

Електротехніки та енергоефективності

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення ефективності використання електричної енергії
обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-18-16д
спеціальності 141, Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Новокшионов О.М.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц.Єрофєєва А.А.

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

Рецензент д.т.н., проф.Коваленко В.Л.

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

Запоріжжя

2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М. _____
Кафедра електротехніки та енергоефективності
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. В.Л. Коваленко
« » _____ 2022 року



ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Новокшонову Олексію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Підвищення ефективності використання електричної енергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь»
керівник роботи Єрофєєва А.А., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «17» січня 2022 року № 90 - с _____
- 2 Строк подання студентом роботи 16 червня 2022 р.
- 3 Вихідні дані до роботи: технічна документація агломераційного цеху, тариф на електроенергію 3грн за 1кВт·год, доплата за шкідливість в умовах агломераційного цеху 30%, на агломашину встановлено двигун АІР160S8.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна характеристика підприємства та агломераційного цеху; 2. Аналіз електрообладнання агломераційного цеху; 3. Заходи щодо підвищення ефективності електрообладнання.
- 5 Перелік графічного матеріалу: Схема виробництва агломерату, схема споруд і конструкцій агломераційної фабрики, графік електричних навантажень агломераційного цеху, діаграма розподілу електроспоживання відділеннями агломераційного цеху, схема агломераційного відділення, характеристики двигуна АІР160S8, характеристики обладнання, що пропонується до встановлення.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., к.т.н. доцент		

1 Дата видачі завдання _____ 01.02.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика підприємства	21.04.22 – 24.05.22	
2	Аналіз електрообладнання агломераційного цеху	24.05.2022 – 07.06.2022	
3	Заходи щодо підвищення ефективності електрообладнання	07.06.2022 – 20.06.2022	

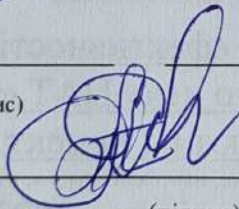
Студент _____


(підпис)

_____ О.М.Новокшонов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____

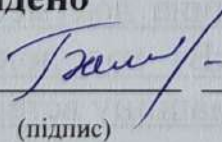

(підпис)

_____ А.А. Єрофєєва

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____


(підпис)

_____ С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка роботи (дипломного проекту) містить: 90 с., 27 рис., 8 табл.; 25 джерел посилань.

Об'єкт дослідження – обладнання агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь» та технологія виробництва агломерату.

Мета роботи – аналіз існуючої технології виробництва, розробка заходів щодо підвищення ефективності електричної енергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь».

В першому розділі роботи наведено загальні відомості про ПАТ «Запоріжсталь», схему роботи агломераційного цеху, відомості про процеси виробництва та його призначення у роботі заводу в цілому. В другому розділі було проведено детальний аналіз електрообладнання агломераційного цеху, аналіз режиму його роботи, а також було виконано розробку технічного завдання дипломної роботи. Третій розділ являє собою опис заходів щодо підвищення ефективності електрообладнання.

Методи розрахунків – стандартні методики які використовуються у виробництві агломерату, розрахунки і комп'ютерне моделювання з використанням комп'ютерних програм MathCAD 2014 та Excel 2019.

Отримані результати та їх актуальність – впровадження автоматизованого регульованого електроприводу агломераційної машини на основі електродвигуна фірми SIEMENS серії 4A132M6 та частотного перетворювача типу ESQ-A1000 шафового виконання сприяє підвищення ефективності використання електричної енергії агломашини. На даний час на ПАТ «Запоріжсталь» використовуються агломашини без автоматизованого регульованого електроприводу, які вважаються менш енергоефективними.

Отримані результати рекомендуються для впровадження на агломераційний цех ПАТ «Запоріжсталь» з метою підвищення ефективності електричної енергії.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА.....	9
1.1 Загальні відомості про ПАТ «Запоріжсталь».....	9
1.1.1 Курс розвитку ПАТ «Запоріжсталь»	11
1.2 Агломераційний цех.....	16
1.2.1 Відомості про аглофабрику.....	16
1.2.3 Склад агломераційного цеху.....	23
1.2.4 Характеристика матеріальних складів	25
1.2.5 Характеристика корпусу шихтопідготовки та його устрій	29
2 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ	38
2.1 Електропривод для виробництва окатишів.....	39
2.2 Електропривод інших механізмів аглофабрики	40
2.3. Конвеєрний транспорт	41
2.4 Аналіз умов та режиму роботи електрообладнання	41
2.5 Розробка технічного завдання	42
3. ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.....	44
3.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення електродвигуна.....	46
3.2 Механічна та електромеханічна характеристики двигуна	50
3.3 Визначення області допустимої тривалої роботи двигуна.....	53
3.4 Побудова необхідних областей тривалої та короткочасної роботи двигуна.....	56
3.4.1 Побудова областей роботи в площині механічних характеристик двигуна.....	56

3.4.2 Побудова областей роботи електроприводу в площині електромеханічних характеристик двигуна	57
3.6 Фінансово-економічна оцінка проекту.....	63
3.6.1 Аналіз конкурентних технічних рішень.....	64
3.6.2 Бюджет проектної роботи	66
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	77
ДОДАТОК А	79

ВСТУП

Агломерат – продукція отримана за допомогою агломашины, в якій спікають шихту у грудки, що містить здрібнений рудний матеріал (залізорудний дрібняк), залізорудний концентрат, коксовий дрібняк та флюсовий дрібняк. Технологічно агломерація це процес перетворення залізорудної сировини на напівфабрикат, необхідний для виробництва чавуну.

Сучасні методи виробництва агломерату можливі лише за використання відповідного обладнання, яке надає змогу отримувати якісну продукцію з відповідною якістю для умов ринку.

Значна енергоємність агломераційного цеху є причиною для розробки заходів та програм щодо підвищення енергоефективності. Задля виконання таких цілей потрібно прийняти ряд рішень щодо скорочення витрат на енергопостачання за рахунок використання автономних потужностей, що генерують, у тому числі за рахунок збільшення частки утилізації вторинних ресурсів. Покращення існуючої технології виробництва та підвищення його енергоефективності можливе за умов модернізації, реконструкції, ремонту існуючого допоміжного, технологічного, енергетичного обладнання або заміщення частини обладнання більш сучасним та енергоефективним.

Висока енергоємність насамперед пов'язана з роботою агломераційних агрегатів за застарілими технологіями та через низький ступінь утилізації відходів виробництва.

На ПАТ «Запоріжсталь» виготовляють агломерат, так як і на більшості металургійних заводах, переважно на агломераційних машинах стрічкового типу. Агломераційна машина являє собою піч з колосниками (решітками) на які вкладають аглоруду і паливо. Температура в горні агломераційної машини сягає 1400 °С.

Найбільша кількість агломерату йде на виплавку чавуну у доменний цех. Залишок агломерату, а саме дрібні грудочки, повертають у змішувач для

підготовки шихти, його використають при виготовленні іншої порції агломерату.

Літературний аналіз існуючої технологічної схеми виробництва агломерату, а також статистичний аналіз виробництва, дав змогу вказати на недоліки певних етапів виробництва таких, як матеріальне та моральне зношення, недостатність енергоефективності та енергозбереження. Тому для покращення якості енергоефективності обладнання агломераційного цеху вважається за необхідність у нововведеннях на окремих ділянках виробництва. Розв'язання такої проблеми може підвищити економічно-виробничі показники виробництва, що є вагомим обґрунтуванням актуальності цього дипломного проекту.

Мета цієї роботи – аналіз існуючої технології виробництва, зокрема конструкцій обладнання, аналіз статистичних даних по дефектам та відходам агломераційного цеху, розробка плану для покращення виробництва шляхом інтегрування у виробництво низки заходів щодо підвищення ефективності використання електроенергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь».

1.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальні відомості про ПАТ «Запоріжсталь»

ПАТ «Запоріжсталь» займає лідируючі місця по виробництву сталі в Україні, обсягам експорту, постачанням валюти, а також податковим відрахуванням серед підприємств з повним металургійним циклом. Бюджет України у 2022 році отримав від комбінату податкові перерахування на рекордну суму в розмірі 3,2млрд. гривень, що на 28 % (на 704 млн гривень) більше, ніж минулого року.

ПАТ «Запоріжсталь» стабільно розвивається, працює і продовжує модернізацію з використанням прогресивних сучасних і відповідаючих усім світовим стандартам природоохоронних технологій. Проектні потужності підприємства забезпечують виробіток близько 6,3 млн тонн агломерату, 4,07 млн тонн сталі, 4,2 млн тонн чавуну, порядку 1,2 млн тонн холодного і порядку 3,7 млн тонн гарячого прокату. У 2022 році вироблено 3890,7 тис. тонн сталі, 3600,2 тис. тонн чавуну, 3367,9 тис. тонн прокату.

Завдяки унікальному географічному положенню ПАТ «Запоріжсталь» має значні переваги у сфері логістики за рахунок близькості до постачальників сировини, залізничних та водних магістралей. Комбінат у 2022 році забезпечив поставки споживачам водним транспортом через Запорізький річковий порт понад 540 тис. тонн металопродукції [1].

ПАТ «Запоріжсталь» системно модернізує свої виробничі потужності, приділяючи особливу увагу питанням екології. З 2018 року на екологічну реконструкцію і модернізацію комбінату було направлено 5,7 мільярда гривень.

Одними із головних проектів екологічної модернізації комбінату є:

- масштабна модернізація доменної печі № 4 з установкою підбункерної естакади та системи аспірації ливарного двору;
- масштабна реконструкція доменної печі № 3;

- проект модернізації газоочисних систем аглофабрики;
- будівництво нової травильної лінії в цеху холодної прокатки № 1.

З 2019 року на комбінаті «Запоріжсталь» було збудовано 6 газоочисток. В штатному режимі працюють газоочистки агломашин №1 і №2. На даний момент у режимі дослідно-промислової експлуатації знаходяться газоочистки агломашин №3-6. Аглофабрика комбінату досягла міжнародних екологічних стандартів за рівнем очищення газів і пилу і все це завдяки екологічній модернізації аглофабрики. Робота всіх 6 газоочисток агломераційного цеху вже позитивно впливає на ситуацію щодо екології в регіоні. Загальні викиди комбінату по пилу скоротилися на 42 %, в порівнянні з кількістю викидів до введення екологічної модернізації. Модернізація газоочисних установок агломашин №3-6 забезпечила очистку повітря від сірчистого ангідриду – нижче 400 мг/м^3 , а від пилу до 50 мг/м^3 .

Ще одним великим проектом комбінату стала масштабна реконструкція доменної печі № 3. Сучасна система аспірації агрегату забезпечила очистку викидів від пилу до 50 мг/м^3 . На цей проект було виділено 1,5 млрд гривень. В рамках цього проекту нова система аспірації ливарного двору доменної печі № 2 була введена в дослідно-промислову експлуатацію, оснащена високоефективними рукавними фільтрами з імпульсивною регенерацією та системою пневмотранспорту для повернення уловленого пилу в виробництво[1].

Чисельність колективу ПАТ «Запоріжсталь» становить близько 13 тис. осіб. У 2022 році комбінат підвищив заробітну плату на 17 % в порівнянні з минулим роком, яка на даний момент складає близько 20 тисяч гривень. Також працівники комбінату забезпечені безкоштовним медичним страхуванням та медобслуговуванням, регулярним санітарним оздоровленням та іншими соціальними пільгами.

1.1.1 Курс розвитку ПАТ «Запоріжсталь»

Програма безперервного вдосконалення

З серпня 2012 року на ПАТ «Запоріжсталь» стартувала програма безперервного вдосконалення. Це системний комплексний підхід до вирішення проблем які виникають на виробництві, оптимізація процесів виробництва для зниження сировинних та матеріальних витрат, часу виробничого циклу та поліпшення якості продукції, яку випускають.

Метою цієї програми є спроможність співробітника самостійно виявляти існуючі проблеми, визначати їх першопричини і впровадити системні рішення щодо недопущення та усунення подібних проблем.

Основними напрямками безперервного вдосконалення є:

- система перемірювання по КПЕ, впроваджена і розроблена працівниками комбінату;
- оптимізація процесів виробництва за допомогою операційних покращень;
- підвищення якості продукції завдяки перелікам контрольованих параметрів технології та обладнання;
- робота команд безперервного вдосконалення і система подачі пропозицій;
- на базі відділу безперервного вдосконалення комбінату створення «Школи виробничих менеджерів»;
- система організації місця роботи «5С», яка значно покращує керованість і ефективність процесу та сприяє поліпшенню корпоративної культури і підняттю продуктивності праці

Система безперервного вдосконалення має за завдання впровадження ТРМ (системи догляду за обладнанням, в якій спільними зусиллями беруть участь ремонтний і технологічний персонал) та впровадження SMED (постійне підвищення ефективності завдяки проведенню переналагоджень).

Енергозбереження

Одним із пріоритетних напрямків діяльності підприємства є раціональне використання виробничих ресурсів та підвищення рівня енергоефективності.

Відповідно міжнародному стандарту ISO 50001 система енергетичного менеджменту комбінату дозволяє досягти суттєвої економії енергетичних ресурсів без значних вкладень і завдяки застосування кращої управлінської практики. Ця система дозволяє знижувати витрати на енергоносії, енергоємність і собівартість продукції, сприяє удосконаленню поводження з відходами та забезпеченню виконанню вимог щодо зниження викидів парникових газів.

Одним із успішних впроваджень у сфері енергозбереження на ПАТ «Запоріжсталь» є введення в роботу установки вдування ПВП (пиловугільного палива), це вирішило проблему споживання природного газу в доменному виробництві, завдяки повній відмові від нього.

ПАТ «Запоріжжкокс» разом з ПАТ «Запоріжсталь» реалізували проект з обміну вторинними газами. Цей проект діє і на даний момент, що дозволяє використовувати коксо-доменну і природно-доменну суміші(набагато дешевші аналоги природного газу) в групі прокатних цехів та в агломераційному цеху. В рамках цього проекту було збільшено обсяг поставок коксівного газу до 8 млн. м³ на рік, знизивши цим самим споживання природного газу на 4 млн. м³ на рік. Це дозволило додатково заощадити близько 26 млн. гривень на рік.

Таким чином на 2022 рік комбінат рекордно знизив споживання природного газу (до 160 млн. м³, що на 22 % (44 млн. м³) нижче минулорічних показників (204 млн. м³), що свідчить про значне покращення енергозбереження). У майбутньому підприємством передбачається перехід на конвертерний спосіб виплавки сталі з мартенівського, що істотно підвищить енергозберігаючий ефект[1].

Раціональному використанню електроенергії та іншим видам енергоресурсів на підприємстві приділяють особливу увагу. Таким чином за допомогою Системи подачі пропозицій всі раціональні ідеї співробітників ПАТ «Запоріжсталь» впроваджують у виробництво, а авторів реалізованих проектів нагороджують преміями. Економічний ефект від СПП у 2022 році складає 215 млн. грн.

Інновації та інвестиції

Комбінат веде активну реконструкцію і модернізацію обладнання, впроваджує інновації, постійно збільшуючи ефективність і обсяги виробництва, підвищуючи не лише якість готової продукції, а й скорочуючи витрати.

Пріоритетні напрямки переобладнання виробництва:

- впровадження сучасних екологічних технологій ;
- збільшення кількості холодного і гарячого прокату, товарних слябів, металовиробів і чавуну;
- ресурсозбереження;
- енергозбереження;
- розширення асортименту металопродукції та підвищення його якості;

Комбінат «Запоріжсталь» вперше в країні реалізував великий інфраструктурний проект за допомогою інтелектуальної 3D-моделі доменної печі забезпечивши цим високу ефективність реконструкції і скоротивши строки проведення реконструкційних робіт (на етапі планування інтелектуальна модель допомогла виявити та усунути понад 11 тисяч помилок). Доменну піч №3 під час реконструкції оснастили новітньою системою аспірації з приладами безперервного автоматичного контролю.

