготовлення відливка

2.4.1. Вибір формувальної та стержньової суміші. У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш.

На автоматичній лінії DISAMATCH використовується формівна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у табл. 1.16, 1.18.

2.4.2. Формовка. Напівформи одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми, постановка стержнів і деякі інші. Процес виготовлення напівформ іде таким шляхом: формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Нижню і верхню напівформи виготовляють на одній машині. Потім за допомогою дозатора з бункера формівна суміш подається у формувальну машину в якій проходить формування нижнього і верхнього кому. Далі суміш ущільнюють, готовий ком кантують, направляють на конвеєр, встановлюють жакет і навантажують. Потім готову форму транспортують на заливку.

2.4.3. Збирання форм. Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) кантування верхнього і нижнього кому;
- 2) постановка стержнів в нижньому комі;
- 3) спарювання верхнього та нижнього кому.

2.4.4. Заливка форм. Температура сплаву СЧ20 при заливці повинна бути 1320 - 1380 °С. Заливка виконується при русі кому. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш конічного типу ємністю 1т, який транспортується краном. З цього ковша гарячий метал розливається безпосередньо в заливочний стаціонарний пристрій, встановлений на спеціальному стенді.

Для заливки металу в форму використовують конусні ковші ємністю 500 кг, які встановлені на заливочному стаціонарному пристрої. Перед заливкою металу в форму видаляють шлак. Під час заливки заливочний стаціонарний пристрій нахиляють і встановлюють носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150 - 200 мм. При заливці необхідно швидко заповнити рідким металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється - 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми.

2.4.5. Вибивка і обрубка. Після закінчення заливки форм, та по закінченні часу охолодження, ливарна форма переміщується відповідним пристроєм на вибивку, знімається жакет, після чого ком з відливками прошовується до вібраційного столу. На столі під дією вібрації проходить руйнування кому суміші. Вибивний конвеєр транспортує відливки та формувальну суміш до охолоджувального барабану для подальшого охолодження, попередньої очистки та відділення відливоків від відпрацьованої суміші.

Потім відливки поступають в дробометні барабани де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

Далі вони поступають на дільниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделей і відливок, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка – 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри кому. Таким чином промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 50 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плиті виконується за допомогою монтажного шаблона, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [4].

Модельна плита може виготовлятися із чавуну або сталі. Товщина плити складає 25...50 мм так як вона повинна витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плити повинна бути оброблена. На підготовлену плиту накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються

отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердяться одночасно і в плиті і в моделі. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей устаноується ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а верху - моделі шлаковловлювачів.

Для виготовлення стержнів пікострільним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [16]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [16] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9, \quad (2.11)$$

де $F_{\text{вент}}$ - сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ - сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

В технологічній частині дипломного проекту розроблена технологія виготовлення відливка "Кришка задня PVH2 7", виконано аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок, розроблено технологічний процес виготовлення відливка, розраховано і сконструйовано ливникову систему, описано технологічні процеси виготовлення відливка, проектування ливарної оснастки, контролю якості відливоків.

2.6. Охорона праці при литті сірого чавуну

До самостійного виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, атестацію з видачею посвідчення. Повторна перевірка знань правил охорони праці, та пожежної безпеки проводиться один раз на рік. Перевірка знань технічній експлуатації - один раз на два роки. Добре вивчіть та виконуйте вимоги охорони праці під час виконання дорученої роботи - цим збережете себе та оточуючих від нещасного випадку.

Суворо виконуйте правила внутрішнього розпорядку, встановленого на підприємстві:

Приступайте до дорученої роботи за умови, що безпечні способи виконання її вам відомі. У сумнівних випадках звертайтеся до майстра за роз'ясненнями; тримайте своє робоче місце, обладнання, інструмент, пристосування, спец. одяг в чистому і справному стані.

Дотримуйтесь правила жетонної системи при отриманні та зберіганні апаратури, інструменту, пристосувань, курите тільки у відведеному для цього місці.

Робітники, які беруть участь у виплавці чавуну, забезпечуються:

- бавовняними костюмами з вогнестійким просоченням; шкіряними черевиками по ГОСТ 12.4 032-77; брезентовими рукавицями за ГОСТ 535-75;
- захисними касками по ГОСТ 12.4 087-84; захисними окулярами типу ЗН8-72 за ГОСТ 12.4 013-97; респіраторами ЩБ-1 типу "Пелюсток" за ГОСТ 12.4 028-76 або шланговими дихальними апаратами типу РПГ-67 по ГОСТ 12.4 004-74.

Норми видачі спец. одягу повинні відповідати "Галузевим нормам безкоштовної видачі спец. одягу, спец. взуття та інших засобів індивідуального захисту робітникам і службовцям".

В разі отримання травми, навіть незначної, припиніть роботу, негайно повідомте про те, що трапилося майстру і зверніться до лікаря.

Працюйте чистими, без слідів мастила руками і в чистому спец. одязі.

Не застосовуйте кисень для очищення одягу від пилу і бруду, так як кисень сприяє інтенсивному займанню його при попаданні іскор або наявності слідів мастила.

Дотримуйтесь чистоти і порядку на своєму робочому місці і в шафі для інструментів.

За порушення вимог цієї інструкції винні притягуються до відповідальності у встановленому законом порядку.

– Правила безпеки перед початком роботи.

Отримавши від майстра виробниче завдання і свій жетон, візьміть по ньому з комори зберігання закріплену за вами справну апаратуру, а жетон віддайте налагоджувальникові.

Перевірте справність і доброякісність спец. одягу, запобіжних засобів (окуляри, респіратор, страхувальний пояс та ін.)

Наведіть порядок в своєму спец. одязі: куртки та штани надіньте на випуск, кишені закрийте клапанами, черевики зашнуруйте, застібніть або підв'яжіть

вилоти рукавів, при потенційній небезпеці травмування голови надіньте захисну каску.

Огляньте своє робоче місце, звільніть від зайвих, що заважають роботі предметів та легкозаймистих і токсичних матеріалів. Перевірте наявність протипожежних засобів: вогнегасника, азбестового полотна, відра з водою, пожежного ящика, рукави з різком.

Застосовуйте гумові рукава по ГОСТ 9356-75 клас 1 - для подачі горючих газів; клас 2 - для подачі рідкого палива; клас 3 - для подачі кисню. Забороняється рукави для горючих газів використовувати для подачі кисню.

Переконайтеся у справності вентиляції та інтенсивності повітрообміну.

Перевірте готовність конструкції до виконання робіт, приберіть заважаючі роботі непотрібні предмети, звільніть проходи, переконайтеся в безпеці проведення робіт.

У роботі необхідно керуватися "Правилами пожежної безпеки ППБ 01-03" від 30.06.2003г.

– Правила безпеки під час роботи.

Роботи виконуйте в суворій відповідності з вимогами технологічної документацією. Виконуйте роботу в спец. одязі із застосуванням індивідуальних засобів захисту органів дихання і слуху; застосовуйте справний інструмент і пристосування.

Балони з киснем переміщайте на спеціальних пересувних візках, ношах або на ресорних транспортних засобах, застосовуючи в якості пом'якшуючих прокладок гумові або мотузкові кільця товщиною 25 мм по два на кожен балон.

При багаторядному перевезенні балонів застосовуйте дерев'яні прокладки між рядами, при цьому висота перевезених балонів не повинна перевищувати висоти кузова транспортного засобу.

У виняткових випадках, при спільному перевезенні балонів з киснем, виконуйте такі вимоги: одночасно перевозьте сумарно не більше 10 балонів, покладених в 1 ряд; очистіть балони від слідів мастил та бруду; перевірте герметичність вентилів, наявність і надійність закріплення запобіжних ковпаків;

укладайте балони поперек кузова транспортного засобу запобіжними ковпаками в одну сторону і при необхідності розкріпачити їх.

Не допускайте при завантаженні та розвантаженні балонів їх скидання і ударів один про одного, а також розвантаження вниз вентилями.

Для уникнення випадкових падінь балонів на робочому місці закріпіть в спеціальній стійці або на візку.

Виключіть будь-яку можливість потрапляння жирів і мастил на кисневу апаратуру.

При роботі біля печі закривайте балони екраном з асботкані або брезенту, що не допускайте нагрівання вище 35 °С.

Встановлюйте балони не ближче 15 м від печей та інших джерел тепла з відкритим вогнем.

В другому розділі кваліфікаційної роботи приведено аналіз конструкції деталі "Кришка задня PVH2 7", розроблені технічні умови на відливки та технологія виготовлення відливка, виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості відливків, охорону праці при литті сірого чавуну.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Джерела низькопотенційної теплової енергії

Джерелом низькопотенційної теплової енергії може бути тепло як природного, так і штучного походження (табл. 3.1) [17].

Таблиця 3.1

Джерела низькопотенційного тепла

Техногенні системи	Джерела природного походження
Промислові підприємства: теплота стиснення газів в компресорах; теплота продуктів згорання різного роду палива	Геотермальні джерела (енергія Землі)
Системи водяного охолодження, стоки промислових підприємств і очисних споруд (теплота рідини)	Сонячні колектори, сонячні концентратори (енергія Сонця)
Біогазові установки, газогенераторні установки, піролізу (теплота згорання палива, згенерованого в цих установках)	Космічні сонячні батареї (енергія Сонця)
Теплові рушії транспортних засобів (теплота вихлопних газів)	Наземні сонячні енергоустановки (енергія Сонця)
Нафтопереробні заводи, наприклад в Капотні (теплота згорання попутного газу)	
Космічні об'єкти (теплові втрати обладнання)	
Птахофабрики, скотоферми і т. д. (Енергія біологічного палива)	
Лісопереробні підприємства (енергія спалювання відходів)	

Скидаємо низькопотенційне тепло, яке одержано у виробничих процесах різних галузей промисловості в результаті споживання і перетворення теплової енергії, як правило, не утилізується. Використання цього тепла можливо в кількох напрямках, одним з яких є вдосконалення теплової схеми відповідного виробництва або комбінування різних виробництв.