В табл. 1.1 наведено найбільші інвестиційні проекти ПАТ «Запоріжсталь» на період 2018-2022 років.

Таблиця 1.1 – Інвестиційні проєкти ПАТ «Запоріжсталь»

Інвестиційний проєкт	Сума інвестицій
У доменному виробництві введення в експлуатацію базового складу вугілля в комплексі установки ПВП	1,35 млрд. грн.
Завершення будівництва газоочисних установок агломашин №3-6 та реконструкція агломашин №1-2	870 млн. грн.
В цеху холодної прокатки №1 ведення в дію лінії соляно-кислотного травлення	890 млн. грн.
Реконструкція доменної печі №4 з будівництвом нових систем аспірації підбункерного приміщення і ливарного двору	950 млн. грн.
Введення в роботу комплексу переробки шлаків «АМКОВ» для утилізації промислових відходів	~30 млн.грн.
Впровадження сучасної інформаційно-диспетчерської системи (ІДС) управління залізничним транспортом	600 тис.грн.
Введення системи візуалізації та моніторингу технологічних процесів	~5,8 млн.грн.
Зупинка та масштабна реконструкція доменної печі №3	~1,5 млрд.грн.

1.1.2 Структура виробництва

Виробничі потужності ПАТ «Запоріжсталь» (рис.1.1) складають:

- Агломераційний цех (6 агломашин).
- Доменний цех (4 доменні печі).
- Мартенівський цех (1 двохванний сталеплавильний агрегат і 7 мартенівських печей).
- Цех підготовки складів.
- Цех гарячої прокатки тонкого листа.

- Обжимний цех.
- Цех холодної прокатки №1 і №3.

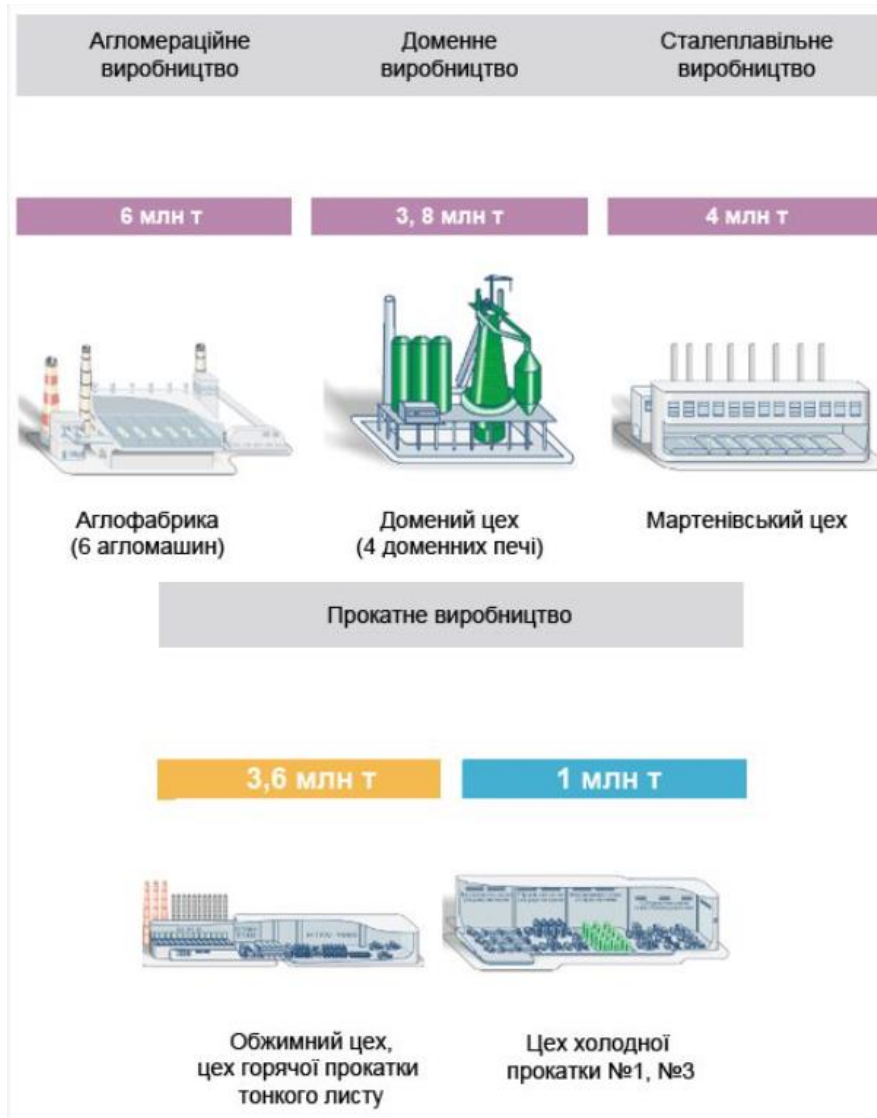


Рисунок 1.1 – Виробничі потужності ПАТ «Запоріжсталь»[1]

Агломераційний цех комбінату виробляє залізорудний агломерат потрібний для виплавки чавуну. Майже всі процеси виробництва на аглофабриці повністю автоматизовані.

Доменний цех щорічно виплавляє понад 3,8 млн. тонн чавуну на рік. На відміну від інших підприємств ПАТ «Запоріжсталь» виробляє чавун з низькою місткістю в ньому фосфору і сірки.

Мартенівський цех виплавляє понад 4,0 млн. тонн сталі на рік. Печі мартенівського цеху використовують природний газ, а сталь продувається аргоном і киснем. Після виплавки сталь розливають у злитки масою до 18,6 тонн, їх використовують при виробництві листового прокату.

Цех гарячої прокатки тонкого листа оснащено агрегатами що забезпечують постачання прокату в рулонах і листах товщиною (2,0...8,0) мм, шириною (860...1500) мм і масою рулону до 16 т.

Виготовлення холоднокатаного плоского прокату товщиною від (0,5...2,0) мм, шириною (850...1500) мм в листах довжиною до 4000 мм і в рулонах масою до 16т, а також виготовлення холоднокатаної стрічки товщиною (0,2...2,0) мм відбувається в цеху холодної прокатки №1. ЦХП №1 оснащено засобами поперечного різання і подовжнього розпуску, а також засобами для дренажу, це забезпечує поставку холоднокатаного прокату товщиною (0,2...2,0) мм, шириною (10...1500) мм і довжиною листа до 3950 мм, а також масою рулонів до 15 тонн [2].

На стані «2800» з вуглецевих марок сталі цех холодної прокатки № 3 виготовляє холоднокатаний лист шириною (1000...2300) мм, довжиною до 3500 мм і товщиною (1,5...0,5) мм. Спеціальне відділення цеху займається виробництвом полірованих і шліфованих рулонів і листів [1].

1.2 Агломераційний цех

1.2.1 Відомості про аглофабрику

Аглофабрика (агломераційна фабрика) являється частиною гірничо-збагачувального комбінату або металургійного заводу, такого як ПАТ «Запоріжсталь». На аглофабриці виготовляють агломерат, шихту для використання в доменних печах. Агломераційний цех входить до групи цехів, які забезпечують діяльність доменного цеху. До основного обладнання аглофабрик відносять агломераційні машини, конвеєрне обладнання, проміжні бункери, тягодуттьове обладнання, газоочисні споруди та

охолоджувачі агломерату. До складу аглофабрики ПАТ «Запоріжсталь» також входять вагоноперекидачі, для приймання шихтових матеріалів, склади, та спеціальні гаражі для розморожування вагонів трансферкарів взимку. На рис. 1.2 зображено технологічну схему виробництва агломерату.

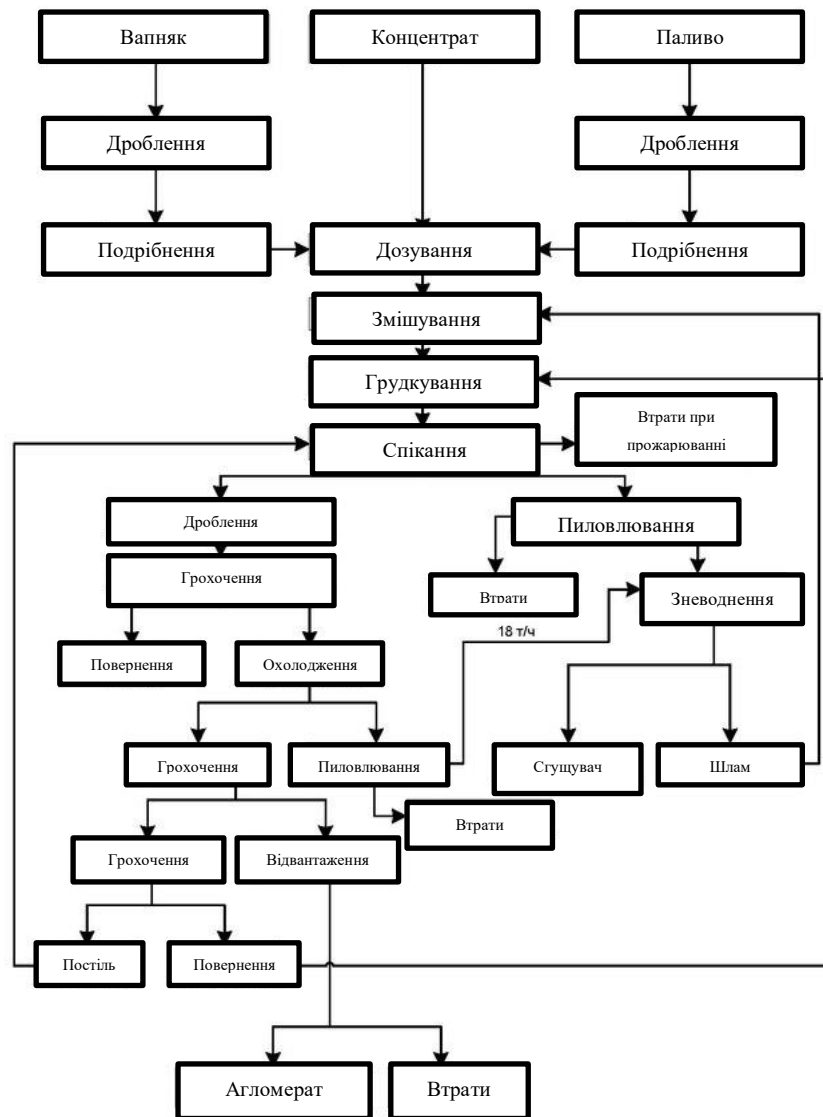


Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва агломерату

Агломераційна фабрика є досить складним комплексом споруд, машин і механізмів, які сприяють підготовці концентратів і руд до спікання, власне агломерацію та обробку готового продукту.

Бункери для шихти заповнюють зверху за допомогою стрічкового конвеєру. Також конвеєром заповнюють і бункер повернення агломерату. Вагові стрічкові дозатори допомагають дозувати шихту на збірний конвеєр. На аглофабриці ПАТ «Запоріжсталь» дозувальне обладнання згруповане на окремій ділянці виробництва агломерату.

Матеріали з бункерів подають до барабанів-змішувачів. Шихту зволожують та перемішують у спеціальних агрегатах. Поступово шихта скочується у грудочки, стає пухкою і зернистою, цей процес підвищує її газопроникність, що дозволяє масі спікатися рівномірно (газ легше з'єднується з частинками палива). Грудки зволоженої шихти укладаються живильником на палети, попередньо на колосникові ґрати живильником укладається постіль, подана до стрічки окремим конвеєром. Палети із шихтою проходять над вакуум-камерами. Запальний горн встановлено над головною частиною стрічки. Гази, які за допомогою ексгаустера, по збірному газопроводу відходять до газоочисток, де після очищення в мультициклонах та електрофільтрах викидаються в трубу.

Готовий «корж» агломерату падає з палети у валкову дробарку, після чого за допомогою грохоту відокремлюють дрібні грудочки агломерату (гаряче повернення), які використають при виготовленні іншої порції агломерату. Придатний агломерат охолоджується повітрям або водою в охолоджувачі і далі конвеєром прямує на грохот холодного агломерату. Після відділення постелі на грохоті готовий продукт транспортується до доменного цеху [5], а повернення за допомогою конвеєрів до бункеру повернення. До гарячого та холодного повернення з грохоту додають шлам з газоочистки а також просип і пил.

1.2.2 Процес виробництва агломерату

Агломераційний цех ПАТ «Запоріжсталь» складається з шести реконструйованих агломашин зі збільшеною площею спікання до 84 м². В

якості сировини для виробництва агломерату використовується аглоруда (залізорудний дрібняк), флюсовий вапняк, залізорудний концентрат, та порівняно новий інгредієнт – повернення. Як паливо використовується коксовий дрібняк, або енергетичне вугілля при його дефіциті. Нині в агломераційному цеху впроваджено автоматичне дозування усіх компонентів шихти, освоєна технологія виробництва офлюсованого агломерату, що значною мірою вплинуло на якість чавуну та на підвищення продуктивності та ефективності доменних печей в цілому. Виробництво агломерату представлено на рис 1.3.

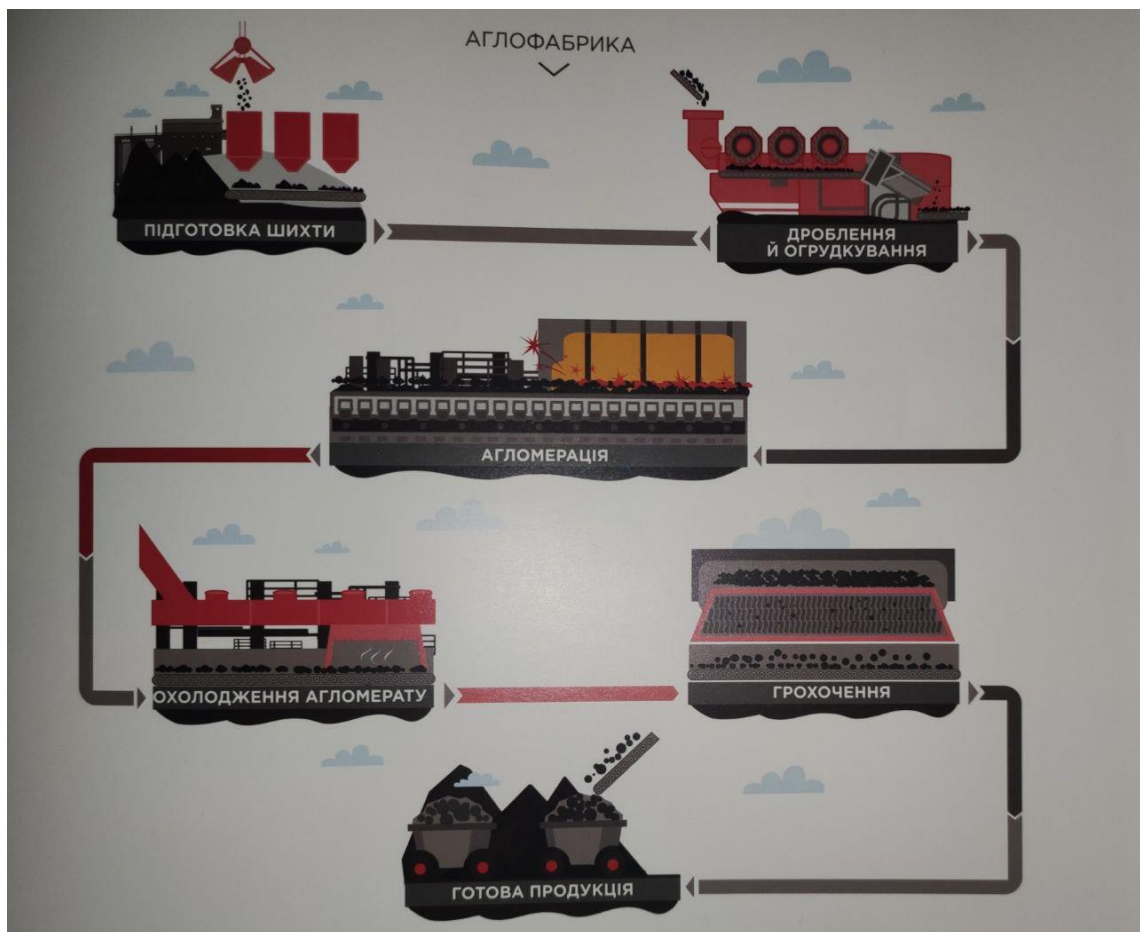


Рисунок 1.3 – Виробництво агломерату[2]

Агломерат отримують шляхом спікання дрібних (не більше 13 мм) залізних руд і металургійних відходів комбінату (колошниковий пил, окалина, доменне відсівання агломерату, шлам). Для офлюсування

агломерату використовується вапняк, а паливом служить кокс дрібних фракцій [3].

Вивантаження із залізничних вагонів залізорудної сировини та інших матеріалів шихти, окрім коксу і шламу, здійснюється трьома роторними вагоноперекидачами. Взимку замерзлий у вагонах концентрат і аглоруда розігріваються у вагонах розморожування. Кокс вивантажується вручну. Шлам транспортується за допомогою стрічкових конвеєрів.

Після вивантаження аглоруда разом з концентратом транспортується до закритого складу залізорудної сировини. З конвеєрів надходить шлам. Концентрат та аглоруду штабелюють окремо, укладаючи їх пересувними розвантажувальними візками. Укладання ведеться постійно, що позитивно сприяє їх усередненню [3]. Звідти вапняк надходить у корпус дроблення. У ньому є чотири молоткові дробарки і чотири віброгрохоти. На дробарках подрібнюють вапняк (до величини (0...50) мм), на грохотах виділяють дрібні фракції (0...3) мм та (5...10) мм. Фракція (5...10) мм обпалюється на стрічковій обпалювальній машині. Решту маси сортованого вапняку повертають на повторне дроблення (у суміші з черговою порцією складського вапняку)[4].

Кокс вивантажують у приймальні бункера палива. З цих бункерів кокс подається в корпус дроблення палива, де на чотирьох валкових дробарках подрібнюється до (0..3) мм.

Після стадії підготовки шихтові матеріали надходять у відповідні бункери корпусу дозування. З цих бункерів за допомогою тарілкових живильників та автоматичних ваговимірювачів матеріали дозуються (тобто видаються у певних кількостях) на шихтовий транспортер. Потім з відстійника в шихту вноситься пульпа (тістоподібна маса – продукт мокрого уловлювання внутрішнього цехового виробничого пилу). Складена шихта прямує в корпус первинного змішування, де до неї додається гаряче повернення (агломераційний дрібняк величиною (0...10 мм)). Підігріта поверненням шихта завантажується в спеціальний барабанний агрегат, де

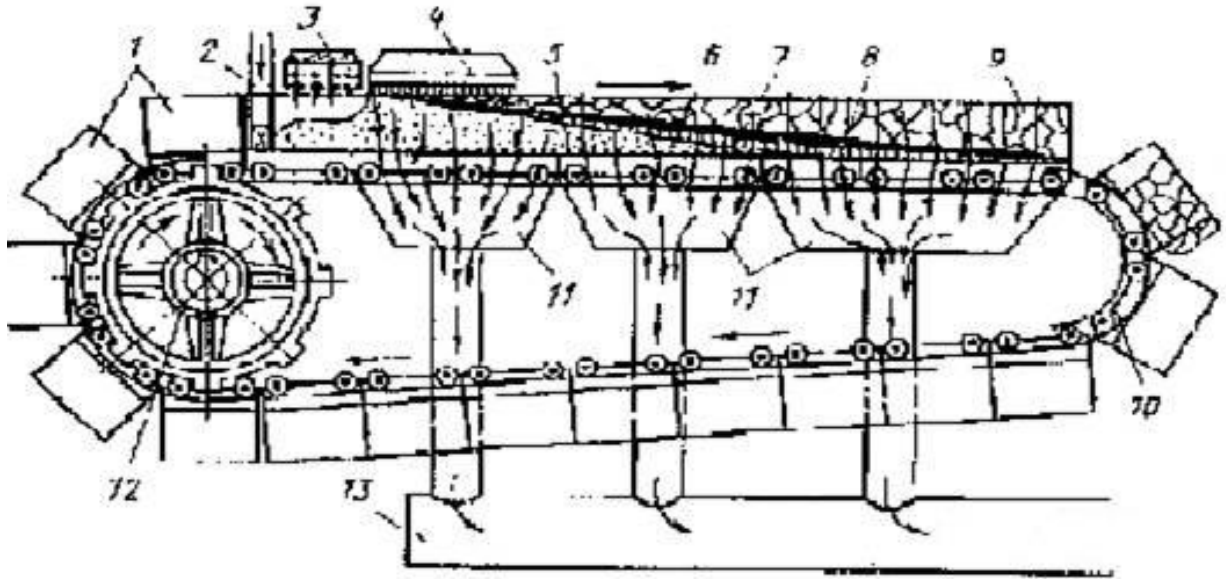
вона зволожується до (6...8) % і скочується в грудочки. Метою цього процесу є підвищення газопроникності шихти. Підготовлені грудки шихти поступово завантажують на безперервно рухомі палети агломашин.

Завантажена на аглострічку шихта (висотою шару 210 мм) повільно (зі швидкістю (1,5..2) м/хв) проходить під горном агломашини, де горить природний газ. Температура полум'я досягає (2200...3000) °С. Від газового полум'я спалахує кокс (паливо шихти)[6]. Горіння палива в шихті підтримується в результаті просмоктування атмосферного повітря крізь шихту зверху вниз під впливом насосів – ексгаустерів. Зона горіння поступово пересувається зверху вниз по висоті шару шихти до колосників зі швидкістю (10...40) мм/хв. При досягненні зони горіння колосників процес спечення закінчується. Зазвичай він продовжується (10...20) хв. Після того як агломерат готовий, він деякий час рухається на палетах аглострічки і через нього всмоктується повітря, прискорюючи охолодження. У момент коли зона горіння досягає колосників палети, палети виходять у закруглення завантажувальної частини аглострічки і перекидається[5].

З перекинутої палети агломерат сходить на самобалансний грохот, на якому відсівається частина дрібних шматків (первинне повернення, величиною (0...10 мм)). Після цього агломерат охолоджується в чашових охолоджувачах під впливом атмосферного повітря, що просмоктується. Після цього агломерат піддається грохоченню на віброгрохотах корпусу сортування, під час якого з агломерату відсівається дрібниця (вторинне повернення). Первинне та вторинне повернення транспортується в корпус первинного змішування.

Пил, що відсмоктується повітрям зі спеченого шару шихти осідає в пиловловлювачах агломашин, надходить у первинне повернення. Готовий агломерат надходить у доменний цех.

На рис. 1.4 зображено схему процесу спікання агломерату на агломераційній машині.

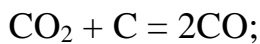
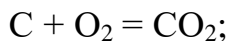


1 – візок для спікання (палета); 2 – завантажувальна коробка; 3 – барабанний живильник; 4 – шихтовий бункер; 5 – запалювальний горн; 6 – зона сирої шихти; 7 – зона сушіння та підігріву шихти; 8 – зона горіння шихти; 9 – зона готового агломерату; 10 – розвантажувальний кінець машини; 11 – вакуум-камери; 12 – провідна зірочка машини; 13 – складний газопровід.

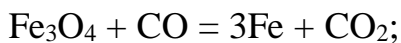
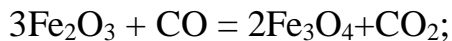
Рисунок 1.4 – Схема процесу спікання на агломераційній машині

Фізико-хімічні процеси, що відбуваються у зоні горіння твердого палива (при $t = (1000 \dots 1500) \text{ } ^\circ\text{C}$):

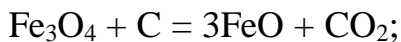
1) Горіння палива:



2) Відновлення оксидів Fe вуглецем:



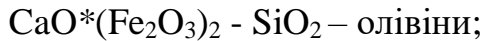
3) Відновлення магнітного окису Fe твердим вуглецем:



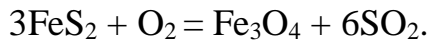
4) Розпад вапняку:



5) Сполука CaO з FeO, SiO₂, Fe₂O₃ (утворення легкосплавних сполук, що входять до складу агломерату):



б) Вигоряння S (до 90-98%):



Агломерат, який виробляється в агломераційному цеху є офлюсованим.

Цей вид агломерату, на відміну від звичайного, отримують в результаті додавання до шихти для агломерації вапняку. Ступінь офлюсування визначається відношенням вмісту оксиду кальцію до вмісту кремнезему, що міститься не тільки в агломераті, але і в інших складових доменної шихти.

Застосування офлюсованого агломерату позитивно впливає на доменне виробництво. По-перше, у доменній печі виключається процес розкладання вапняку. По-друге, зростає обсяг завантажуваної в піч залізорудної сировини за рахунок виключення вапняку, що призводить до збільшення випуску чавуну. По-третє, покращуються відновлюваність агломерату, так як окис кальцію, вапняку та вапна утворюють з кремнеземом силікати, звільняючи Fe з хімічних сполук.

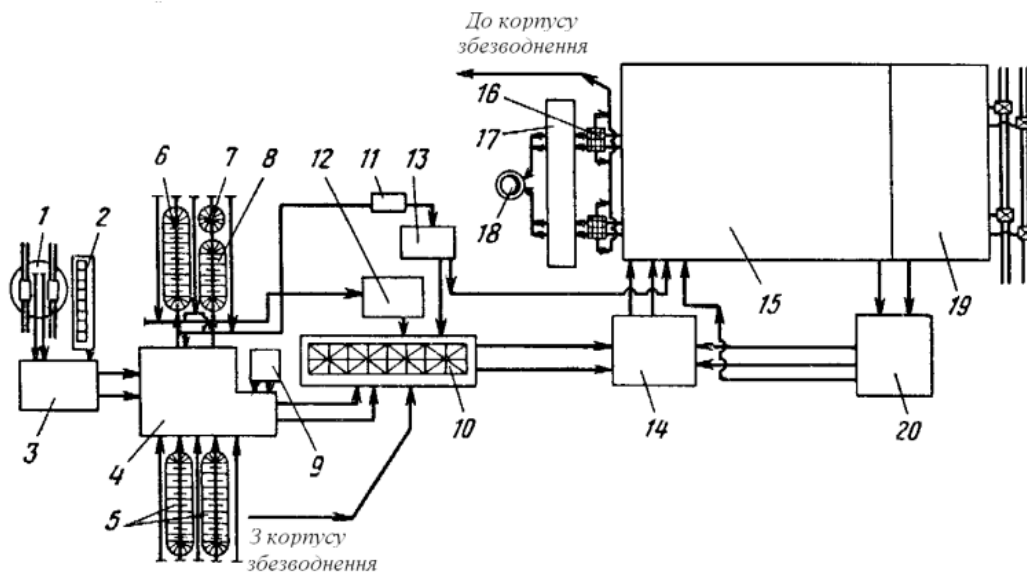
1.2.3 Склад агломераційного цеху

До складу агломераційного цеху входять наступні конструкції:

- Вагоноперекидні відділення.
- Приймальні бункери.
- Відділення розподілу сировини.
- Склади сировини.
- Шихтові бункери.
- Відділення здрібнювання й дроблення палива і флюсу.
- Агломераційне відділення.
- Газоочисні споруди.

- Дільниця нагнітачів.
- Відділення сортування й охолодження агломерату.
- Відділення сортування «повернення».
- Споруди з допоміжними службами.

Ці конструкції та споруди є частиною агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь». На рис.1.5 зображена принципова схема споруд і конструкцій аглофабрики.



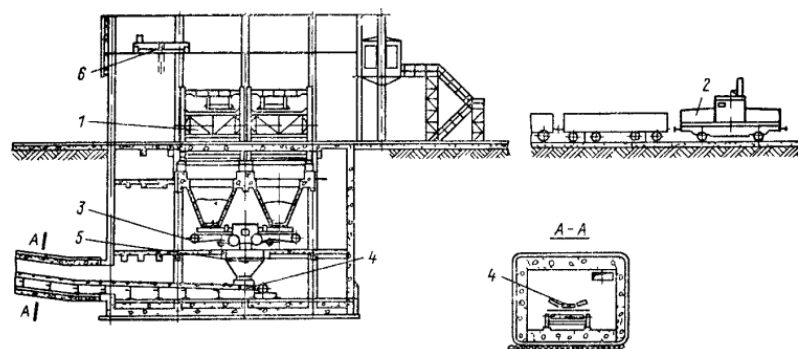
1 – вагоперекидне відділення; 2 – прийомні бункери окалини, коксу та колошникового пилю; 3 – вузол перевантажування; 4 – розподільне відділення; 5 – залізорудний склад; 6 – склад вапняку; 7 – марганцеворудний склад; 8 – паливний склад; 9 – відділення дроблення мерзлої руди; 10 – бункери шихти; 11, 12, 13 – відділення дроблення палива; 14 – первинне змішування; 15 – агломераційне відділення; 16 – мокре очищення газів або батарейні циклони; 17 – нагнітачі; 18 – димар; 19 – охолоджувальне відділення й сортування агломерату; 20 – сортування повернення.

Рисунок 1.5 – Схема споруд і конструкцій агломераційної фабрики

1.2.4 Характеристика матеріальних складів

Роторні вагоперекидачі, що розташовані в спеціальному корпусі, приймають компоненти шихти за допомогою залізниці. Тепловози ПАТ «Запоріжсталь» забезпечують подачу вагонів до корпусу вагоперекидачів, де повні вагони розвантажують, а вже порожні збирають. Електрифіковані вагоштовхачі виконують маневрові роботи з подачі вагонів [15]. Система стрічкових конвеєрів допомагає подавати на приймально-усереднювальний склад матеріали, виважені з вагонів у рейкові бункери. Екскаватори та мостові перевантажувачі забезпечують розвантаження. На ПАТ «Запоріжсталь» всі залізобетонні матеріали і флюси укладаються у штабелі разом, а потім забираються грейферами. При цьому вміст заліза коливається (0,75...1,3) %.