Низькопотенційне тепло технологічних потоків може бути використано для теплофікації приміщень. Кількості тепла, яка міститься в скидаємих теплових потоках, з надлишком вистачає для забезпечення потреб опалення та вентиляції виробництва (дільниці, цеху, заводу). Аналіз зміни температури мережної теплофікаційної води від ТЕЦ для виробництва, показує, що при температурах навколишнього середовища мінус 12 °С необхідна температура води в трубопроводі для опалення приміщень повинна не перевищувати 110 °С. Це означає, що пародистилатне тепло установок АТ і АВТ можна використовувати для вироблення теплофікаційної води при температурі навколишнього середовища до мінус 12 °С.

Запаси низькопотенційного тепла (НПТ) величезні. Їх економічний потенціал, тобто величина енергії, отримання якої з даного виду ресурсу в даний час виправдано економічно, рівна 31,5 млн т/рік умовного палива навіть без урахування НПТ відхідних газів енергетичних і технологічних установок [17].

Ресурси низькопотенційного тепла значні, так як на переробку 1 т нафти витрачається 0,84 - 1,26 ГДж тепла пари і гарячої води, а чим більше витрата первинної теплової енергії, тим більше тепла скидається [18]. Крім теплоспоживання на вихід низькопотенційного тепла впливають температура і тиск вихідної пари, структура споживання пари, ефективність роботи конденсатовідвідників, кількість повертаемого конденсату.

Таким чином відведення низькопотенційного тепла з системи нераціонально з погляду прямих енергетичних втрат і через додаткові енергетичні витрати, пов'язані з необхідністю зниження температурного рівня скидаемого тепла.

При утилізації низькопотенційного тепла, подібні технічні рішення виключаються внаслідок невеликого температурного напору, однак, теплообмінники на базі термосифонних елементів можуть успішно застосовуватися і при низьких температурах.

Проблема використання низькопотенційного тепла відхідних газів в сучасних повітропідігрівниках ще не вирішена, оскільки інтенсивність процесів

теплообміну низька. Коефіцієнт теплообміну практично рідко перевищує 23 - 45 Вт/м [19].

Вірогідна величина витрат низькопотенційного тепла на промислові і побутові складає приблизно 20 - 30 % від загальних витрат тепла, тому бажано проводити утилізацію такої кількості тепла комбінованим способом.

До способів утилізації низькопотенційного тепла із застосуванням проміжних схем і пристроїв відноситься утилізація за допомогою теплових насосів і абсорбційних холодильних машин.

3.2. Утилізація низькопотенційного тепла, яка базується на використанні теплових насосів

Тепловий насос - термодинамічна установка, в якій теплота від низькопотенційного джерела передається споживачеві при більш високій температурі. При цьому витрачається механічна енергія.

Теплові, енергетичні та економічні характеристики теплових насосів тісно взаємопов'язані з характеристиками джерел, з яких насоси беруть тепло. Ідеальне джерело тепла повинно давати стабільну високу температуру протягом опалювального сезону, не бути корозійним і забруднюючим, мати сприятливі теплофізичні характеристики, не вимагати істотних інвестицій і витрат на обслуговування. У більшості випадків наявне джерело тепла є ключовим чинником, що визначає експлуатаційні характеристики теплового насоса.

В якості джерел тепла в невеликих системах на базі теплових насосів широко використовуються зовнішнє повітря, ґрунт і підґрунтова вода, для систем великої потужності застосовується морська, озерна і річкова вода, геотермічні джерела та ґрунтові води.

На момент початку застосування теплові насоси використовувалися в першу чергу для кондиціонування (охолодження) повітря. Такі системи були здатні також забезпечити певну опалювальну потужність, більшою чи меншою мірою задовольнити потреби в теплі в зимовий період. Однак характеристики цього

обладнання стрімко змінювалися: зараз у багатьох країнах Європи теплові насоси використовуються в опаленні та ГВС. Такий стан справ пов'язаний з впровадженням екологічно безпечних технологій: замість традиційного спалювання викопного палива - використання альтернативних джерел енергії, наприклад, сонячної.

Застосовують декілька різних варіантів класифікації теплових насосів. На нашу думку слід обмежитися поділом систем по їх оперативним функціям:

- теплові насоси тільки для опалення та/або гарячого водопостачання, які використовуються для забезпечення комфортної температури в приміщенні і/або підігрівання санітарної води;
- інтегровані системи на основі теплових насосів, які забезпечують опалення приміщень, охолодження, підігрівання санітарної води і іноді утилізацію повітря, яке відводиться.

Підігрів води може здійснюватися або відбором тепла перегріву подаваного газу з компресора, або комбінацією відбору тепла перегріву і використання регенерованого тепла конденсатора.

Теплові насоси, призначені виключно для приготування гарячої санітарної води, найчастіше в якості джерела тепла використовують повітря середовища, але також можуть використовувати повітря, яке відводиться.

Слід зазначити, що поступово збільшується пропозиція теплових насосів класу реверсивні "повітря-вода", найчастіше поставляються в комплекті з розширювальним баком і насосним агрегатом. За окремим замовленням постачається накопичувальний резервуар. Такі теплові насоси можна врізати безпосередньо в існуючі водопровідні системи.

3.2.1. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які використовують в якості джерела тепла - зовнішнє повітря. Зовнішнє повітря, будучи абсолютно безкоштовним і загальнодоступним, є джерелом тепла якому найбільше віддається перевага. Проте теплові насоси, які застосовують саме повітря, мають чинник сезонного навантаження (SPF) в середньому нижче на 10 - 30 % порівняно з водяними тепловими насосами [20].

Це пояснюється наступними обставинами:

- швидким зниженням потужності і продуктивності з падінням зовнішньої температури;
- відносно великою різницею температур конденсації і випаровування в період мінімальних зимових температур, що в цілому знижує ефективність процесу;
- енерговитратами на розморожування випарної батареї і функціонування відповідних вентиляторів.

В умовах теплого і вологого клімату на поверхні випарника в діапазоні від 0 до 6 °C утворюється паморозь, яка веде до зниження потужності і продуктивності теплового насоса. Іній зменшує площу вільної поверхні і перешкоджає проходженню повітря. Як наслідок, знижується температура випаровування, що у свою чергу, сприяє наростанню інію та подальшого неухильного зниження продуктивності аж до можливого повної зупинки агрегату через спрацювання контрольного датчика низького тиску, якщо з першу не буде усунуто обледеніння.

Розморожування батареї здійснюється шляхом інверсії охолоджуючого циклу або іншими, хоча і менш ефективними способами. Енергоспоживання має тенденцію до зростання. Загальний коефіцієнт продуктивності таких систем скорочується зі збільшенням частоти розморожування. Застосування спеціальної системи контролю, яка забезпечує розморожування на вимогу (тобто коли воно фактично необхідно), а не періодичне, може істотно підвищити загальну ефективність.

Ще одне джерело тепла в житлових і торгово-адміністративних спорудах – вентиляційне повітря, яке відводиться. Тепловий насос регенерує тепло з повітря, яке відводиться, і забезпечує отримання гарячої води або теплого повітря для опалення приміщень. У цьому випадку, однак, потрібне постійне вентилявання протягом всього опалювального сезону або навіть цілого року, якщо передбачено кондиціонування приміщень в літній період. Існують апарати, в яких конструктивно закладена можливість використання і відведеного вентиляційного, і зовнішнього повітря. У деяких випадках теплові насоси, які застосовують повітря,

яке відводиться, застосовуються в комбінації з рекуператорами "повітря-повітря" [21].

Повітря, як універсальний теплоносіє, використовується у великих установках цілорічного кондиціонування. Воно має низьке значення коефіцієнтів тепловіддачі, тому для зменшення поверхні випарника доводиться знижувати температуру кипіння робочого тіла, внаслідок цього зменшується ступінь досконалості теплонасосної установки. Дані випробування таких установок, які використовують повітря як джерело тепла, свідчать про те, що середній коефіцієнт η за опалювальний сезон не перевищує 2 - 2,5. У періоди пікових навантажень, тобто при епізодично низьких температурах зовнішнього повітря, включають запасні електронагрівачі. Найкращим методом боротьби з інієм є його автоматичне відтаювання, яке проводиться періодично.

3.2.2. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які використовують в якості джерела тепла - тепло води. Найбільш доцільне застосування в системах утилізації низькопотенційного тепла відходів теплої води промислових підприємств, у тому числі циркуляційної води теплових електростанцій та ін. Крім того, можливо використовувати також природні гарячі джерела в курортних місцевостях.

Підґрунтові води є в багатьох місцях, вони мають досить стабільну температуру в діапазоні від 4 до 10 °С. Для використання води як джерела тепла застосовуються, головним чином, відкриті системи: підґрунтова вода відкачується і подається на теплообмінник системного агрегату, де у води відбирається частина тепла, яка міститься в ній. Вода, охолоджена таким чином, відводиться в зливний колодязь або у поверхневі води. Відкриті системи вимагають найретельнішого проектування з метою запобігання проблем із замерзанням, корозією і накопиченням відкладень.

Великим недоліком теплових насосів, які працюють на підґрунтових водах, є висока вартість робіт з монтажу водозабору. Крім того, слід враховувати вимоги, часом досить жорсткі, місцевих адміністрацій в питаннях організації стічних вод.

Річкова і озерна вода з теоретичної точки зору представляється вельми привабливим джерелом тепла, але має один істотний недолік - надзвичайно низьку температуру в зимовий період (вона може наближатися до 0°C). Якщо використовуються вода річок, озер і морів, то в зимовий період вона може замерзати на стінках випарника. З цієї причини потрібна особлива увага при проектуванні системи з метою запобігання заморожування випарника.