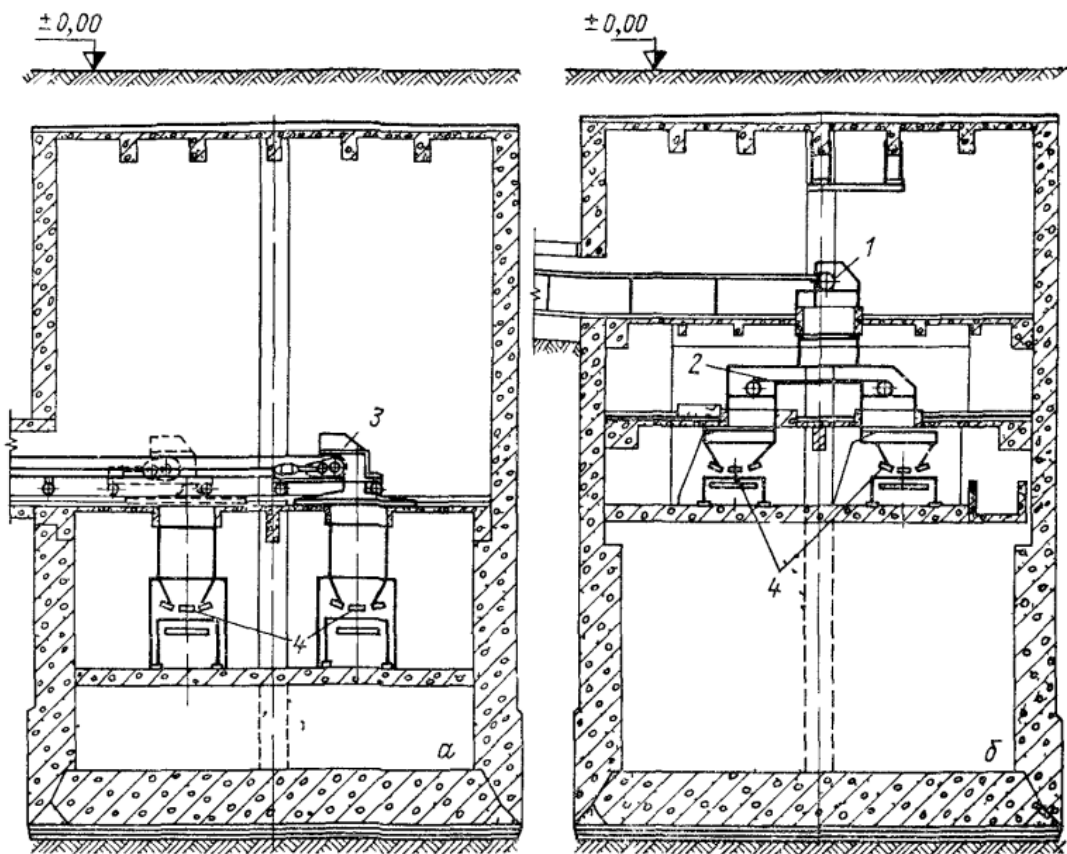
Вагоперекидне відділення (на рис. 1.6) складається з підземної і надземної частин. У підземній частині встановлені бункери під вагоперекидачами, а в надземній частині розміщені станції керування, сантехнічні пристрої, а також два роторних вагоперекидачі для розвантаження вагонів, вантажопідйомністю 60, 90 та 125 тонн.



- 1 – стаціонарний роторний вагоперекидач; 2 – електричний візок-штовхач;
 3 – пластинчастий живильник; 4 – стрічковий конвеєр; 5 – вузол завантаження конвеєра; 6 – електричний мостовий кран.

Рисунок 1.6 – Вагоперекидне відділення

Пластинчасті або електровібраційні живильники забезпечують видачу матеріалів з бункерів. Залізничні ваги, встановлені перед кожним з вагоперекидачів, в свою чергу зважують всю сировину, що надходить на аглофабрику. Окремі прийомні бункери використовують для окалини, колошникового пилу та коксу [4]. Всі матеріали з приймальних бункерів та вагоперекидного відділення проходять через перевантажувальні вузли (рис.1.7), де за допомогою стрічкових конвеєрів подаються у відділення розподілу, яке використовують для передачі матеріалів на усередню вальні склади і назад зі складів на аглофабрику.



1,4 – стрічкові конвеєри; 2 – реверсивний стаціонарний конвеєр;
 3 – пересувний конвеєр.

Рисунок 1.7 – Перевантажувальні вузли із приймальних бункерів (а) та з вагоперекидачів (б)

Поруч із відділенням розподілу розташовується відділення розморожування і дроблення рудних матеріалів, обладнане конусними дробарками КМД-2200. Усереднювальні склади агломераційного цеху приймають протягом доби (3...4) тис. тонни вугілля та вапняку та (30..40) тис. тонн руди і концентратів. Високий ступінь механізації забезпечують машини періодичної дії, такі як мостові рудно-грейферні перевантажувачі, які укладають у штабелі сировину, що вивантажили пересувним вагоноперекидачем.

На периферії заводу, поблизу аглофабрики, склади хребтового типу (закриті, відкриті) ємністю більше 105 м^3 при довжині штабелів (100..300) м оснащують відкритими стрічковими конвеєрами, що проходять уздовж осі формованого штабеля. За допомогою стрічкового конвеєра (рис.1.8) і автоматичного саморозвантажного візка здійснюється безперервне пошарове формування штабеля

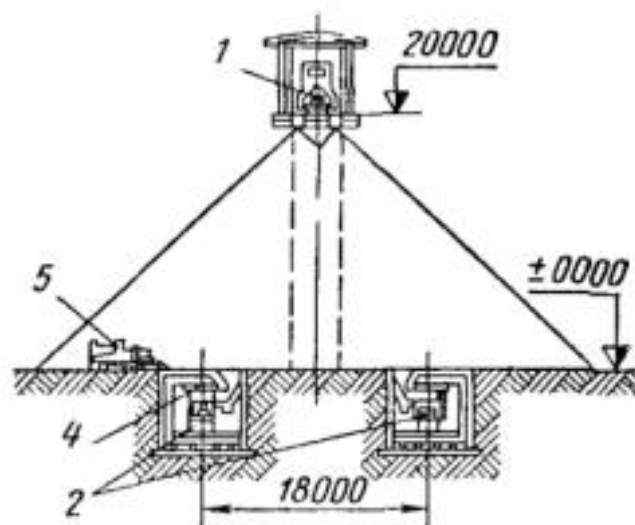
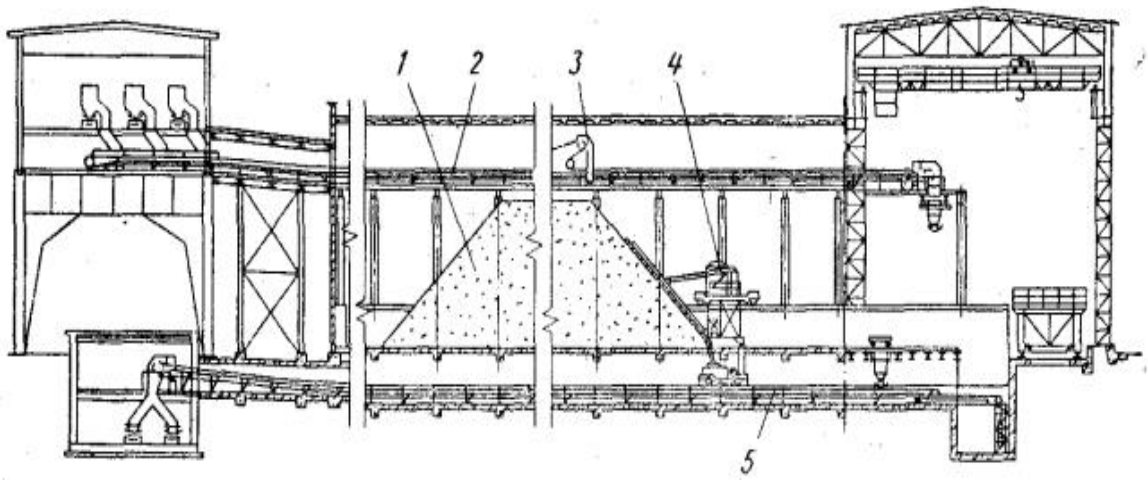


Рисунок 1.8 – Рудоусереднювальний склад з розвантаженням лопатевим живильником

За схемою, зображеною вище, матеріали видаються лопатевими пересувними живильниками, які зіштовхують сировинні матеріали на відповідний конвеєр через суцільну щилину по всій лінії складу.

Продуктивність такого живильника складає 1000 т/год. Для підгортання сировини використовують бульдозери[8].

Але більшу кількість складів аглофабрики ПАТ «Запоріжсталь» становлять закриті рудоусереднювальні склади (рис.1.9). Хоча собівартість усереднення на такому складі майже в 4 рази більша, порівняно з відкритим, але такий склад дає змогу одночасно зсипати матеріал з усієї площі торця штабеля впроріз шарам, що в свою чергу підвищує однорідність рудних матеріалів перед окускуванням. Закриті склади аглофабрики оснащені не лише конвеєрним завантаженням а й усереднювальними рудозбірними машинами УБ-350 конструкції ЮУМЗ [16] та мають продуктивність системи подвійного конвеєру 2400 т/год і 1000 т/год для машини розвантаження штабеля.



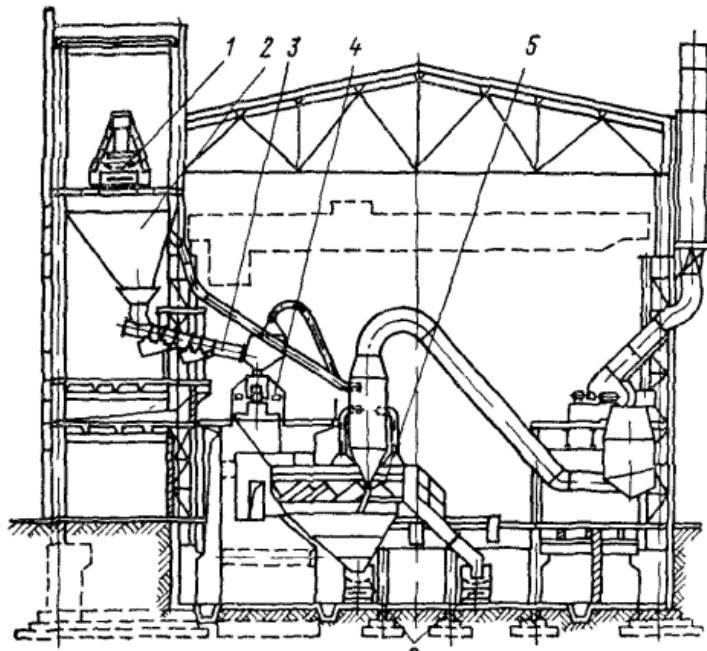
1 – штабель; 2 – підвідний стрічковий конвеєр; 3 – скидальний візок;
4 – усереднювальна рудозбірна машина; 5 – відвідний стрічковий конвеєр.

Рисунок 1.9 – Схема закритого рудоусереднювального складу

Для транспорту штабелеукладача або усереднювальної машини з одного відсіку складу в інший використовують передатні візки.

1.2.5 Характеристика корпусу шихтопідготовки та його устрій

Паливо (кокс) та вапняк укладається у відкритих або закритих штабельних складах. Такі склади мають устрій та устаткування аналогічні рудним складам (рис. 1.8). До корпусів дробіння вапняк і паливо транспортуються стрічковими конвеєрами. На рисунку 1.10 зображено відділення здрібнювання, саме сюди за допомогою стрічкового конвеєра подають вапняк до бункерів. Вапняк з бункерів завдяки електровібраційному живильнику потрапляє до молоткової дробарки. Той вапняк що не відсіявся на решітці дробарки повертається конвеєрною системою, а той що відсіявся у відділення шихтових бункерів. У відсіяного вапняку вміст фракції, як правило, складає 3 мм.

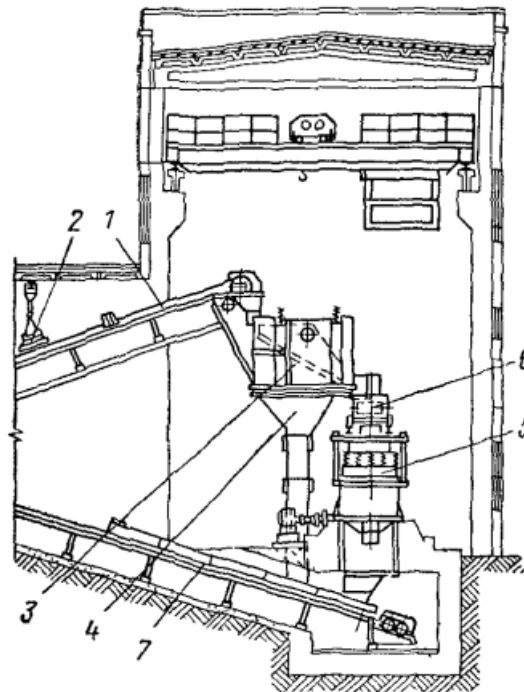


- 1 – стрічковий конвеєр; 2 – бункер; 3 – електровібраційний живильник;
4 – молоткова дробарка; 5 –вібраційний грохот;

Рисунок 1.10 – Схема відділення здрібнювання вапняку

Паливо (кокс) на ПАТ «Запоріжсталь» подрібнюють у дві стадії. На першій стадії кокс дроблять до шматочків розміром 15 мм за допомогою конусної дробарки КМД-2200 або КМД-1750, встановленої у відділенні

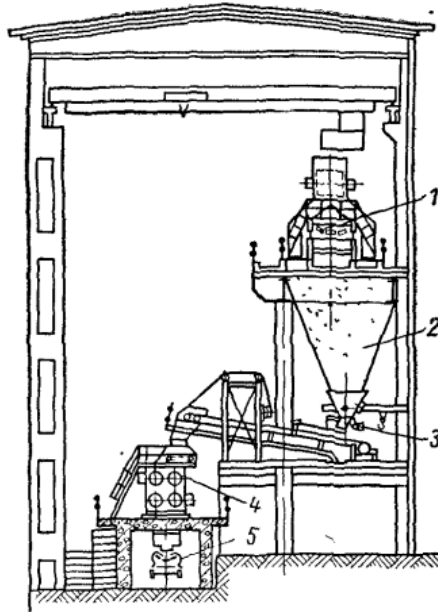
дроблення палива (рис.1.11). До цього відділення кокс потрапляє стрічковим конвеєром. Магнітним уловлювачем забезпечується збереження дробарки від потрапляння у неї металевих предметів. Дрібна фракція коксу відсівається інерційним грохотом і через вирву потрапляє до відповідного конвеєру. Реверсивний конвеєр транспортує кокс до конусної дробарки, після дроблення на якій кокс прямує до відповідного конвеєра[7].



- 1 – стрічковий конвеєр; 2 – магнітний уловлювач; 3 – інерційний грохот;
 4 – вирва; 5 – конусна дробарка; 6 – стрічковий конвеєр;
 7 –відвідний конвеєр

Рисунок 1.11 – Відділення дроблення палива

Транспорт коксу до корпусу здрібнювання палива (рис.1.12) забезпечує стрічковий конвеєр. З бункерів корпусу здрібнювання стрічковими живильниками кокс прямує до чотирьохвалкових дробарок. Здрібнений до розмірів (0...3) мм кокс стрічковим конвеєром направляється у відділення і агломерації та шихтових бункерів для введення коксу в шихту.



1 – реверсивний стрічковий конвеєр; 2 – бункер; 3 – стрічковий живильник;
4 – чотирьохвалкова дробарка; 5 – стрічковий конвеєр

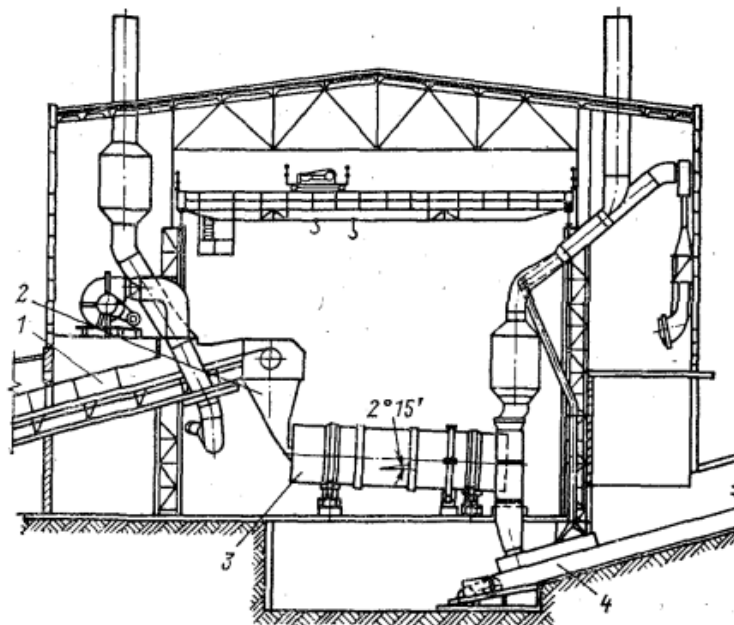
Рисунок 1.12 – Відділення здрібнення палива

Устаткування і обладнання корпусу здрібнювання коксу обладнане пиловловлюючими пристроями і кожухами з метою зменшення виділення пилу. Після підготовки всі шихтові матеріали надходять до шихтових бункерів. На ПАТ «Запоріжсталь» число бункерних рядів відповідає числу агломераційних машин. Для палива використовують 3-4 бункери, для вапняку 4-5, для концентрату 8-9, для звороту, окалини, колошникового пилу та шлаків всі інші бункери.