Морська вода є в деяких випадках відмінним джерелом тепла і використовується в основному в середніх і великих системах. На глибині від 25 до 50 м морська вода має постійну температуру в діапазоні від 5 до 8°C . І, як правило, проблем з утворенням льоду не виникає, оскільки точка замерзання тут від мінус 2 до мінус 10°C . Є можливість використовувати як системи прямого розширення, так і системи з розсолем. Важливо лише використовувати теплообмінники та насосні агрегати, стійкі до впливу корозії, і запобігати накопиченню відкладень органічного характеру в водозабірному трубопроводі, теплообмінниках, випарниках та ін.

Грунтовим водам властива відносно висока і стабільна протягом року температура. Основні обмеження - відстань транспортування і фактичні ресурси, об'єм яких може змінюватися. Прикладами можливих джерел тепла в даній категорії носіїв можна вважати ґрунтові води на каналізаційних ділянках (очисні та інші водостоки), промислові водостоки, водостоки ділянок охолодження промислових конденсаторів або виробництва електроенергії.

При використанні в якості джерела тепла води озера або річки контур укладається на дно. Цей варіант є ідеальним з будь-якої точки зору - «висока» температура навколишнього середовища (температура води у водоймі взимку завжди вище нуля градусів), короткий зовнішній контур, високий коефіцієнт перетворення енергії тепловим насосом [22].

На 1 метр трубопроводу припадає орієнтовно 30 Вт теплової потужності. Таким чином, для установки теплового насоса продуктивністю 10 кВт необхідно встановити в озеро контур довжиною 300 метрів. Для того, щоб трубопровід не

спливав, необхідно встановити близько 5 кг вантажу на 1 погонний метр трубопроводу.

3.2.3. Системи утилізації низькопотенційного тепла, які використовують в якості джерела тепла - ґрунт. Ґрунт застосовують в якості природного джерела тепла для зимового опалення та річного кондиціонування. Змійовики випарника закладають в ґрунт, причому вигідно використовують його зонну акумулюючої здатності. За практичним даним, коефіцієнт m становить від 2,2 до 3,2 в залежності від зовнішніх умов [23]. Величина теплопередачі в ґрунті головним чином залежать від його вологості.

Теплові насоси, які використовують ґрунт як джерело тепла, застосовуються для обслуговування житлових і торгово-адміністративних споруд. Ґрунт, як і підґрунтові води, має одну перевагу - відносно стабільну протягом року температуру. Тепло відбирається трубами, які встановлені в землі горизонтально або вертикально (спіралеподібно). Можуть використовуватися: системи прямого розширення з охолоджувальною рідиною, яка випаровується по мірі циркуляції в контурі трубопроводу, заглибленого в ґрунт; системи з роп'яною рідиною, яка прокачується по трубопроводу, заглиблених у ґрунт [24].

В цілому, теплові насоси з роп'яною рідиною, мають більш низьку продуктивність у порівнянні з агрегатами першого типу в силу того, що в них відбувається "подвійний" теплообмін (ґрунт - ропа, ропа - холодоагент) і збільшенні енерговитрати на забезпечення роботи циркуляції ропи, хоча обслуговувати такі системи істотно простіше.

Теплова ємність ґрунту варіюється залежно від його вологості і загальних кліматичних умов конкретної місцевості. В силу виробленого відбору тепла під час опалювального сезону його температура знижується.

В умовах холодного клімату велика частина енергії відводиться у формі латентного тепла, коли ґрунт промерзає. У літній період під дією сонця температура ґрунту знову піднімається, і з'являється можливість повернутися до первинних умов. Діючі за таким принципом теплові насоси зазвичай називають

геотермічними, що по суті своїй невірно, оскільки тут не задіяні радіогенне тепло землі, яке міститься в глибинних скелястих породах.

Геотермічними джерелами можливо користуватися в регіонах, де підґрунтових вод мало або немає зовсім. Тоді потрібно пробурити колодязі глибиною від 100 до 200 м. У разі якщо потрібно забезпечити високу теплову потужність, колодязі буряться під певним нахилом таким чином, щоб добратися і впертися у великий скельний масив. Для таких теплових насосів також застосовується роп'яна рідина і пластмасовий зварний трубопровід, який видобуває тепло з скелі. У деяких системах скельна порода використовується для акумулювання тепла або отримання енергії. Через високу вартість бурових робіт скельні породи для обслуговування житлового сектора застосовуються досить рідко.

При використанні в якості джерела тепла скелястої породи трубопровід опускається в свердловину. Можна пробурити декілька не глибоких свердловин - це, можливо, обійдеться дешевше, ніж одна глибока. Головне - отримати загальну розрахункову глибину.

Для попередніх розрахунків використовується наступне співвідношення - 50 - 60 Вт теплової енергії на 1 метр свердловини [25]. Тобто, для установки теплового насоса продуктивністю 10 кВт необхідна свердловина глибиною 170 метрів.

При укладанні контуру в землю бажано використовувати ділянку з вологим ґрунтом, найкраще з близькими ґрунтовими водами. Використання сухого ґрунту теж можливо, але це призводить до збільшення довжини контуру. Трубопровід повинен бути закладений на глибину приблизно 1 м, відстань між сусідніми трубопроводами - приблизно 0,8 - 1,0 м.

Питома теплова потужності трубопроводу, покладеного в землю - 20 - 30 Вт/м. Тобто для встановлення теплового насоса продуктивністю 10 кВт достатньо 350 - 450 м теплового контуру, для чого вистачить ділянки $20 \times 20 \text{ м}^2$.

Спеціальної підготовки ґрунту не потрібно, при правильному розрахунку трубопровід не впливає на оточуюче середовище.

3.3. Утилізація низькопотенційного тепла заснована на використанні абсорбційних холодильних установок та трансформаторів тепла

Важливим напрямком утилізації низькопотенційного тепла є вироблення холоду за допомогою абсорбційних холодильних установок [26].

Найбільш перспективним є використання низькопотенційного тепла для виробництва холоду з подальшим використанням його для охолодження оборотної води після градирень (рис. 3.1).

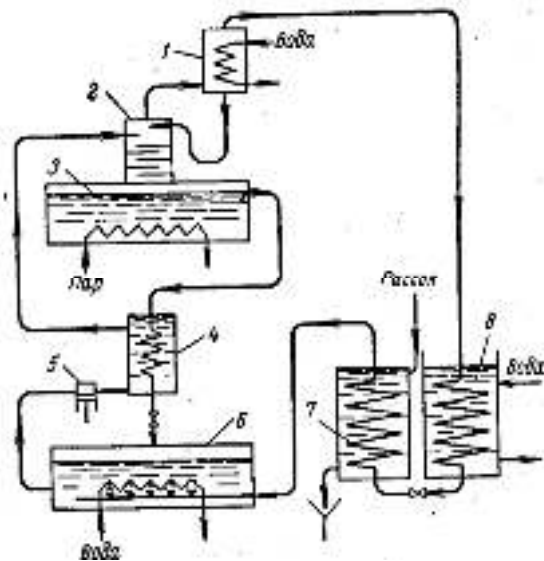


Рисунок 3.1 - Схема аміачно-адсорбційної установки термохімічної трансформації тепла

Недолік звичайного парокомпресійного циклу в сенсі використання його для отримання низькопотенційного тепла полягає в тому, що частина тепла, яка може бути використана для підігрівання, мала в порівнянні з теплом конденсації. Тільки для високих температур конденсації і низьких температур випаровування це відношення порівняно велике і досягає приблизно 1/5 частини всього тепла, яке відбирається в конденсаторі.

Технологія трансформаторів тепла заснована на перетворенні низькопотенційного тепла в високопотенційний теплоносій або охолоджуючий низькотемпературний агент за допомогою хімічної енергії молекулярних зв'язків [18]. Подібно до того, як в електричних трансформаторах напруга електричного струму перетворюється за допомогою іншого виду енергії - електромагнітної, в

термохімічних трансформаторах тепла проміжним видом енергії є хімічна (рис. 3.2).

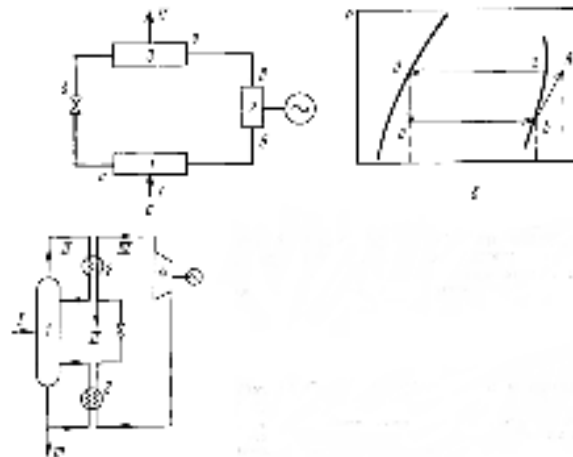


Рисунок 3.2 - Схема (а) $P-i$ – діаграма (б) роботи компресійного теплового насоса, схема ректифікації з компресійним тепловим насосом

На рис. 3.3 наведена одна з модифікацій схеми Харитонова - підвищувальний трансформатор тепла з виробленням водяної пари.

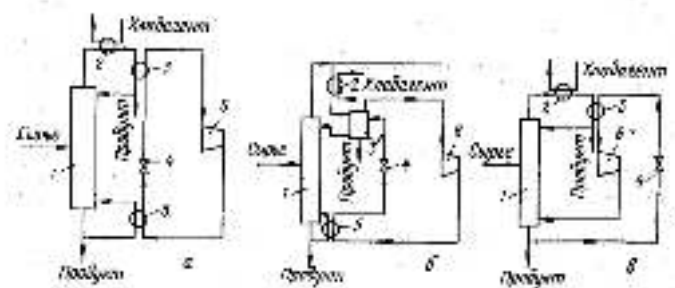


Рисунок 3.3 - Варіанти схем установок перегонки с тепловими насосами:

а - при стискуванні парів робочого тіла; б - при стискуванні парів верхнього продукту і випарів рідини в кип'ятильник; в - при випаровуванні і стискуванні парів нижнього продукту.

Робочим тілом трансформатора може бути, наприклад, розчин моногідрату амонію у воді. На відміну від компресійних схем, в яких пари аміаку стискаються компресором, в струменевому абсорбері основна частина аміаку стискається в сконденсованому вигляді. Витрати енергії на стиск рідкого аміаку значно менші, ніж на стискування його парів.

При підвищенні тиску ефективніше використовується низькопотенційне тепло конвертованого газу, інтенсифікується процес конверсії. В системі стають непотрібними газгольдери. Зростає розчинність газів у абсорбенті, тому з підвищенням тиску поліпшується очищення газу. Крім інтенсифікації роботи обладнання, застосування підвищених тисків має самостійне технологічне значення: воно різко знижує витрату енергії на стиснення газу внаслідок того, що об'єм стисненого газу до конверсії в три з рази менше об'єму конвертованого газу (рис. 3.4.).

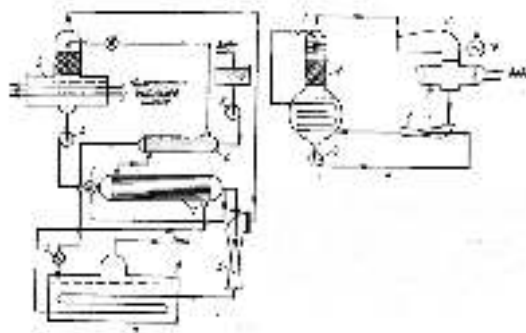


Рисунок 3.4 - Термохімічний підвищуючий (а) і понижуючий, (б) трансформатори тепла

Для найбільш повного використання низькопотенційного тепла та отримання пари високих параметрів вдаються до спалювання невеликої кількості додаткового природного газу. Дуже часто викликає цікавість використання тільки низькопотенційного тепла в системі підвищувального термотрансформатора (рис. 3.5).

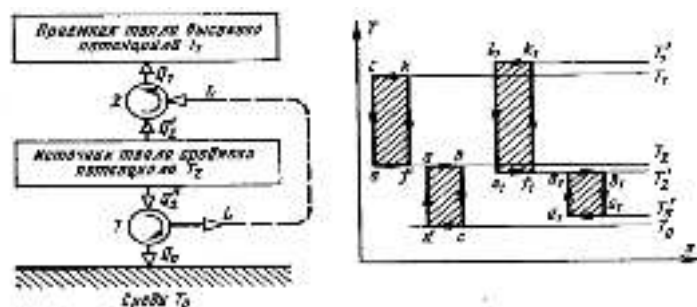


Рисунок 3.5 - Схема і цикли підвищуючого трансформатора тепла

При використанні в якості джерел низькопотенційного тепла пари низького тиску, гарячої води чи газу найбільш перспективною є конструкція генератора

плівково-зрошувального типу, тому що в ньому за цих умов кипіння протікає більш інтенсивно.

3.4. Утилізація низькопотенційного тепла заснована на використанні циклу Ренкіна

Один із способів утилізації низькопотенційного тепла заснований на використанні циклу Ренкіна (рис. 3.6) і складається з двох основних частин - теплового контуру, який перетворює теплову енергію в механічну і електромеханічної частини, яка перетворює механічну енергію в електричну [27]. В якості робочого тіла в тепловому контурі використовується легкокипучий органічний речовина, наприклад фреон.



Рисунок 3.6 - Схема утилізації низькопотенційного тепла заснована на використанні циклу Ренкіна

Принцип роботи такої системи полягає в наступному: насос під тиском подає робоче тіло в котел через регенератор. У регенераторі відбувається первинний нагрів робочого тіла, в котлі відбувається вторинний нагрів робочого тіла, при якому воно переходить з рідкого стану в газоподібний. Далі газ подається на спеціально розроблену високооборотну турбіну, де він розширюється, приводячи її в обертання. Відпрацьований газ потрапляє в рекуператор, де витрачає частину своєї теплової енергії на первинний нагрів рідини. Після чого робоче тіло переходить у рідкий стан в конденсаторі і потрапляє на вхід насоса.

В даний час створена дослідна установка з утилізації низькопотенційного тепла потужністю 1 кВт (дослідження фінансуються фірмою Siemens AG).

Складність створення подібних установок полягала в тому, що при оптимальній роботі системи частота обертання турбіни повинна досягати 100000 об/хв. Для роботи на таких швидкостях обертання не придатні промислові підшипники. Тому в дослідній установці застосовуються спеціально розроблені за унікальною технологією пелюсткові газодинамічні опори. Вал знаходиться всередині системи взаємно перекриваємих пелюсток із сталеві стрічки з підвищеною пружністю.

При обертанні вал захоплює за собою частки повітря, і при певній частоті обертання їх кількість стає достатньою, щоб пелюстки відігнулися на частки міліметра від поверхні валу, таким чином утворюється повітряний проміжок між валом і системою пелюсток, в якому і обертається ротор. При використанні пелюсткових газодинамічних опор практично повністю відсутні втрати на тертя при роботі системи.

Турбіна приводить в обертання генератор, який перетворює механічну енергію в електричну. Генератор має нерегульоване збудження від постійного магніту.

Ротор генератора є складним: вал виконаний з магнітного сплаву на основі рідкоземельних елементів, на вал одягнений бандаж з високоміцного сплаву, який забезпечує механічну міцність ротора при обертанні на високих частотах обертання. Застосування сплавів на основі рідкоземельних магнітних елементів забезпечує стабільні високі магнітні характеристики ротора, що в свою чергу забезпечує стабільні робочі характеристики генератора.

Однак застосування постійних магнітів в генераторі не забезпечує можливості регулювання рівня виробляємої напруги, і при зміні швидкості обертання турбіни змінюється не тільки частота виробляємої напруги, але і амплітуда. Через це електрична енергія, яка знімається з клем генератора, не може бути безпосередньо використана в побуті або промисловості.

Для забезпечення заданої якості електричної енергії у всіх режимах роботи в системі генерування використовується електронний перетворювач.

У залежності від призначення системи, електронний перетворювач може бути виконаний однофазним, якщо споживачами електричної енергії є побутові прилади, або трифазним, для застосування в промисловості. Електронний перетворювач має структуру з проміжною ланкою постійного струму. Вихідна напруга генератора, яка характеризується певною частотою, амплітудою і гармонійним складом, подається на вхід перетворювача випрямляється. Далі отримана постійна напруга перетвориться в інверторі в напругу із заданою частотою, амплітудою і гармонійним складом.

Інвертор виконаний на основі біполярних транзисторів з ізольованим затвором IGBT. Для формування синусоїдальної напруги застосовуються алгоритми широтно-імпульсної модуляції. Інвертор виконує функції обмеження струму і захисту системи від коротких замикань, стабілізації частоти вихідної напруги, стабілізації рівня вихідної напруги, індикації аварійних режимів і візуалізації параметрів роботи системи.

Практичний інтерес представляють системи потужністю більше 10 кВт. При їх створенні будуть застосовані наукові та інженерно-технічні принципи, відпрацьовані при виготовленні дослідного зразка потужністю 1 кВт.

Техніко-економічний аналіз показав, що термін окупності проекту складе 2 роки. Мінімальний термін служби системи - 10 років. Термін окупності системи для покупця при діючих тарифах на електроенергію 5 років [28].

Аналіз джерел та способів утилізації низькопотенційного тепла показав:

- для заданих умов виробництва ливарного комплексу основним джерелом низькопотенційного тепла є стічні води ливарного цеху;
- нами запропоновано для утилізації стічних вод ливарного цеху використовувати установку головним елементом якої є парокомпресійний тепловий насос;
- в цілому наведені відомості орієнтують на пошук шляхів вдосконалення способів утилізації низькопотенційного тепла в напрямку використання теплоносіїв з максимально можливою підвищеною температурою.

3.5. Способи і пристрої для утилізації тепла промислових стоків

На сучасному етапі розвитку способів і пристроїв для утилізації тепла промислових стоків існує два підходи до їх реалізації:

- відбір тепла промислових стоків для попереднього підігріву води яка використовується для промислових і побутових потреб виробництва;
- очистка промислових стоків, їх подальший підігрів за рахунок низькопотенційних джерел оточуючого середовища (повітря, відхідні гази, вода і т. п.) і використання в системах гарячого постачання.

Розглянемо данні способи і пристрої для утилізації тепла на конкретних прикладах.

Колективом авторів запропоновано спосіб і пристрій для утилізації тепла стоків, відмінною рисою яких є використання бака-теплообмінника з розміщеним у ньому змішувальним підігрівачем, за допомогою якого здійснюється попереднє часткове підвищення температури чистої води перед її надходженням у нагрівальний котел, який забезпечує споживачів гарячою водою [29].

До недоліків такого технічного рішення відноситься та обставина, що воно не вирішує завдання утилізації тепла кардинально, оскільки передбачається збереження нагрівального котла з усіма витікаючими звідси негативними наслідками.

Більш досконалим вирішенням проблеми утилізації низькопотенційного тепла стічних вод є спосіб і установка, яка складається із теплового насоса і теплообмінного модуля [30]. У цій установці в якості теплоносія використовується відкритий швидкісний потік, температура води в якому становить порядку 18 - 20 °C при годинній витраті теплоносія в декілька сотень кубометрів.

Недоліком даного способу утилізації низькопотенційного тепла є те, що використовуємий в ньому теплоносій представляє з себе потужний високопродуктивний потік стічних вод з відносно низькою температурою. Тому утилізація навіть 1 - 2 % тепла, яке міститься в скидаємій воді успішно вирішує не тільки завдання гарячого водопостачання, але навіть - і опалення індивідуальних

житлових будинків, окремих невеликих виробничих приміщень, тощо. Однак при обмеженій кількості стічних вод, як це має місце, наприклад, в ливарному виробництві, де середньозміна витрата нагрітої води не перевищує 50 м³, а температура стічних вод досягає 30 - 35 °С, зазначений спосіб утилізації тепла непридатний.