У відділенні первинного змішування (на рис. 1.13) встановлено лише один обладнаний тарілчастим живильником бункер ємністю 350 м³. Бункери шихти заповнюють реверсивними пересувними стрічковими конвеєрами. Бункери для палива й вапняку а також руди і концентрату обладнані тарілчастими живильниками, для кращого дозування дрібних однорідних матеріалів.

Останнім етапом процесу усереднення шихти є змішування

компонентів агломераційної шихти. На виробництві широкого використання набули змішувальні барабани, вони забезпечують високу продуктивність, що в свою чергу робить доцільним використання на кожен агломераційну машину для первинного змішування один змішувач. Збірним конвеєром змішана шихта надходить до корпусу і подається в барабанний змішувач через прийомну вирву. До відділення агломерації шихта потрапляє за допомогою стрічкового конвеєра. Розвантажувальна та завантажувальна вирви закриті пилоочисними та витяжними пристроями та закриті кожухами, що дозволяє скоротити виділення пилу.



1 – збірний конвеєр; 2 – прийомна вирва; 3 – барабанний змішувач;
4 – стрічковий конвеєр

Рисунок 1.13 – Відділення первинного змішування

Схема ланцюгу апаратів на ПАТ «Запоріжсталь» передбачає подачу дозованої моношихти двома збірними конвеєрами (по одному конвеєру з кожної бункерної лінії корпусу дозувальних бункерів). Кожен конвеєр транспортує моношихту в змішувач інтенсивного типу змішування «EIRICH» (1.14), що дозволить ретельно її перемішати. Змішувач має потужність в 1600

т/год, що задовольняє потреби в моношихті на виробництво з урахуванням коефіцієнту запасу $K = 1,2 \sim 10$ млн. т. Програму виробництва «EIRICH» зведено в таблицю 1.2.

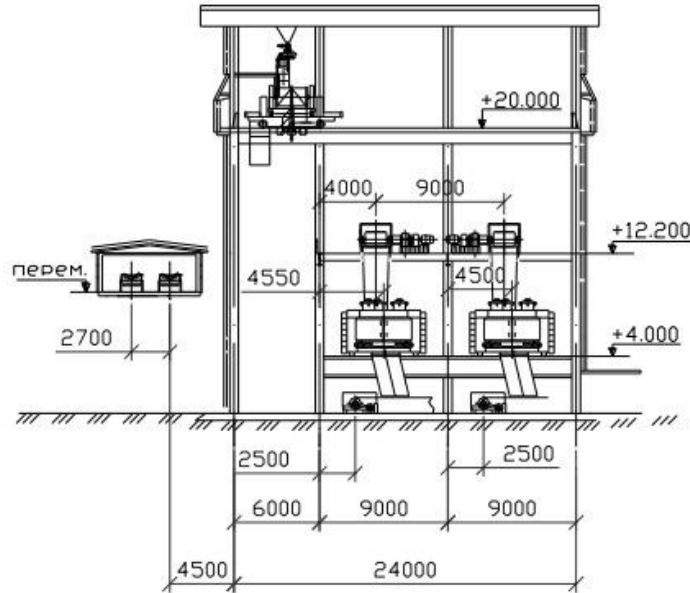


Рисунок 1.14 – Корпус змішувачів інтенсивного типу змішування «EIRICH»

Таблиця 1.2 – Програма виробництва змішувачів «EIRICH»

Тип	Місткість			Принцип дії		Режим роботи	
	Макс., кг	Періодич., л	Безперервн., л	Норм. атмосфер.	Під вакуумом	З охолод- женням	З нагрі- вом
DEV29	6500	4000	3500	+	-	+	+
DZV29	6500	4000	3500	+	-	+	+
DW29/4	6500	4000	3500	+	-	+	+
DW29/5	8000	5000	4500	+	-	+	+
DW29/6	9500	6000	5500	+	-	+	+
DZ31/5	8000	5000	4500	+	-	+	+
DW31/7	11000	7000	6500	+	-	+	+

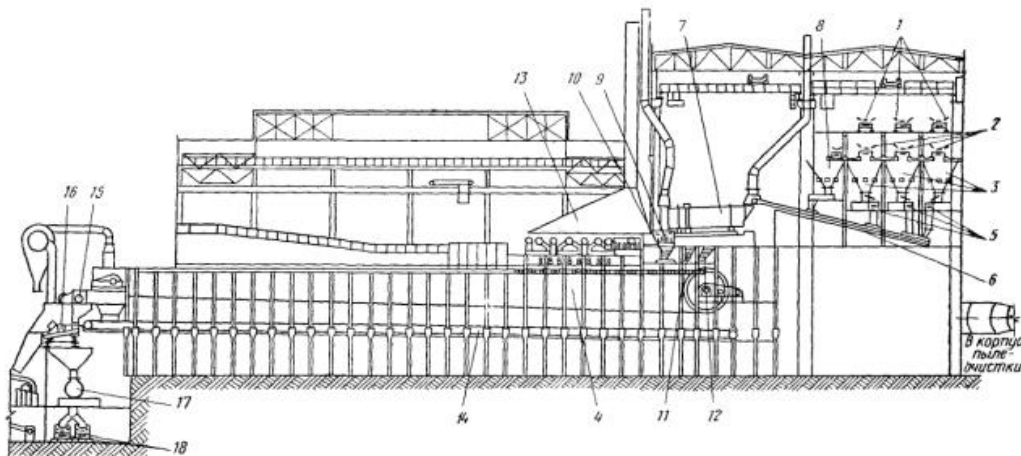
1.2.6 Устрій та характеристика корпусу агломерації

Шихта подається до відділення агломерації за різними схемами. Подача шихти при індивідуальних для кожної агломашини трактах аварійна зупинка спричиняє простій машини. У такому випадку від надійності

конвеєрів залежить ефективність роботи аглофабрики. На аглофабриці заводу «Запоріжсталь» передбачена установка додаткових човникових конвеєрів та бункерів (для забезпечення взаємозамінності трактів).

В агломераційному відділенні (рис. 1.15) шихта стрічковими конвеєрами перерозподіляється на реверсивні пересувні конвеєри, якими пізніше завантажується до розташованих у два ряди бункерів з кожного боку агломашини. З кожної пари сусідніх бункерів з одного боку машини стрічковими конвеєрами шихта передається на стрічковий конвеєр, який живить двохбарабанний змішувач-огрудкувач[4].

З іншого боку агломашини утвориться такий же потік шихти. Це означає, що на кожен агломашину доводиться по два потоки шихти для укладання в два шари на спікальні візки.



- 1,5,6,18 – стрічкові конвеєри; 2 – реверсивний пересувний конвеєр;
 3,8 – бункери; 4 – агломашина; 7 – двобарабанний змішувач-огрудкувач;
 9 – човниковий розподільник; 10,11,12 – завантажувальні вирви; 13 – горн;
 14 – пластинчастий конвеєр; 15 – зубчаста дробарка типу ДО;
 16 – відкатний грохот; 17 – барабанний охолоджувач.

Рисунок 1.15 – Агломераційне відділення

Розподільники шихти та високопродуктивні огрудкувачі (рис.1.16) дозволяють зменшити відстань між агломераційними машинами, чим

сприяють зниженню будівельного обсягу корпусу агломерації на 40 %. На майданчику також встановлено один бункер для палива, який дозується на конвеєр для додаткової подачі шихти для верхнього шару.

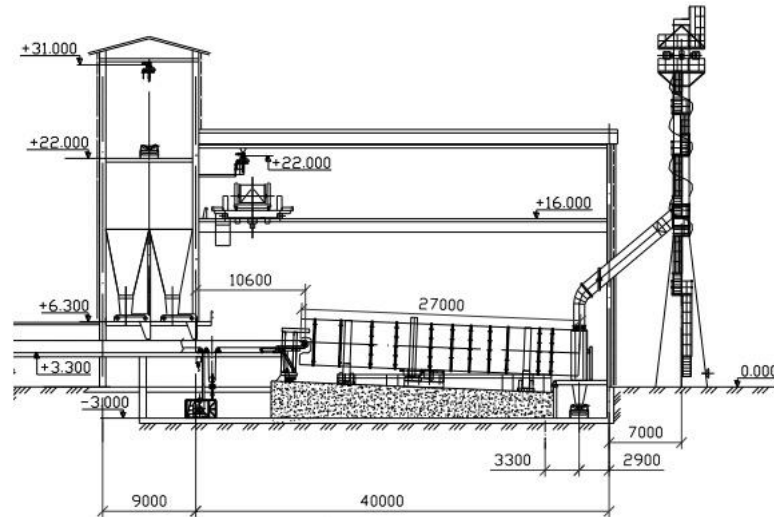


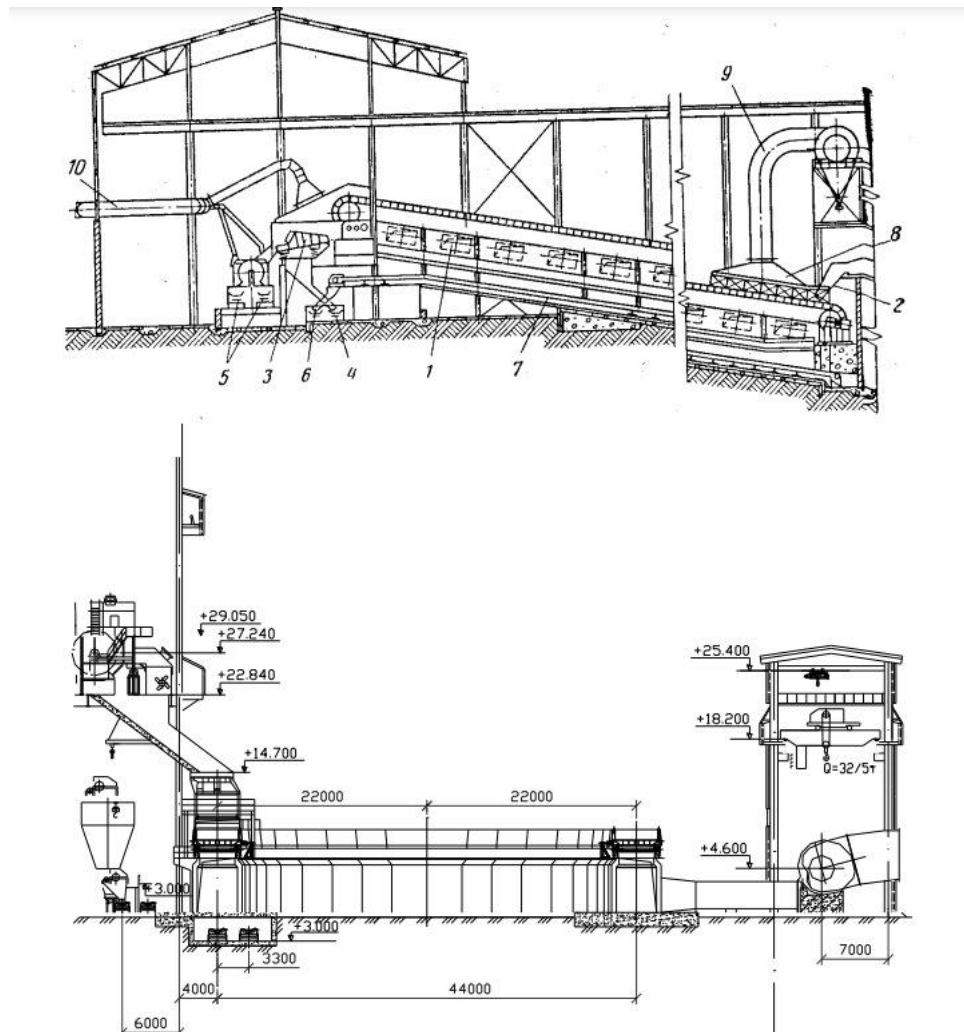
Рисунок 1.16 – Відділення огрудкування шихти

З огрудкувача огрудкована шихта потрапляє на човниковий розподільник. Шихта із другого потоку подається до завантажувальної вирви. Шихта завантажується на спікальний візок агломераційної машини у два шари. Зовнішнє нагрівання і запалювання шихти за допомогою суміші доменного і коксового газів відбувається під горном, який складено (3...5) секцій, та обладнано пальниками з газовими засувками й повітряними шиберами. Просип, який був утворений в процесі спікання, за допомогою конвеєру прибирається з колосникових решіток агломашини, що забезпечує його безперервне збирання.

Агломерат після спікання й часткового охолодження прямує через похилу футеровану тічку до одновалкової зубчастої дробарки типу ДО, де його буде роздроблено до крупності 100 мм. Потім готовий агломерат транспортується до відкотного грохоту для отримання повернення. Повернення надходить до барабанного охолоджувача ОБ, де після охолодження направляється в корпус сортування, звідки одна його частина

(8...15) мм направляється у бункери корпусу агломерації а інша (8...0) мм в корпус первинного змішування.

Продукт агломерації (більше 15 мм) прямує до відділення охолодження агломерату (рис.1.17). Температура агломерату після процесу охолодження має температуру 100 °С. По вирві агломерат з температурою (600...700) °С прибуває на колосникові решітки охолоджувача[7]. Охолоджують агломерат продувом повітря крізь шар агломерату, яке подається під колосникову решітку димовідсмоктувачами.



1 – колосникові решітки охолоджувача; 2 – вирва; 3,4 – сортувальні конвеєри; 5,6 – стрічкові конвеєри; 7 – пластинчастий конвеєр; 8 – укриття охолоджувача; 9,10 – повітропроводи.

Рисунок 1.17 – Відділення охолодження агломерату

Від продуктивності агломераційної машини залежить температура охолодження агломерату. Середні показники температури охолодженого агломерату фракції (0...50) мм сягають (60...125) °С, для фракцій розміром (50...150) мм (150...180) °С, а для більших шматків – (270...360) °С. Самобалансований грохот приймає агломерат для виділення повернення та передачі його у відділення сортування повернення та агломерата. У нижній третині охолоджувача передбачене укриття для запобігання запиленості повітря при завантаженні на нього агломерату. З цього укриття пил транспортується по повітроводу за допомогою відсмоктування димососом. При дотриманні технологічних лінійні охолоджувачі забезпечують необхідний ступінь охолодження агломерату.

2 АНАЛІЗ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ

Для отримання якісного агломерату має бути забезпечена відповідність між швидкістю руху аглострічки та швидкістю спікання шихти, яка залежить від висоти її шару та вологості її складу. Крім того швидкість руху аглострічки має бути узгоджена з роботою живильника, що подає на неї шихту. Система електроприводу агломераційної машини має забезпечувати діапазон регулювання швидкості 5:1, точність її підтримки 5 %, попередній вибір проміжків між спікальними візках [9]. Вказаним вимогам в найбільшій мірі задовольняє електропривод тиристора постійного струму схема силової частини якого представлена на рис 2.1. На початку роботи контакти контакторів КМ1-КМ3 відключені; двигуни аглострічки М1 (85 кВт, 440В, 510 про/мін) і живильників М3, М4 (5 кВт) нерухомі.