Відомий спосіб утилізації низькопотенційного тепла з використанням теплового насоса з виносним теплообмінником, пов'язаним з випарником теплового насоса проміжним циркуляційним контуром, а також власне систему опалювання [31]. При цьому в якості джерела тепла низького потенціалу використовується приймальний колодязь стічних вод промислової каналізаційної мережі, в якому разом з теплообмінником розміщений вібратор, призначений для руйнування шару забруднень, які осіли на робочих поверхнях теплообмінника. Очевидно, що в даному випадку передача тепла від стічних вод до води, яка циркулює в контурі випарника теплового насоса, відбувається при вельми несприятливих умовах, так як протягом години через колодязь проходять сотні кубометрів досить теплих побутових стічних вод, які рухаються зі значною швидкістю.

В патенті [32] запропоновано також спосіб утилізації низькопотенційного тепла стічних вод за допомогою теплового насоса, в конструкції якого передбачено виносний теплообмінний модуль, активно взаємодіє з відкритим тонкошаровим швидкісним потоком, температура води в якому становить порядку 18 – 20 °С, при годинній витраті теплоносія в сотні кубометрів, що характерно, наприклад, для грабельних відділень міських каналізаційних насосних станцій.

До недоліків способу, відноситься та обставина, що він не може ефективно утилізувати тепло стічних вод, які перебувають у стані спокою або руху зі швидкістю близькою до нуля, тим більш в зимовий час, коли температура води в аеротенку не перевищує 8 - 12 °С, тобто за відсутності необхідних умов для передачі тепла воді, яка циркулює всередині теплообмінного модуля і спрямовується після підігріву в випарник теплового насоса. Як відомо, саме

швидкість руху теплоносія є одним з основних факторів, які визначають поряд з температурним напором ефективність процесу теплопередачі.

Відомий спосіб утилізації низькопотенційного тепла стічних вод, який дозволяє використовувати за допомогою теплового насоса тепло стічної води з температурою близько 10 °C, а також підвищувати ефективність роботи теплового насоса за рахунок утилізації тепла стічних вод, з температурою 30 - 35 °C, які перед скиданням у каналізацію очищаються, акумулюються в теплоізовованій ємності і потім, завдяки подальшій багаторазовій циркуляції в контурі випарника теплового насоса, охолоджуються до 10 °C [33].

Недоліком вказаного способу, поряд з необхідністю очищення теплоносія, є та обставина, що при 3-змінному режимі роботи виробництва надходження теплоносія (при тому в обмеженій кількості) носить нерівномірний порційний характер і тому такий спосіб може бути доцільним лише для певних конкретних умов, для яких очевидно він і був запропонований.

Використовується також спосіб утилізації низькопотенційного тепла стічних вод, з використанням теплового насоса і виносного теплообмінника, пов'язаного з випарником теплового насоса проміжним циркуляційним контуром, при цьому в якості джерела тепла використовується приймальний колодязь стічних вод міської каналізаційної мережі, температура якого зазвичай коливається в межах 20 - 22 °C [34].

Так як протягом години через колодязь проходять сотні кубометрів стічних вод, які рухаються зі значною швидкістю, передача тепла воді, що циркулює в контурі випарника теплового насоса, відбувається в цілому при досить сприятливих умовах. Однак ефективно утилізувати таким способом тепло побутових стічних вод, які перебувають у стані спокою або руху зі швидкістю, близькою до нуля, як це має місце, наприклад, при біологічному очищенні стічних вод у відкритих аеротенках, неможливо.

Запропоновано спосіб утилізації низькопотенційного тепла стічних вод, з використанням теплового насоса і виносного теплообмінника, розміщеного усередині полої колони ерліфта, зануреної в стічні води, що проходять біологічну

очистку у відкритому аеротенку і перебувають у стані спокою або руху зі швидкістю, близькою до нуля [35]. При цьому навколо теплообмінника створюють, за допомогою стиснутого повітря і щитів огороження, зону інтенсивного утворення повітряно-водяної суміші, яка будучи менш щільною, ніж навколишня ерліфт вода аеротенках, піднімається вгору по колоні з регульованою швидкістю, що забезпечує умови, необхідні для безперервної передачі тепла воді, що циркулює в контурі випарника теплового насоса.

Недолік зазначеного способу пов'язаний з тим, що в холодні сніжні зими, коли температура очищуємої в аеротенку води опускається до 3 - 5 °С, істотно знижується ефективність роботи теплового насоса, що призводить до падіння температури води в системі опалення об'єкта теплопостачання.

Розглянемо більш ефективну схему утилізації, яка приведена на рис. 3.7.

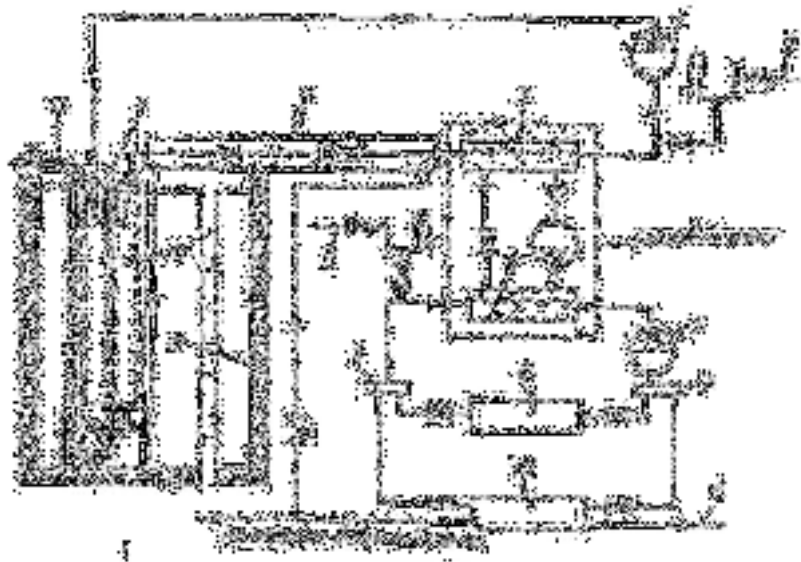


Рисунок 3.7 - Технологічна схема способу утилізації низькопотенційного тепла стічних вод ливарного цеху:

1 - виносний теплообмінник; 2, 3 - підігрівач випарник; 4 - конденсатор теплового парокompресійного насоса; 5 - циркуляційні насоси; 6 - розподільну гребінку; 7 - збірну гребінку; 8 - систему опалення; 9 - водопровід; 10 - систему гарячого водопостачання; 11 - колону ерліфта; 12 - аеротенк; 13 - трубопровід подачі стисненого повітря.

Утилізація тепла стічних вод згідно запропонованого способу здійснюється наступним чином. Винесений теплообмінник 1, задіяний в циркуляційному контурі випарника 3 парокомпресійного теплового насоса, розміщують всередині порожнистої колони ерліфта 11, зануреної в стічні води аеротенках 12. Повітряно-водяна суміш, яка утворюється всередині колони ерліфта за рахунок регульованої подачі в неї стисненого повітря і піднімається вгору по колоні завдяки зниженій густині, постійно омиваючи теплообмінник, передає проходить через нього воді низькопотенційне тепло, яке міститься в стічних водах. Воду, яка пройшла через теплообмінник 1, подають у випарник 3 парокомпресійного теплового насоса через підігрівач 2 з зустрічним потоком теплоносія, наприклад води, нагрітої тепловим насосом для потреб гарячого водопостачання, при цьому частково охолоджений (приблизно до 20 - 25 °C) в підігрівачі 2 теплоносії подають всередину колони ерліфта 11 в зону утворення повітряно-водяної суміші через сопло, спрямоване вгору (на рис. 3.7 умовно показано стрілочкою). Цей процес виконується з метою підвищення швидкості підйому повітряно-водяної суміші і її температури.

Вода, яка циркулює в контурі випарника 3 під впливом насоса 5, пройшовши через кожухотрубний підігрівач 2 з підвищенням своєї температури до 25 - 35 °C, входить у випарник 3, де її тепло, отримане від стічних вод, а також - від води, нагрітої тепловим насосом для потреб гарячого водопостачання, забезпечує випаровування холодоагенту теплового насоса, наприклад фреону R142b. Пройшовши через компресор теплового насоса і додатково підвищивши свій тепловміст за рахунок стиснення, пари фреону під впливом надлишкового тиску (порядку 15 кг/см²) направляються в конденсатор 4 теплового насоса, де переходячи в рідкий стан нагрівають циркулюющую через нього водопровідну воду, споживаєму як для потреб гарячого водопостачання, так і для опалення (див. рис. 3.7 позиції 8, 9 і 10).

Таке технічне рішення дозволяє завдяки підвищенню температурного напору і швидкості руху, підвищити інтенсивність процесів передачі тепла воді, яка надходить у випарник теплового насоса, що приводить до підвищення ефективності його роботи і, як наслідок цього, з'являється можливість

забезпечувати нормальну температуру в системі опалення об'єкта, що особливо важливо в зимову пору року, коли температура очищуваної у відкритому аеротенку води опускається до 3 - 5 °С.

З вище наведеного встановлено:

- існує можливість забезпечувати за допомогою теплових насосів потребу у воді, нагрітій до температури 50 - 70 °С (для використання в системах опалення та гарячого водопостачання) і дозволяє утилізувати низькопотенційне тепло стічних вод, які у величезних кількостях безперервно направляються на очищення. При цьому, завдяки такій властивості використовуваного в теплових насосах холодоагенту, як його здатність випаровуватися при температурі рівній всього 0 - 3 °С, вони можуть утилізувати тепло стічних вод навіть з температурою 5 - 8 °С;
- проте, як відомо, ефективність роботи теплового насоса, яка характеризується коефіцієнтом перетворення витраченої електричної енергії в вироблену теплову енергію (коефіцієнт ϕ), істотно залежить від температури теплоносія - води, яка надходить у випарник теплового насоса;
- фізичні характеристики води, як її теплопровідність λ Вт/м²°С, кінематична в'язкість ν м²/с і число Прандтля Pr (визначальні інтенсивність передачі тепла від стічних вод води, які циркулюють в контурі випарника теплового насоса) теж залежать від температури води і при її підвищенні будуть збільшувати ККД теплового насоса;

Виходячи проведеного аналізу способів утилізації низькопотенційного тепла стічних вод нами запропоновано спосіб і технологічна схема утилізації низькопотенційного тепла стічних вод ливарного цеху, яка представлена на рис. 3.8 [36].

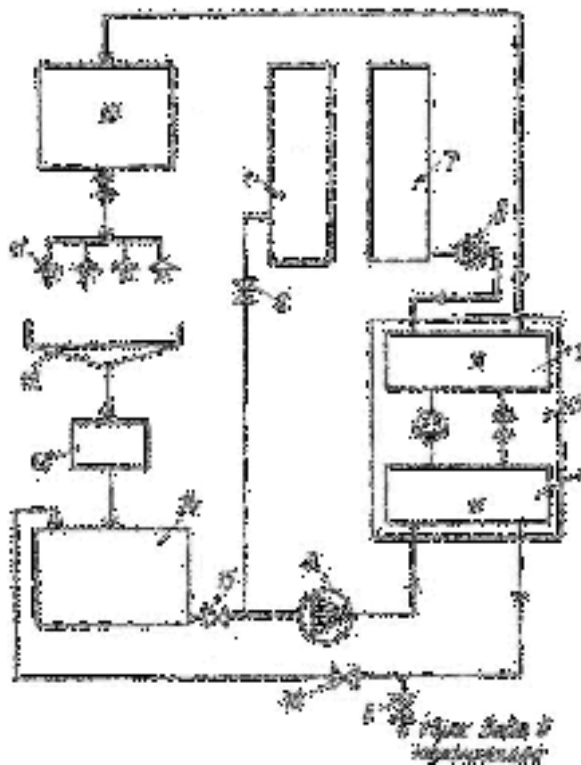


Рисунок 3.8 - Технологічна схема способу

1 - ємність; 2, 6, 15, 16 - засувки; 3, 8 - циркуляційні насоси; 4 - випарник; 5 - тепловий насос; 7 - бак; 9 - конденсатор; 10 - видаткова ємність; 11 - споживач; 12 - приямок; 13 - фільтр; 14 - теплоізовльовану ємність.

Процес утилізації низькопотенційного тепла починається з подачі очищеної води з температурою 30 - 40 °C з ємності 1 через відкриту засувку 2 насосом 3 у випарник 4 теплового насоса 5, де вода охолоджується на 20 - 30 °C, після чого скидається в каналізацію через засувку 6, при цьому засувки 15, 16 закриті.

Холодоагент теплового насоса (озонобезпечний фреон R-142b), який випаровувався за рахунок отриманого від води тепла, подається компресором теплового насоса в конденсатор 9, який взаємодіє з водопровідною водою, що подається насосом 8 з бака 7.

Нагріта до 45 °C вода прямує в витратну ємність 10 для використання за призначенням - для гарячого водопостачання.

Стічна вода з температурою близько 30 - 35 °C збирається в приямок 12 і після очищення у фільтрі 13 акумулюється в теплоізовльованій ємності 14, звідки, при закритих засувках 2 і 6, будучи спрямована насосом 3 у випарник 4 циркулює в його контурі, неодноразово повертаючись в ємність 13 до тих пір, поки

температура води в ній не знизиться до 5 - 10 °С, після чого через відкриту засувку б охолоджена вода скидається в каналізацію.

Описаний цикл роботи теплового насоса триває протягом приблизно однієї зміни (порядку 5 - 6 год), після чого все повторюється знову.

Періодично трубопровід, по якому циркулює стічна вода, промивається очищеною водою і таким чином очищається від можливих небажаних відкладень на його стінках.

Використання низькопотенційної теплоти стічних вод не тільки забезпечить певну економію палива, але й значно знизить техногенне навантаження на навколишнє природне середовище. Крім того, застосування запропонованого способу утилізації тепла дозволить з мінімальними витратами забезпечити гарячою водою всі потреби незалежно від роботи котельні.

Для реалізації наведеного способу не потрібна розробка і освоєння виробництва нового складного обладнання, так як основний елемент технологічної схеми (тепловий насос) вже багато років випускається серійно.

3.6. Загальні відомості про парокомпресійні теплові насоси

Принцип дії парокомпресійного теплового насоса аналогічний принципу дії домашнього холодильника. У холодильнику випарник (морозилка) забирає тепло з охолоджуємих продуктів. Це тепло і виділяється в приміщення з радіатора (конденсатора), який розташований на задній стінці зовні холодильника. "Перекачуване" тепло кілька разів перевершує витрачену енергію. Точно також і парокомпресійний тепловий насос (ПТН) забирає тепло з природного (вода, ґрунт, повітря) або постійного техногенного джерела низькопотенційної теплоти і, витрачаючи деяку енергію на свою роботу, перетворить енергію низького потенціалу в теплову енергію середнього потенціалу, придатну для споживачів [36].

На рис. 3.9 приведена принципова схема ПТН типу "вода-вода", а на рис. 3.10 зображений спрощений термодинамічний цикл ПТН в T - S діаграмі. Стани

робочого тіла після процесів, протікаючих в основних елементах ПТН, позначені відповідними цифрами циклу. На відміну від парокомпресорного домашнього холодильника і від будь-якої іншої парокомпресорної холодильної машини, ПТН типу "вода-вода" має на один апарат більше (інші типи, за рідкісним винятком, мають ті ж самі основні апарати, що і холодильні машини) – переохолоджувач П рідкого хладону. ПТН працює таким чином: в міжтрубний простір випарника И подається низькотемпературна вода, де вона охолоджується за рахунок кипіння в трубному просторі випарника И хладону (робочого тіла, яким є фторхлорвуглеводні). Пари хладону з випарника И постійно відсисаються компресором К і, проходячи регенеративний теплообмінник РТ, підігріваються внаслідок теплообміну з рідким хладоном, який протікає усередині труб теплообмінника.

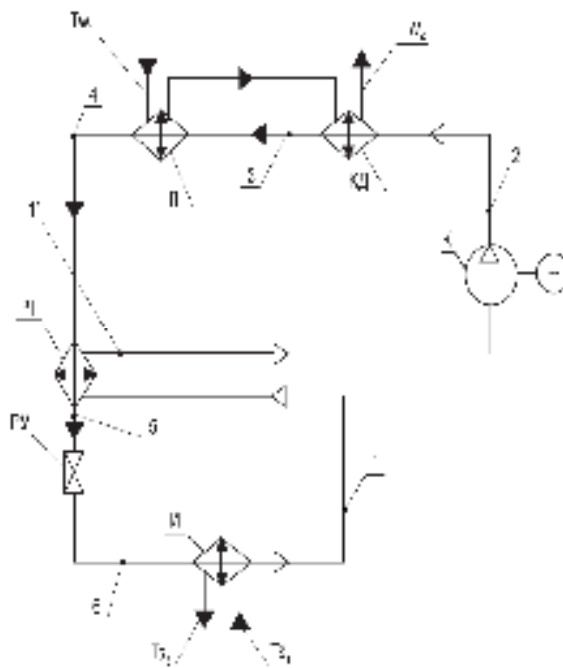


Рисунок 3.9 - Принципова схема парокомпресійного теплового насоса:

К - компресор; КД - конденсатор; П - переохолоджувач; РТ - регенеративний теплообмінник; РУ - регулюючий пристрій; И - випарник; TS_1 і TS_2 - низькотемпературна вода; TW_1 , TW_2 - вода, яка нагрівається

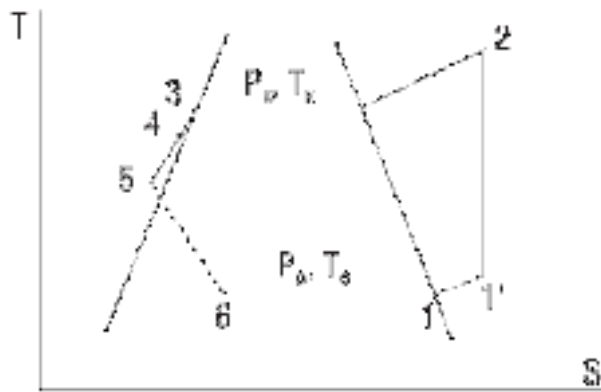


Рисунок 3.10 - Спрощений термодинамічний цикл парокомпресійного насоса з процесами:

1 - 2 - стиснення парів робочого тіла в компресорі; 2 - 3 - охолодження і конденсація парів робочого тіла в конденсаторі; 3 - 4 - переохолодження рідкого робочого тіла в переохолоджувачі; 4 - 5 - охолодження рідкого робочого тіла в регенеративному теплообміннику; 6 - 1 - випаровування робочого тіла у випарнику; 1 - 1' - підігрів парів робочого тіла в теплообміннику

Компресор К стискає підігріті пари хладону до тиску конденсації і направляє їх в міжтрубний простір конденсатора КД. У трубний простір конденсатора КД подається вода тепломережі, яка нагрівається. На зовнішній поверхні труб в міжтрубному просторі КД пари хладону охолоджуються і конденсуються, перетворюючись на рідину, яка потім по ступає в переохолоджувач П рідкого хладону, де охолоджується за рахунок теплообміну із зворотною водою тепломережі. Далі рідкий хладон проходить усередині труб регенеративного теплообмінника РТ, охолоджуючись додатково за рахунок теплообміну з парами хладону, і дроселюється в регулюючому пристрої РУ, знижуючи свій тиск і, відповідно, температуру до тиску і температури у випарнику И. Парорідинна суміш, яка утворюється внаслідок дроселювання, випаровується у випарнику, отримуючи тепло через стінки труби з низькотемпературною водою. Пари хладону, які утворюються, відбираються компресором, цикл робочого тіла ПТН замикається. Таким чином, робоче тіло, постійно циркулює в замкнутому контурі ПТН, зазнаючи зміни агрегатного стану в його апаратах і переносячи теплоту від поновлюваного низькотемпературного джерела теплоти до споживача теплоти

середнього потенціалу за рахунок витрати енергії високого потенціалу в компресорі.