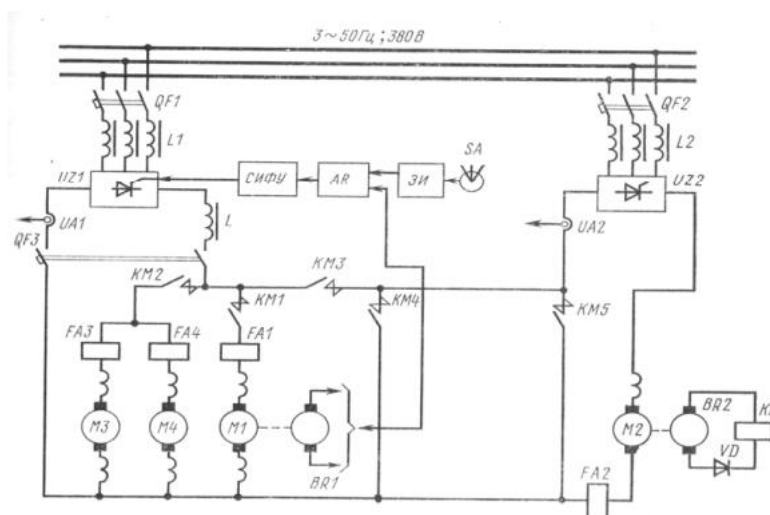


Рисунок 2.1 – Схема електроприводу тиристора агломашини

Включається контактор КМ5 вибору проміжків. Гальмівна машина М2 (5 кВт, 440 У, 740 про/мін) підключається до перетворювача тиристора UZ2 і працює в руховому режимі, здійснюючи скорочення проміжків між візками і контроль за ним за допомогою реле швидкості КР, яке підключене до тахогенератора ВР2. Після усунення проміжку гальмівна машина зупиняється, реле КР знеструмлюється і через систему контактів відключає контактор КМ5 і включає контактори КМ1-КМ3 (включаються

електродвигуни М1, М3 і М4). Тепер гальмівна машина переходить в режим рекуперативного гальмування. Генеруючи струм гальмівна машина працює паралельно з перетворювачем тиристора UZ1 на двигун стрічки М1, створюючи при цьому момент, спрямований зустрічно по відношенню до рушійного моменту двигуна стрічки. При зміні навантаження і швидкості агломашини величина гальмівного моменту підтримується постійною шляхом збереження постійним струму в якірному ланцюзі гальмівної машини. Для цього використовуються жорсткий негативний зворотний зв'язок по струму і гнучкі зворотні зв'язки по струму і швидкості гальмівної машини, управління, що впливають на схему перетворювача тиристора. Для набуття необхідного значення гальмівного моменту гальмівна машина працює з ослабленим магнітним потоком (до 70 % від номінального).

У схемі (рис.2.1) позначені: QF – автоматичні вимикачі, FA – струмові реле, ЗИ – задатчик інтенсивності, AR – регулятор швидкості, UA1, UA2 – датчики струму, СИФУ – система імпульсно-фазового управління тиристорів, L – реактори.

2.1 Електропривод для виробництва окатишів

Останніми роками поширення отримав інший спосіб грудкування шихтових матеріалів – високотемпературна грануляція (грудкування в печах, що обертаються). Продуктом грудкування є щільні, добре спечені гранули діаметром (20...25) мм, які в порівнянні з агломератом володіють рядом технологічних переваг: велика міцність, менше виділення колошникового пилу і т.п. У процесі грудкування шихтові матеріали після усереднювання, дозування і зволоження подаються в гранулятор, де утворюються окатиші заданих розмірів. Після цього окатиші передаються на конвеєрну обпалювальну машину, яка подібно до агломераційної, але відрізняється від неї тим, що запальний горн розташований не на початку стрічки, а тягнеться на усю її довжину. На хвостовій ділянці окатиші продуваються повітрям,

охолоджуються до (300...500) °С, потім подаються на гуркіт, де формується готова продукція і відсівання дрібниці (дрібниця спрямовується назад до шихтового відділення)[10].

У сучасних обпалювальних машинах, як і в агломераційних, використовується електропривод тиристора постійного струму, який забезпечує плавне регулювання швидкості візків в діапазоні 5:1 з постійним моментом на валу; ненаголошений спуск візків, без розриву між ними; автоматична підтримка величини гальмівного моменту для ненаголошеного спуску обпалювальних візків.

2.2 Електропривод інших механізмів аглофабрики

У технологічному процесі агломерації та грудкування окрім агломераційної і обпалювальної машин беруть участь й інші механізми, такі як: дозатори, живильники, змішувачі, гранулятори, охолоджувачі вентилятори та ін.

Для приводів більшості цих механізмів, у тому числі транспортних використовуються в основному асинхронні електродвигуни потужністю до 250 кВт. Двигуни з фазним ротором використовуються для конвеєрів великої протяжності[13].

Для ексгаустерів, димососів та охолоджувачів використовуються синхронні електродвигуни напругою (6...10) кВ і потужністю (1...8) МВт.

На механізмах, що вимагають широкого і плавного регулювання швидкості використовується електропривод постійного струму. До них відносяться змішувачі, охолоджувачі та живильники.

Включення в роботу вказаних механізмів здійснюється у виключно певній послідовності, що забезпечується відповідними блокуваннями. Наприклад, перед пуском агломашини вмикають масляний насос і дробарки агломерату; живильники включаються і зупиняються одночасно з агломашиною [11].

2.3. Конвеєрний транспорт

На металургійних заводах широко використовується конвеєрний транспорт. Його протяжність може досягати ста кілометрів: від прийому і складування сировини до відвантаження готової продукції.

Конвеєри великої протяжності часто обладналися багаторухомим електроприводом. В якості приводних в конвеєрному транспорті використовуються асинхронні двигуни з фазним ротором і з короткозамкненим ротором. У багаторухомому приводі для більш рівномірного розподілу навантаження між двигунами в ланцюг ротора вводять додатковий реостат або використовують короткозамкнені двигуни з підвищеним ковзанням.

Жорсткі вимоги по обмеженню прискорень призводять до необхідності використання багатоступінчастого пуску.

Робота конвеєра узгоджується з роботою інших механізмів – живильників бункерів, інших конвеєрів. Тому в схемах електроприводів конвеєрів використовуються різні блокування.

Конвеєри, живильники та інші транспортні механізми і пристрої агломераційного цеху об'єднуються в потоково-транспортну систему, що має централізоване управління. Механізми цієї системи блокуються між собою.

2.4 Аналіз умов та режиму роботи електрообладнання

Вибір типу електроприводу і роду струму робиться відштовхуючись від певних умов, що пред'являються до порядку роботи виконавчого механізму.

Важливою умовою виробництвом якісного агломерату є забезпечення відповідності між швидкістю переміщення, руху аглострічки і швидкістю процесу спікання шихти, яка залежить від товщини її шару, вологості шару,

складу та ін. Крім того, швидкість переміщення, руху аглострічки зобов'язана бути погоджена з роботою живильника, передавального на неї шихту.

Система електроприводу агломераційної машини повинна задовольняти наступним головним вимогам: погрішність підтримки швидкості в усьому діапазоні регулювання не більше 15 %. Діапазон регулювання швидкості 1:10[11]. Система регулювання швидкості автоматична, побудована по замкнутій системі з використанням зворотних зв'язків від сигналів технологічних датчиків. Повинно виконуватися також автоматична підтримка параметра гальмівного моменту завчасно вибір проміжку між спікальними візками у верхні гілці стрічки, фіксація спікальних візків на зірочках в час зупинки машини [12].

Ці вимоги у повній мірі задовольняє електропривод змінного струму з частотним регулюванням.

2.5 Розробка технічного завдання

Задля підвищення ефективності використання електричної енергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь» пропонується замінити електродвигун АІР160S8 [13] на автоматизований регульований електропривод агломераційної машини, який повинен забезпечити наступним заданим умовам і технічним вимогам:

- рід струму - змінний;
- частотний перетворювач;
- мережі змінного трифазного струму $U_c = 380\text{В}$, що живлять напругу з частотою $f_c = 50\text{Гц}$;
- реактивний характер навантаження.
- тривалий режим роботи;
- максимальна лінійна швидкість : $V_{\text{max}} = 6.9 \text{ м/хв.}$;
- регулювання швидкості в діапазоні: $D = 1:10$;

- час перехідного процесу не більше 3 с;
- Перерегулювання швидкості не більше 20 %;
- Коефіцієнт корисної дії 0.92;
- частота, що живить мережу, 50 Гц ± 2 %, якість напруги повинна відповідати ДСТУ13109 - 87;
- по захищеності від проникнення твердих тіл і води технічні засоби електроприводу повинні мати міру захисту IP55, згідно ДСТУ14254 - 80;
- по стійкості до зовнішніх вібраційних дій апаратура електроприводу повинна відповідати виконанню L3 по ДСТУ12007-84;
- система електроприводу зобов'язана забезпечувати безвідмовну роботу в приміщеннях з певними умовами: температура довкілля (1...40) °С; вологість відносна (40...80) % (при температурі +25 °С); атмосферний тиск (630...800) мм.рт.ст.; висота над рівнем моря до 1000 м;
- безперебійність роботи електроприводу повинна забезпечуватися за рахунок дуже високій надійності засобів апаратних і правильною експлуатації. Гарантійний термін роботи (4000...6500)год;
- термін служби не менше 20 років;
- конструкція системи зобов'язана забезпечувати легкий доступ до кожного її елементу, а також можливість швидкої заміни модуля того, що вийшов з ладу;
- вимоги по безпеці використання електроприводу повинні відповідати ДСТУ25.861-83;
- усі елементи, що знаходяться під напругою зобов'язані мати захист випадкового зіткнення, а також заземлення або занулення у відповідності з ГОСТ12.1030-81 [19];
- міра повітряного шуму при роботі системи не повинен перевищувати 70 дБ.

3. ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

При виборі приводного електродвигуна перевагу віддаємо асинхронному електродвигуну 4А132М6, технічні дані якого зведено до табл. 3.1.

Дана серія кранових двигунів призначена для регулювання швидкості в досить широкому діапазоні, з використанням частотних перетворювачів.

Таблиця 3.1 – Технічні дані двигуна 4А132М6

P_n , кВт	7.5
n_0 , об/хв	750
$U_{лн}$, В	400
n_n , об/хв	738
I_n , А	140
η_n , %	93.3
$\cos\varphi_n$	0.83
$M_{двн}$, Н·м	971
M_n/M_n	2.2
$M_{макс}/M_n$	2.6
I_n/I_n	5.7
J , кг·м ²	2.48

Визначення додаткових параметрів двигуна

Розрахуємо активну реактивну та повну потужність двигуна. Знайдемо середнє значення активної потужності [20]:

$$P_{ср} = \frac{W_{дп}}{T} \quad (3.1)$$

де $W_{дп}$ – добова потужність двигуна, $W_{дп} = 1494$ кВт · год,

T – кількість роботи двигуна на добу, $T = 24$ год. (так як двигун працює безперервно).

$$P_{\text{ср}} = \frac{1494}{24} = 62,25 \text{ кВт.}$$

На основі даних виробника, коефіцієнт потужності двигуна складає 0,83.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{62,25}{0,83} = 75 \text{ кВА} \quad (3.2)$$

Знайдемо реактивну потужність:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{75^2 - 62,25^2} = 41,83 \text{ кВАр} \quad (3.3)$$

Синхронна кутова частота обертання двигуна

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,53 \text{ рад/с} \quad (3.4)$$

Номінальна кутова частота обертання

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 738}{30} = 77,28 \text{ рад/с} \quad (3.5)$$

Номінальне ковзання двигуна

$$S_{\text{н}} = \frac{n_0 \cdot n_{\text{н}}}{n_0} = \frac{750 - 738}{750} = 0,016 \quad (3.6)$$

Фазна номінальна напруга та фазний струм обмотки статора

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В,} \quad (3.7)$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = 140 \text{ А} \quad (3.8)$$

Пусковий максимальний струм двигуна

$$I_{1\text{макс}} = 5.7 \cdot I_{1\text{ЛН}} = 5.7 \cdot 140 = 798 \text{ А} \quad (3.9)$$

Максимальний момент на валу двигуна

$$M_{\text{к}} = 2.6 \cdot M_{\text{двн}} = 2.6 \cdot 971 = 2524,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.10)$$

Пусковий момент на валу двигуна

$$M_{\text{пуск}} = 2.2 \cdot M_{\text{двн}} = 2.2 \cdot 971 = 2136,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.11)$$

3.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення електродвигуна

Виробник обраних приводних двигунів серії 4A132M6 не зазначив параметри схеми заміщення, саме за цієї причини попередньо необхідно зробити розрахунки даних параметрів .

Розрахунок параметрів схеми заміщення у номінальному режимі

Для розрахунку параметрів введемо Т-подібну схему заміщення електродвигуна. Схема заміщення зображена на рисунку 3.1.

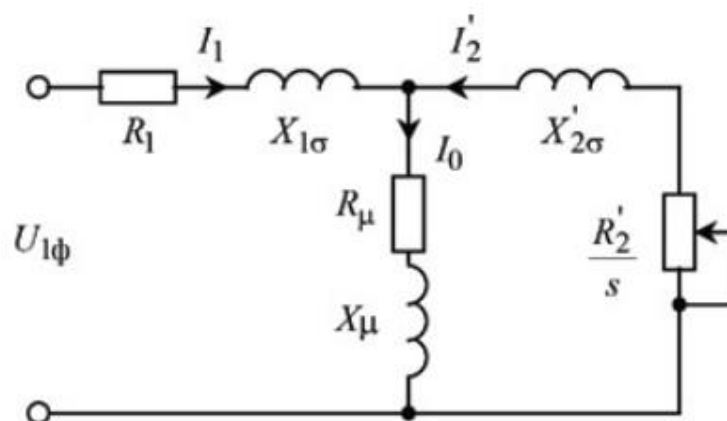


Рисунок 3.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Приведений до обмотки статора опір кола ротора в номінальному режимі

$$R'_{2H} = \frac{3 \cdot (1 - s_H) \cdot U_{1\Phi H}^2}{2 \cdot m_K \cdot P_H \cdot c_1^2 \cdot (\beta + \frac{1}{s_K})} = \frac{3 \cdot (1 - 0,016) \cdot 220^2}{2 \cdot 2,6 \cdot 75000 \cdot 1,021^2 \cdot (1 + \frac{1}{0,088})} \quad (3.11)$$

$$= 0,028 \text{ Ом},$$

де

$m_K = 2.6$ – кратність максимального моменту;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{35,145}{2 \cdot 5,7 \cdot 146,743} = 1,021$$

– струм холостого ходу;

$$I_{1p*} = \frac{p^* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_{p*} \cdot \eta_{p*}} = \frac{0,75 \cdot 75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,916}$$

$$= 112,075 \text{ А}$$

– коефіцієнт, що характеризує відношення $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$;

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p*}^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \cdot I_{1H} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \right]^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{112,075^2 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,016)}{1 - 0,75 \cdot 0,019} \cdot 146,743 \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,016)}{1 - 0,75 \cdot 0,019} \right]^2}} \quad (3.12)$$

$$= 35,145 \text{ А}$$

– струм обмотки статора при частковому завантаженні двигуна $p^* = 0.75$;

$$\begin{aligned} s_K &= s_H \cdot \frac{m_K + \sqrt{m_K^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)} \\ &= 0.016 \cdot \frac{2.6 + \sqrt{2.6^2 - [1 - 2 \cdot 0.016 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.016 \cdot 1 \cdot (2.6 - 1)} \\ &= 0.088 \end{aligned} \quad (3.13)$$

– критичне ковзання двигуна;

$\beta = 1$ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення активних опорів ротора та статора та обирається з діапазону 0,6-2,5.

Опір короткого замикання у номінальному режимі роботи

$$X = R' \cdot \gamma \cdot c_1 = 0,028 \cdot 11,377 \cdot 1,021 = 0,329 \text{ Ом}, \quad (3.14)$$

де

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_K}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,088}\right)^2 - 1} = 11,377 \quad (3.15)$$

– коефіцієнт, що характеризує співвідношення індуктивного опору короткого замикання і наведеного активного опору ротора.

Індуктивний обмотки статора, обумовлена потоком розсіювання, у номінальному режимі роботи:

$$R_1 = R'_2 \cdot \beta \cdot c_1 = 0,028 \cdot 1 \cdot 1,021 = 0,029 \text{ Ом} \quad (3.16)$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоком розсіювання, у номінальному режимі роботи.

Приведена до обмотки статора індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоками розсіювання, у номінальному режимі роботи

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,187}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,96 \cdot 10^{-4} \text{Гн.} \quad (3.17)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,138}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 4,39 \cdot 10^{-4} \text{Гн} \quad (3.18)$$

Приведене до обмотки статора індуктивний опір розсіювання обмотки ротора в номінальному режимі роботи

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{c_1} = 0,58 \cdot \frac{0,329}{1,021} = 0,186 \text{ Ом} \quad (3.19)$$

Індуктивний опір кола намагнічування

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205,717}{35,145} = 6,026 \text{ Ом,} \quad (3.20)$$

де

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos\varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin\varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,83 - 146,74 \cdot 0,029)^2 + (220 \cdot 0,558 - 146,74 \cdot 0,138)^2} \\ &= 205,717 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.21)$$

– ЕРС гілки намагнічування, наведена потоком повітряного зазору, в номінальному режимі;

Результуюча індуктивність, обумовлена магнітним потоком в повітряному зазорі

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{5,853}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 18,64 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (3.22)$$

$$\sin\varphi_H = \sqrt{1 - (\cos\varphi_H)^2} = \sqrt{1 - 0,83^2} = 0,558. \quad (3.23)$$

3.2 Механічна та електромеханічна характеристики двигуна

На підставі значень параметрів схеми заміщення та їх залежність від ковзання, можливо з достатньою точністю розрахувати та побудувати електромеханічну та механічну характеристику двигуна.

Механічна характеристика двигуна є залежністю електромагнітного моменту від швидкості двигуна на валу двигуна $\omega(M)$. Тим не менш, розрахункові значення моменту двигуна відповідають значенню електромагнітного моменту [22]. Внаслідок цього механічні розрахункові характеристики двигуна є залежністю електромагнітного моменту від швидкості обертання $\omega(M_{em})$.

Електромеханічна характеристика двигуна є залежністю швидкості $I_1(\omega)$ або ковзання $I_1(s)$ від величини струму статора [23]. Показники будуються при частоті інвертора $f_i = f_1 = 50\text{Гц}$.

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'(s)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[[X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]} \quad (3.24)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (3.25)$$

Електромеханічна характеристика асинхронного двигуна $I_1(\omega)$ з урахуванням ефекту витіснення струму ротора та насичення кіл потоків розсіювання розраховується за виразами:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin\varphi_2(s)}; \quad (3.26)$$

де

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

$$I_s(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2}};$$

$$\sin\varphi_{s2}(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s}\right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2}};$$

Для розрахунків використовується додаток MathCAD 14, розраховуються та графічно будуються характеристики електродвигуна $\omega(M_{em})$ та $I_1(\omega)$. При розрахунку механічної характеристики визначаються розрахункові значення критичного ковзання s_K , електромагнітного номінального $M_{emH} = M_{em}(s_H)$, критичного $M_{emK}(s_K) = M_{emK}$ до моментів, які відповідають розрахунковій механічній характеристиці двигуна. При розрахунку електромеханічної характеристики обчислюються розрахункові значення струму холостого ходу I_0 , номінального $I_H = I_{1\phi H}$ струму двигуна.

Розрахункові електромеханічні та механічні характеристики електродвигуна представлені на рисунках 3.2 та 3.3 відповідно.

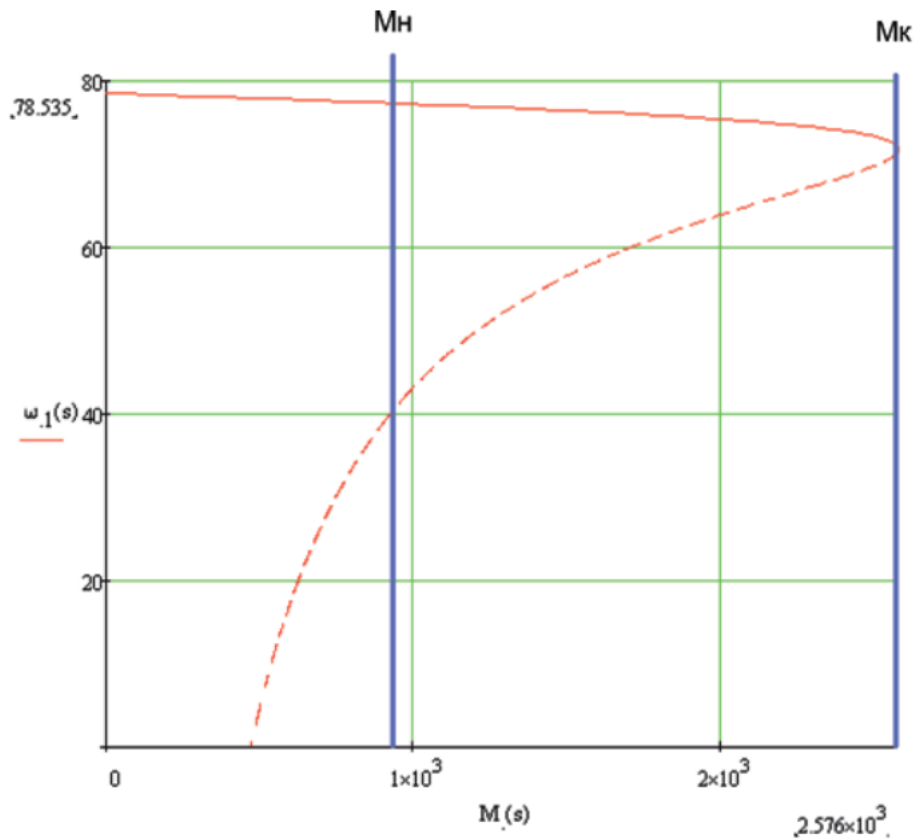


Рисунок 3.2 – Механічна характеристика двигуна

За результатами обчислень механічної характеристики визначено значення електромагнітних моментів двигуна: номінального $M_{емн} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$; критичного $M_{емк} = 2576 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при кутовій швидкості $\omega_k = 71,5 \text{ рад/с}$.

- кратність максимального (критичного) моменту:

$$m_k = \frac{M_{емк}}{M_{емн}} = \frac{2576}{980,2} = 2,62; \quad (3.27)$$

- критичне ковзання

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{78,53 - 71,5}{78,53} = 0,089. \quad (3.28)$$

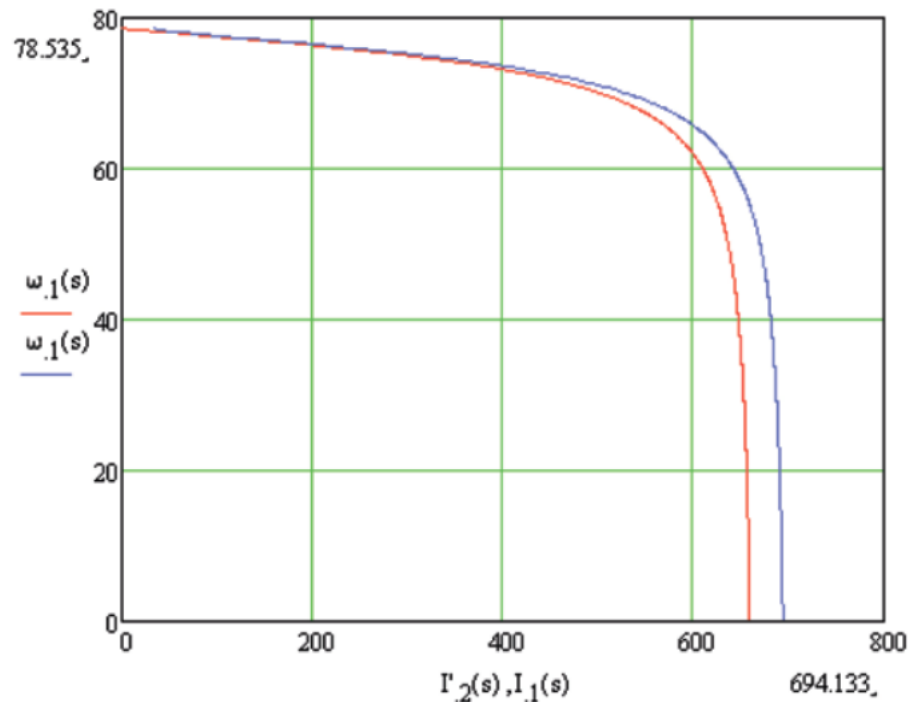


Рисунок 3.3 – Електромеханічна характеристика двигуна

За підсумками обчислень електромеханічної характеристики визначено значення струму холостого ходу $I_0 = 36,718$ А, номінального струму $I_H = 132$ А.

Значення розрахункових механічних та електромеханічних характеристик електродвигуна виявилися близькими до представлених у таблиці 3.1 довідкових параметрів двигуна.

3.3 Визначення області допустимої тривалої роботи двигуна

Асинхронний електродвигун живиться та керується від частотного перетворювача. При регулюванні швидкості електродвигуна буде застосовуватися векторний спосіб управління [17], що зумовлює підтримку постійного потоку зчеплення електродвигуна при регулюванні швидкості електродвигуна нижче номінальної. На підставі цього був обраний електродвигун з незалежною вентиляцією, що дозволяє йому працювати з

навантаженнями близькими до номінальних на низьких швидкостях обертання електродвигуна.

Таким чином, перед вибором перетворювача частоти потрібно визначити область безпечної роботи електродвигуна та визначитися з максимальними навантаженнями.

На підставі технічних даних, що надаються фірмою виробником, межі режиму тривалої роботи електродвигуна при незалежній вентиляції, можна зобразити у вигляді залежностей:

- Для струму двигуна:

$$I_{\text{дв трив доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{\text{дв н}} = 140\text{А, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0,9 \cdot I_{\text{дв н}} = 0.9 \cdot 140 = 126\text{А, при } \omega = 0; \end{cases}$$

- Для моменту (електромагнітного) двигуна

$$M_{\text{ем трив доп}}(\omega) = \begin{cases} M_{\text{дв н}} = 980,2\text{Н} \cdot \text{м, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0,9 \cdot I_{\text{дв н}} = 0.9 \cdot 980,2 = 882,2\text{Н} \cdot \text{м, при } \omega = 0; \end{cases}$$

Відповідно до наведених залежностей на механічну та електромеханічну характеристики наносимо межі зон $M_{\text{ем трив доп}}(\omega)$ та $I_{\text{дв трив доп}}(\omega)$ тривалої допустимої роботи двигуна. Графіки залежностей наведені на рисунках 3.4 та 3.5.

З представлених на рисунках характеристик випливає, що тривалість допустимого моменту навантаження, з яким може працювати двигун мінімальної швидкості $\omega_{\text{дв мін}} = 5,635 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (діапазон регулювання швидкості 1-10), складає $M_{\text{ем трив доп}} = 908 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при тривалому допустимому струмі статора $I_{\text{дв трив доп}} = 129 \text{ А}$.

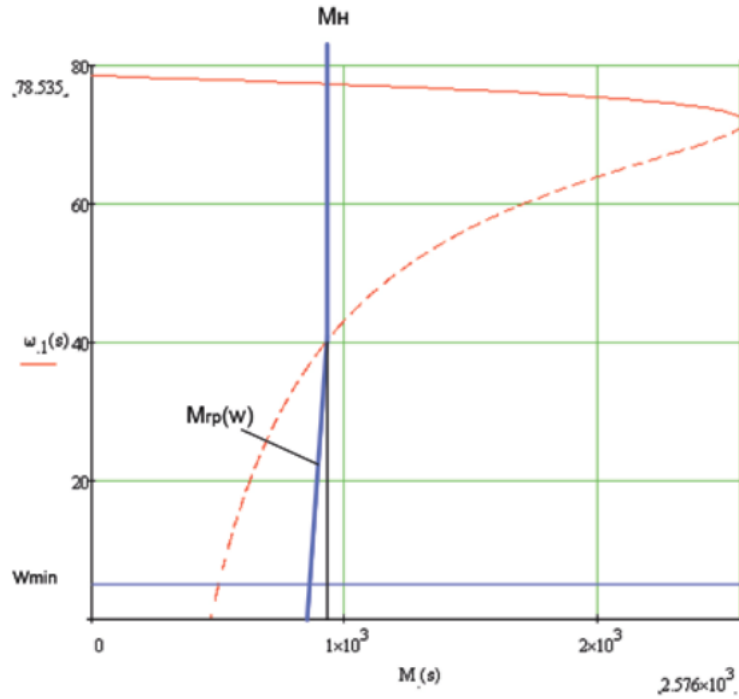


Рисунок 3.4 – механічна характеристика та межа області допустимої тривалої роботи $M_{ем\ трив\ доп}(\omega)$ двигуна

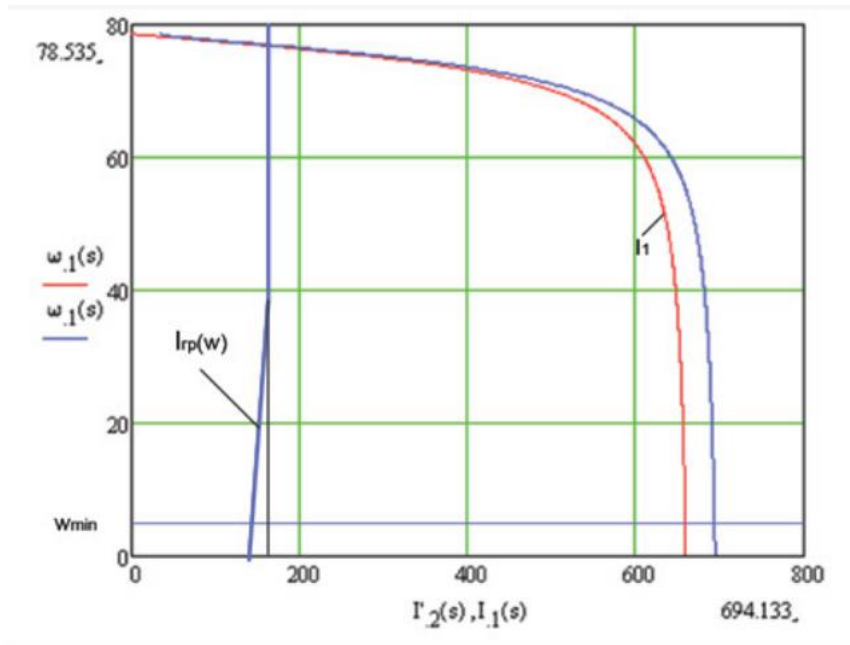


Рисунок 3.5 – механічна характеристика та межа області допустимої тривалої роботи $I_{дв\ трив\ доп}(\omega)$ двигуна

3.4 Побудова необхідних областей тривалої та короткочасної роботи двигуна

3.4.1 Побудова областей роботи в площині механічних характеристик двигуна

Статичний момент, доданий до валу двигуна

$$M_c = 863 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідне максимальне значення динамічного моменту двигуна

$$M_{\text{дин}} = J_e \cdot \varepsilon = 9,28 \cdot 45,08 = 418 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.29)$$

де

$$J_e = 9,28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

– еквівалентний момент інерції приводу;

$$\varepsilon_{\text{макс}} = \frac{a \cdot \omega_{\text{еп макс}}}{V_{\text{макс}}} = \frac{0,1 \cdot 56,35}{0,125} = 45,08 \text{ рад/с}^2 \quad (3.30)$$

– кутове прискорення приводу;

$$V_{\text{макс}} = 0,125 \text{ м/с}$$

– задана максимальна робоча швидкість руху палет;

$$a = 0,1 \text{ м/с}^2$$

– прийняте значення прискорення приводу.