3.6.1. Класифікація парокомпресійних теплових насосів. Існують самі різні варіанти класифікації теплових насосів. ПТН по агрегатному стану поновлюваного низькотемпературного джерела теплоти і нагріває мого середовища підрозділяються на типи "вода-вода", "повітря-вода", "повітря-повітря", "вода-повітря" [37]. За типом використовуємого компресорного устаткування:

- спіральні;
- поршневі;
- гвинтові;
- турбокомпресорні.

По виду приводного двигуна - на електроприводні, або з приводом від теплових двигунів (двигунів внутрішнього згорання парових, газових або гідравлічних турбін); по використовуємому робочому тілу (хладону) - на низькотемпературні, середньотемпературні і високотемпературні; по типу герметичного з'єднання з приводом - на герметичні, безащільникові і сальникові.

По оперативних функціях ПТН можна розділити на чотири основні категорії:

-теплові насоси тільки для опалювання, для забезпечення комфортної температури в приміщенні. Існує велике поле діяльності по заміні котлів низькотемпературних опалювальних систем на основі тепловипромінюючих підлог або стінних панелей вентиляційно-конвекторними або тепловентиляційними установками з ПТН. Сучасний адміністративно житловий фонд, як правило, зазнає певні проблеми з димовідводами і димарями і проблеми пожежної безпеки в цілому, тому тепловий насос, який в принципі не має таких проблем, представляється в цих випадках ідеальним варіантом заміни;

- теплові насоси опалювальні і холодильні, які використовуються для кондиціонування приміщень впродовж усього року. Найбільш поширеними є

реверсивні агрегати класу "повітря-повітря". Теплові насоси середньої і великої потужності, які застосовуються для сфери обслуговування, використовують гідравлічні контури для розподілу тепла і холоду і при цьому можуть забезпечувати обидва робочі режими одночасно. Інтегровані системи на основі теплових насосів, можуть забезпечувати опалювання приміщень, охолодження, приготування води гарячого водопостачання і іноді утилізацію повітря;

-теплові насоси, призначені виключно для гарячого водопостачання. Часто в якості джерела тепла використовують як зовнішнє повітря, так і вентиляційне повітря. Теплоджерела на базі теплових насосів бувають як моновалентні, так і бівалентні. Моновалентні теплоджерела повністю покривають річну потребу в опалюванні і гарячому водопостачанні, включаючи сезонні, "пікові" теплові навантаження. Теплові насоси у бівалентних теплоджерелах покривають від 50 до 70 % річної потреби в тепловій енергії, але дозволяють істотно заощадити засоби на створення теплоджерела і отримати значну економію палива або електроенергії (в порівнянні з електрокотельними).

3.6.2. Робочі тіла парокомпресійних теплових насосів. Робочі тіла умовно, залежно від класифікації холодильних машин і теплових насосів, підрозділяються на три групи [38]:

- низького тиску (які киплять при температурі TS вище $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), застосовуються у високотемпературних ПТН;
- середнього тиску (TS від 10 до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$), застосовуються в середньотемпературних ПТН;
- високого тиску, (TS нижче $60\text{ }^{\circ}\text{C}$), застосовуються в низькотемпературних ПТН.

У теплових насосах, як і в холодильних машинах, тиск кипіння залежить від температури НДТ, а тиск конденсації - від температури теплоносія, який нагрівається. У високотемпературних ПТН температура конденсації (Tk) рівна або нижче $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. У них використовуються дозволені до застосування Монреальським протоколом по речовинах хладони R142b, R124, R236, а також R744 або CO_2 . R744

по тиску відноситься до робочих тіл високого тиску, а по температурі конденсації - до високотемпературних ПТН.

У середньотемпературних ПТН з температурою $T_k = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче використовуються хладони: R134a, R152a, суміші хладонів R22 і R142b, а в низькотемпературних - хладони R22, R407c з температурою конденсації нижче $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. В зарубіжних ПТН в основному використовуються хладони: в середньотемпературних - R134a, в низькотемпературних - R22, R21 і R407c. Високотемпературні ПТН, у зв'язку з відсутністю необхідності нагріву теплоносіїв для опалювання і гарячого водопостачання з температурою води понад $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, не застосовуються.

3.7. Розрахунок парокомпресійного теплового насоса

Принципова парокомпресійного теплового насоса схема показана на рис. 3.11.

При розрахунку задаємося джерелом тепла низького потенціалу стічних вод ливарного цеху з температурою на вході у випарник $t_{H1} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ а на виході з нього – $t_{H2} = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура води на вході в охолоджувач $t_{\text{по}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на виході з конденсатора – $t_{B1} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Робочий агент – хладон R-21.

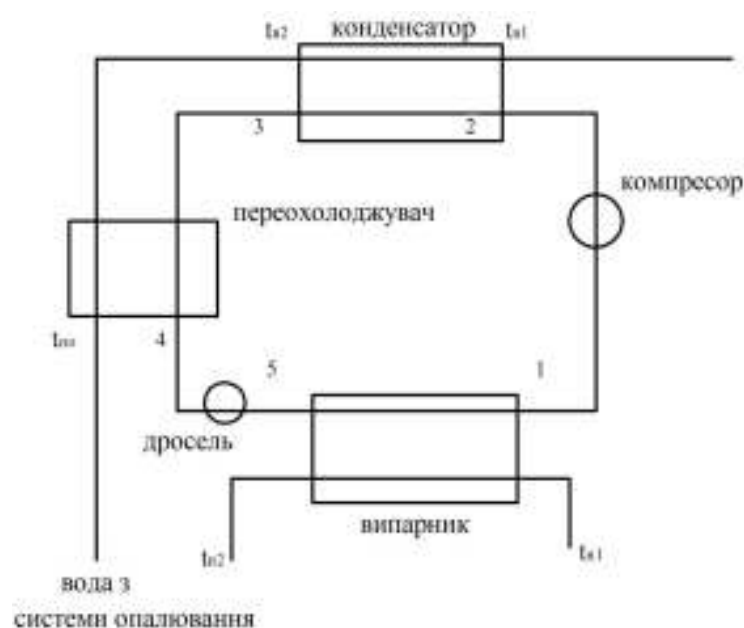


Рисунок 3.11 - Схема парокомпресійного теплового насоса

Теплова продуктивність теплового насоса розраховувалася за спеціальною програмою, результати розрахунку наведені нижче на рис. 3.11. у відповідності до розрахунку тепла продуктивність теплового насоса склала $Q_T = 57$ кВт.

Кінцева різниця температур у випарнику:

$$\Delta t_i = t_{H2} - t_o \quad (3.1)$$

За виробничими даними приймаємо $\Delta t_i = 2,5$ °С.

Знаходимо температуру випару:

$$t_o = t_{H2} - \Delta t_i \quad (3.2)$$

$$t_o = 6 - 2,5 = 3,5 \text{ °С.}$$

Задаємося кінцевою різницею температур в конденсаторі:

$$\Delta t_K = t_{B1} - \Delta t_K \quad (3.3)$$

Приймаємо $\Delta t_K = 5$ °С.

Визначаємо температуру конденсації:

$$t_K = t_{B1} + \Delta t_K \quad (3.4)$$

$$t_K = 70 + 5 = 75 \text{ °С.}$$

За $T - S$ діаграмою знаходимо параметри робочого агента у наступних характерних точках схеми [39]:

точка 1: $t_1 = t_o = 3,5$ °С, $p_1 = 0,08$ МПа, $h_1 = 665$ кДж/кг, $v_1 = 0,275$ м³/кг;

точка 2: $p_2 = 0,78$ Мпа, $h_2' = 727$ кДж/кг, $t_2' = 115$ °С;

точка 3: $t_3 = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_3 = 0,78\text{ МПа}$, $h_3 = 506\text{ кДж/кг}$;

точка 4: $t_4 = t_{\text{по}} + \Delta t_{\text{по}} = 40 + 10 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_4 = 0,78\text{ МПа}$, $h_4 = 468\text{ кДж/кг}$;

точка 5: $t_5 = 3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p_5 = 0,08\text{ МПа}$, $h_5 = 468\text{ кДж/кг}$.

Ентальпія робочого агенту на виході з компресора при внутрішньому адіабатному ККД компресора $\eta_i = 0,8$

$$h_2 = h_1 + \left(\frac{L_a}{\eta_i} \right) \quad (3.5)$$

$$h_2 = 665 + \frac{(727 - 665)}{0,8} = 743\text{ кДж/кг}$$

Внутрішня робота компресора:

$$L_B = h_2 - h_1 \quad (3.6)$$

$$L_B = 743 - 665 = 78\text{ кДж/кг}$$

Питоме теплове навантаження випарника:

$$q_o = h_1 - h_5 \quad (3.7)$$

$$q_o = 665 - 468 = 233\text{ кДж/кг}.$$

Питоме теплове навантаження конденсатора:

$$q_K = h_2 - h_3 \quad (3.8)$$

$$q_K = 743 - 506 = 237\text{ кДж/кг}$$

Питоме теплове навантаження охолоджувача:

$$q_{\text{по}} = h_3 - h_4 \quad (3.9)$$

$$q_{\text{по}} = 506 - 468 = 38 \text{ кДж/кг}$$

Енергетичний баланс:

$$q = L_B + q_o = q_K + q_{\text{по}} \quad (3.10)$$

$$q = 78 + 197 = 237 + 38 = 275 \text{ кДж/кг.}$$

Масова витрата робочого агента:

$$G = \frac{Q_T}{(q_K + q_{\text{по}})_T} \quad (3.11)$$

$$G = \frac{57}{(237 + 38)} = 0,207 \text{ кг/с.}$$

Об'ємна продуктивність компресора:

$$V_1 = G v_1 \quad (3.12)$$

$$V_1 = 0,207 \cdot 0,275 = 0,057 \text{ м}^3/\text{час} = 0,00001583 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахункове теплове навантаження випарника:

$$Q_o = q_o G \quad (3.13)$$

$$Q_o = 197 \cdot 0,207 = 40,779 \text{ кВт}$$

Розрахункове теплове навантаження охолоджувача:

$$Q_{\text{по}} = q_{\text{по}} G \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{по}} = 38 \cdot 0,207 = 7,866 \text{ кВт}$$

Приймаючи електромеханічний ККД компресора $\eta_{\text{ем}} = 0,9$, визначаємо питому роботу компресора:

$$L_{KM} = \frac{L_B}{\eta_{\text{ем}}} \quad (3.15)$$

$$L_{KM} = \frac{78}{0,9} = 86,7 \text{ кДж/кг}$$

Питома витрата електроенергії на одиницю виробленого тепла:

$$E_{\text{TH}} = \frac{L_{KM}}{(q_K + q_{\text{по}})} \quad (3.16)$$

$$E_{\text{TH}} = \frac{86,7}{(237 + 38)} = 0,315$$

Електрична потужність компресора

$$N_e = L_{KM} G \quad (3.17)$$

$$N_e = 86,7 \cdot 0,207 = 17,947 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт трансформації:

$$\mu = \frac{(q_K + q_{\text{по}})}{L_{KM}} = \frac{1}{E_{\text{TH}}} \quad (3.18)$$

$$\mu = \frac{1}{0,315} = 3,2$$

Середня температура низькотемпературного тепловіддавача:

$$T_{H.CP.} = \frac{10 + 6}{2} + 273 = 281 \text{ K}$$

Середня температура отриманого тепла:

$$T_{B.CP} = \frac{70 + 40}{2} + 273 = 328 \text{ K}$$

Коефіцієнт працездатності тепла з потенціалом $T_{B.CP}$:

$$(\tau_q)_B = 1 - \left(\frac{293}{328}\right) = 1 - 0,89 = 0,11.$$

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії теплонасосної установки:

$$\eta_e = \frac{(q_K + q_{\text{по}})(\tau_q)_B}{L_{KM}} \quad (3.19)$$

$$\eta_e = \frac{275 \cdot 0,11}{86,7} = 0,35(35\%)$$

В науковій частині кваліфікаційної роботи розглянуті різні типи джерел низькопотенціального тепла, встановлено що для заданих умов виробництва в якості джерела низькопотенційного тепла можливо застосувати стічні води ливарного комплексу, запропоновано спосіб і принципова схема установки

утилізації низькопотенційного тепла стічних вод на базі парокомпресійного теплового насоса, розраховані його основні конструкторсько-технологічні параметри.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти спроектовано та організовано роботу ливарного комплексу заводу сільськогосподарського машинобудування продуктивністю 12000 тон придатних відливків із сірого чавуну. В першому розділі кваліфікаційної роботи виконано розрахунок фондів часу роботи обладнання та робітників, виробничої програми цеху, основних відділень цеху: плавильного, формувального, стержньового очисного, обрубного, визначено річні потреби ливарного комплексу в електроенергії, воді та стисненому повітрі.

В другому розділі приведено аналіз конструкції деталі "Кришка задня PVH2 7", розроблені технічні умови на відливки та технологія виготовлення відливка, виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано технологію виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості відливків. Також описано розділ охорони праці при литті сірого чавуну.

В науковій частині кваліфікаційної роботи розглянуті різні типи джерел низькопотенціального тепла, встановлено що для умов виробництва проектуемого ливарного комплексу в якості джерела низькопотенційного тепла можливо застосувати стічні води ливарного комплексу, запропоновано спосіб і принципова схема установки утилізації низькопотенційного тепла стічних вод на базі парокомпресійного теплового насоса, розраховані його основні конструкторсько-технологічні параметри.

ЛІТЕРАТУРА

1. Н. А. Рибальченко. Проектирование литейных цехов. Харьков: Издательство Ордена трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1965. – 307с.
2. Логвинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая школа, 1975. – 320с.
3. Методичні вказівки до проєктивних занять по дисципліні «Проектування ливарних цехів» для студентів спеціальності 8.090205 /В. І. Кудя, О. В. Скрипник – Кіровоград: КДТУ. 1999. – 27с.
4. В. К. Могилев, О. И. Лев. Справочник литейщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 271с.
5. Проектирование машиностроительных цехов и заводов: Справочник (под ред. Е. С. Ямпольского) – М.: Машиностроение, 1984. – 414с.
6. Туманський Б. Ф. Проектування ливарних цехів. – К.: НМКВО, 1992. – 188с.
7. Сазонов В. Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
8. Основы проектирования литейных цехов и заводов / под ред. Б. В. Кнорре. – М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
9. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів. – К: ІСДО, 1993. – 552с.
10. Оборудование литейных цехов/ П. Н. Аксенов. - М.: Машиностроение, 1977г. – 510с.
11. Зейгеров И. Б. Оборудование литейных цехов. – М.: Высш. школа, 1980. – 368с.
12. Методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 0502/ И. Н. Москалев, А. П. Владимиров, В. С. Миронов. – Кіровоград: КИСМ, 1985. – 75с.
13. ДСТУ 8833:2019 Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом. Общие технические условия. Дата начала действия 01.01.2020
14. В. М. Шестопал, Я. Т. Поляков. Технология и оборудование литейного производства. – М.: ВИНТИ, 1979. – 271с.

15. Москалев І. Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. – К.: НМКВО, 1993. – 368с.
16. Титов И. Д., Степано Ю. А. Технология литейного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 271с.
17. Лотош В. Е. Фундаментальные основы природопользования: Переработка отходов природопользования. – 3-е книга. – Е.: Полиграфист, 2007. – 511 с.
18. Голомшток Л. И. Экономия топлива и электроэнергии: Снижение потребления энергии в процессах переработки нефти – М.: Химия, 1990 – 140 с.
19. Нинуа Н. Е. Конструкции и элементы конструкций: Регенеративный вращающийся воздухоподогреватель. – М.: Высшая школа, 1965 – 108 с.
20. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции: Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983. – 191 с.
21. Поляков В. В., Скворцов Л. С. Насосы и вентиляторы: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.
22. Скворцов Л. С. и др. Компрессорные и насосные установки: Учебник для средних профессионально-технических училищ / Л. С. Скворцов, В. А. Рачицкий, В. Б. Ровенский. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
23. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.
24. Куцын П.В. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности: Для инженерно-технических работников. – М.: Недра, 2005 – 246 с.
25. Богдан М. В. Полювання на тепло [Електронний ресурс]: Матеріали і технології:/ Київ. – Електрон.дан. (1 файл). – К.,2008. – 7 с. – Режим доступу: <http://pervoistochnik.com.ua/downloads/article04.pdf>

26. Максютов В. А. Пути рационального использования топливно-энергетических ресурсов на нефтехимических предприятиях: Химическая и нефтехимическая промышленность. – М.: Химия, 1986 – 100 с.
27. Быстрицкий Г. Ф. Основы энергетики: Учебник для бакалавров электротехнических и электроэнергетических направлений подготовки. — М.: Кнорус, 2012. — 352 с.
28. Дьяконов В. П. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. – М.: Библиотека инженера, 2002 – 500 с.
29. Патент США №5301745. Brief description of the drawings / Thomas Hans W (США); заявл. 19.01.93; опубл. 12.04.94; НКИ 165/047. – 2 с.
30. Патент РФ №2186309, МПК F 28D 1/047. Теплообменный модуль / Закиров Д. Г.; Номер заявки: – № 2001109989/06; заявл. 12.04.01; опубл. 27.07.02; – 2 с.
31. патент РФ №2155302, МПК F24D 17/02. Установка отопления и горячего водоснабжения / Рыбин А. А.; Номер заявки: – № 99119648/06; заявл. 13.09.99; опубл. 27.08.00; – 2 с.
32. Патент РФ №2186309, МПК F28D 1/047. Теплообменный модуль / Боринских И. И.; Номер заявки: – № 2001109989/06; заявл. 14.04.01; опубл. 27.07.02; – 2 с.
33. Патент РФ №2243460, Ю МПК F25B 30/00. Способ утилизации низкопотенциального тепла хозяйственных сточных вод / Денисенко С. И.; Номер заявки: – № 23790098/06; заявл. 19.03.03; опубл. 27.12.04; – 3 с.

34. Патент РФ №2155302, МПК F24D 17/02. Установка отопления и горячего водоснабжения / Закиров Д. Д.; Номер заявки: – № 99119648/06; заявл. 13.09.99; опубл. 27.08.00; – 2 с.

35. Патент РФ №2347145, МПК F25B 30/00. Способ утилизации низкопотенциального тепла / Боринских И. И.; Номер заявки: – № 2007123035/06; заявл. 19.06.07; опубл. 20.02.09; – 2 с.

36. Проценко В. П Коэффициент преобразования парокомпрессионных тепловых насосов: Теплоэнергетика – М.: Библиогр, 1988 – 53 с.

37. Горшков В. Г Перспективы развития теплонасосной техники: Энергоэффективность – М.: Библиогр, 2003 – 123 с.

38. Орехов И. И. Абсорбционные преобразователи теплоты: Тепловые насосы – Л.: Химия, 1989 – 208 с.

39. Мартыновский В. С. Анализ действительных термодинамических циклов: Термодинамика, молекулярная и статистическая физика – М.: Энергия, 1972. – 206 с.

ДОДАТКИ