Максимально потрібний момент електроприводу в режимі пуску.

$$M_{\text{еп макс}} = M_c + M_{\text{дин}} = 863 + 418 = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.31)$$

Знайдені значення моментів нанесені на площину механічних характеристик електродвигуна (рис. 3.6)

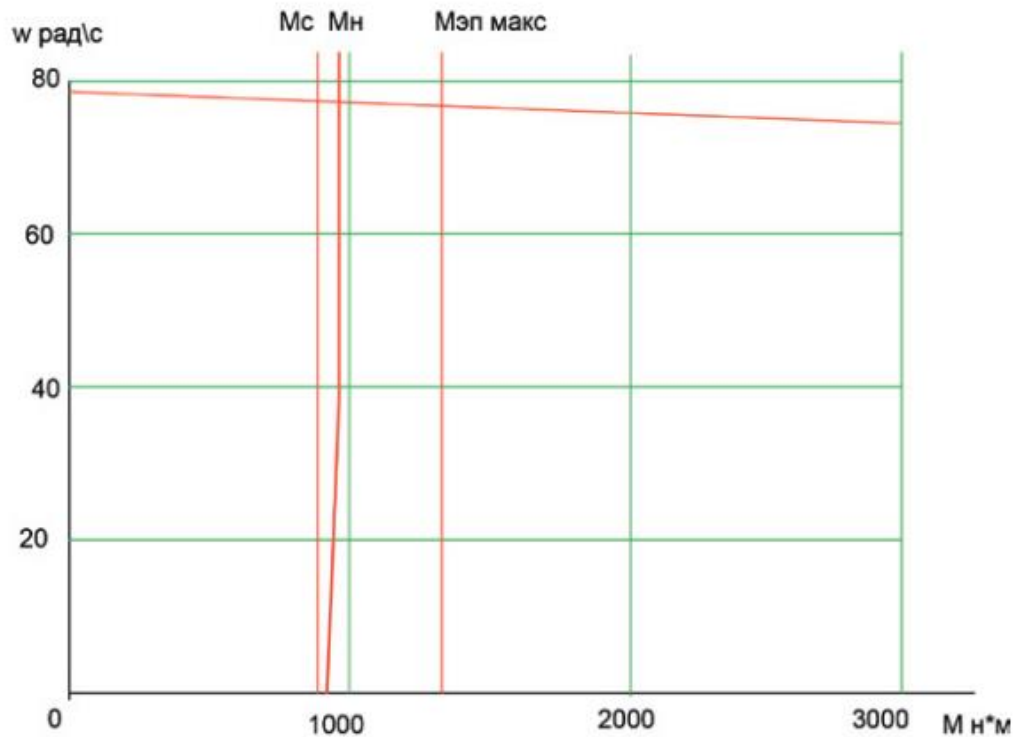


Рисунок 3.6 – області роботи електроприводу у площині механічних характеристик двигуна

3.4.2 Побудова областей роботи електроприводу в площині електромеханічних характеристик двигуна

Використовуючи отримані значення моментів, визначимо відповідні їм значення струмів двигуна. Для цього, за допомогою процедури `Given` у додатку `MathCAD`, вирішуючи рівняння механічної характеристики двигуна $M(s)$ при заданому значенні моменту, визначаємо відповідне йому ковзання s . Підставляючи отримане значення ковзання в рівняння електромеханічної характеристики двигуна $I(s)$, визначаємо значення струму обмотки статора, відповідне вихідному значенню моменту.

Наприклад вирішуючи рівняння

$$\frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R'_2(s)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{1\sigma}(s) + X'_{2\sigma}(s))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2(s)}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2(s)}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]} = M_c, \quad (3.32)$$

При значенні $M_c = 863 \text{ Н} \cdot \text{м}$ знаходимо значення ковзання $s = 0,014$ та за виразом

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} \quad (3.33)$$

де

$$I_2(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2(s)}{s} \right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X'_{2\sigma}(s)]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2(s)}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2}} ;$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\phi H}}{R_1^2 + (X_{1\sigma}(s) + X_{\mu})^2} ;$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X'_{2\sigma}(s)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2(s)}{s} \right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X'_{2\sigma}(s)]^2}}$$

значення струму статора $I_{c \text{ макс}} = 120 \text{ А}$.

Аналогічно розраховуємо:

– для моменту $M_{\text{еп макс}} = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – $I_{\text{еп макс}} = 172,8 \text{ А}$;

Знайдені значення моментів задано на площині електромеханічних характеристик електродвигуна (рис. 3.7).

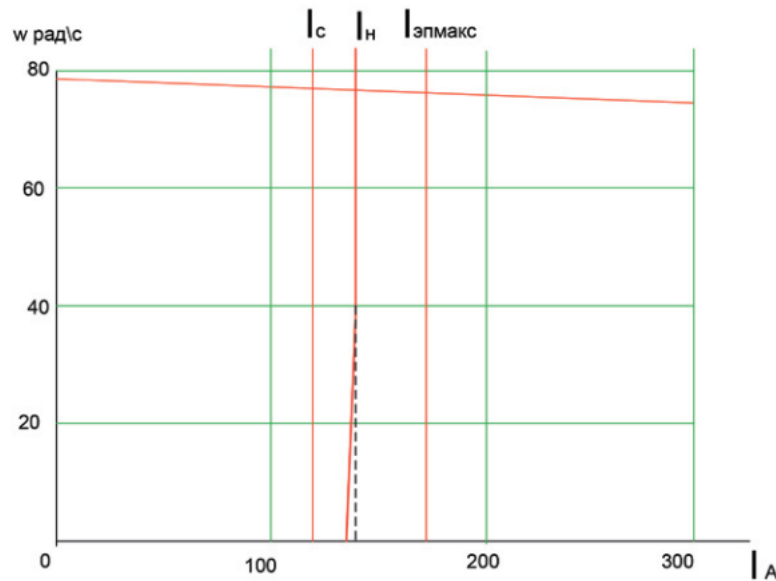


Рисунок 3.7 – області роботи електроприводу в площині електромеханічних характеристик двигуна

3.5 Вибір перетворювача частоти

Тип перетворювача частоти в загальному випадку обирається з наступних умов: тривалий струм навантаження, струм короткочасного перевантаження, напруга мережі і двигуна, діапазон регулювання вихідної частоти, способи і закони частотного управління, набір комплектуючих пристроїв (додаткових блоків, що розширюють можливості приводу), умов експлуатації [17].

Складність вибору перетворювача частоти для спільної роботи з електродвигуном полягає в тому, що номінальні режими роботи електродвигунів, засновані на постійній часу нагрівання двигуна (близько десяти хвилин), не прийнятні для перетворювачів, постійна часу нагрівання яких сягає кількох десятків секунд.

Перетворювачі частоти спроектовані для тривалої роботи з номінальним струмом інвертора. Якщо номінальний струм протікає тривалий час (більше 60 с), то робоча температура блоку досягає максимально

допустимого значення. Вище цього значення спрацьовує захист ($I^2 \cdot t$), що не дозволяє перевантажувати перетворювач струму навіть короткочасно.

Тому перетворювачі частоти в системах електроприводу, маючи короткочасні перевантаження двигуна, пов'язані з періодичними змінами швидкості або технологічними замінами моменту навантаження, повинні працювати з еквівалентним за цикл роботи струмом, що не перевищує номінальний струм інвертора $I_{iH} \geq I_{ie}$.

Попередньо перетворювач частоти обираємо виходячи з наступних умов.

Мережа живлення: 3-х фазна 380 В, 50Гц;

Параметри навантаження:

- 3-х фазна;
- Максимальна лінійна напруга виходу 380 В;
- Максимальна частота $f_{\text{макс}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{еп макс}}}{\omega_0 \cdot (1-s_k)}$, Гц.
- Номінальний струм інвертора повинен задовольняти умові $I_{iH} > I_{c \text{ макс}} = 120 \text{ А}$;
- Максимальний струм інвертора повинен задовольняти умові $I_{iH} > I_{\text{еп макс}} = 172,8 \text{ А}$

Умови вибору перетворювача струму повинні бути виконані з урахуванням фактичних значень висоти над рівнем моря та температури навколишнього середовища місця установки перетворювача. Тривалість перевантаження двигуна не повинна перевищувати значення допустимого часу протікання максимального струму інвертора, а тривалість фактичного робочого циклу електроприводу не повинна бути меншою за час граничного циклу інвертора;

Для приводу підйомного механізму спуску вантажу, що розглядається, здійснюється в режимі рекуперативного гальмування, що для повернення енергії в мережу вимагає установки додаткового блоку рекуперації.

Виходячи з перерахованих умов обираємо перетворювач частоти типу ESQ-A1000 шафового виконання.

Функціональні особливості:

- Векторне регулювання без датчика швидкості.
- Регулювання потоку (FCC) для покращення динамічних характеристик та підвищення якості регулювання електродвигуна.
- Миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без вимкнення двигуна.
- Вбудоване динамічне гальмування постійним струмом.
- Комбіноване гальмування з програмованим згладжуванням.
- Використання замкнутого PID регулятора з автоналаштуванням.
- Вбудований переривник гальма.
- Можливість обирати інтенсивність розгону та зупинки.
- 4-х точкова інтенсивність згладжування.
- Багатоточкова V/f характеристика, що задається користувачем.
- Встановлені параметри можуть бути перенесені на інші пристрої аналогічних процесів.
- Особливості захисту.
- Захист від підвищеної та заниженої напруги.
- Захист перетворювача від перегріву.
- Захист від замикання на землю.
- Захист від короткого замикання.
- Захист від перегріву двигуна за втратою $I^2 \cdot t$.
- Захист двигуна за термісторами РТС/КТУ.

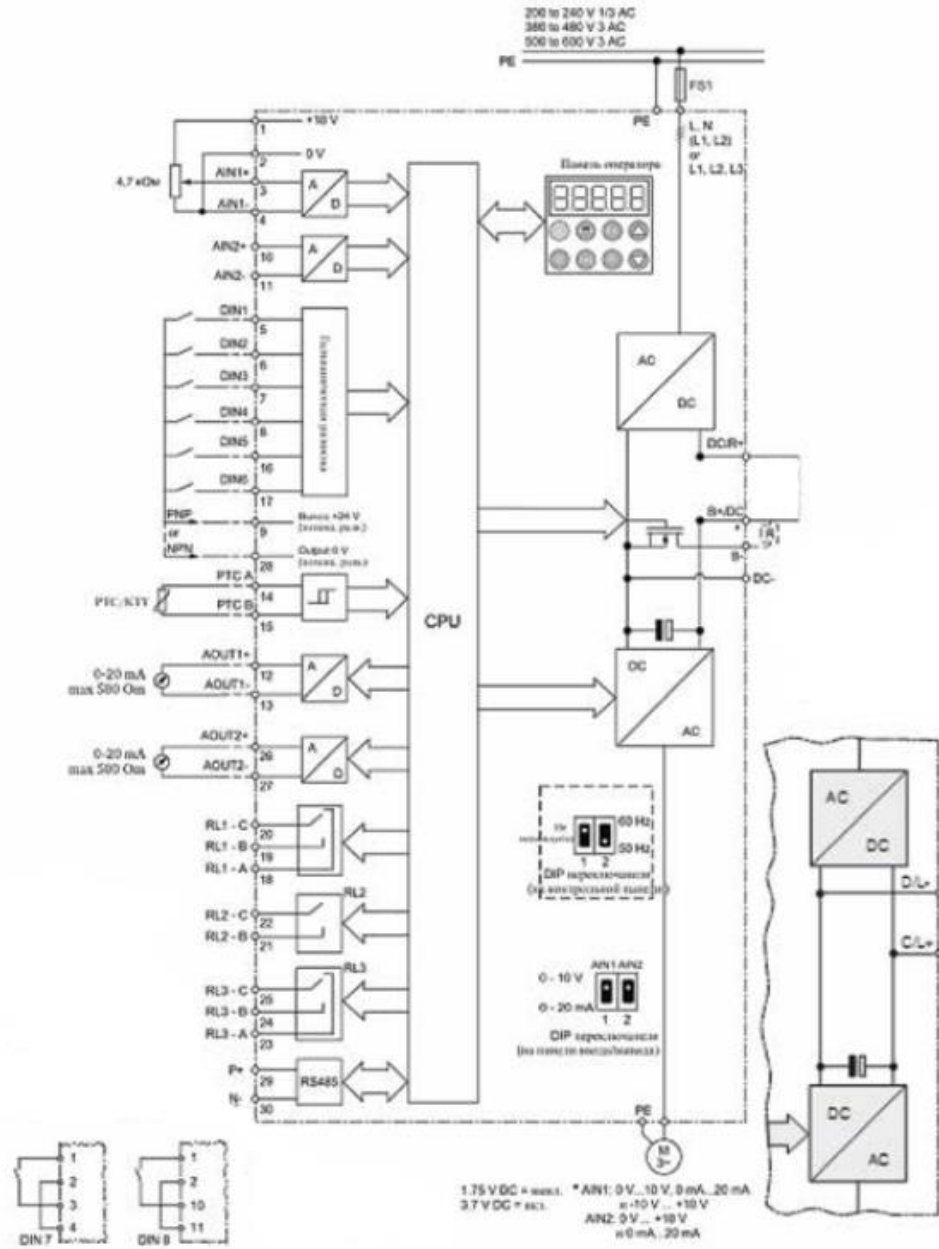


Рисунок 3.8 – Функціональна схема частотного перетворювача

3.6 Фінансово-економічна оцінка проекту

Темою дипломного проекту є підвищення ефективності використання електричної енергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь». Цей проект підходить для агломераційного цеху, а зокрема, для роботи агломашини, де регулювання швидкості здійснюється за допомогою релейноконтакторної системи управління на основі асинхронного двигуна з коротко замкнутим ротором. Не дивлячись на простоту цього методу, він має ряд істотних недоліків: низьку енергетичну ефективність, низький ККД установки, а також веде до збільшення механічних навантажень на установку.

Метою фінансово-економічної оцінки проекту являється визначення перспективності та успішності проекту, оцінка його ефективності, рівня можливих ризиків, розробка механізму управління і супроводу конкретних проектних рішень на етапі реалізації.

Для досягнення позначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

Оцінити комерційний потенціал і перспективність розробки проекту;

Розрахувати бюджет проекту;

Зробити оцінку соціальної та економічної ефективності дослідження.

У зв'язку з цим цей проект вирішує питання про модернізацію системи управління і електроприводу агломашини.

Цільовим ринком збуту для пристрою, що розробляється, є підприємства металургійної промисловості. В той же час, аналогічні схеми рішення віддаю чого пристрою з компенсатором включеного в технологічну лінію, можна використати в різних галузях промисловості: паперовою, поліграфічною, кабельною та ін.

3.6.1 Аналіз конкурентних технічних рішень

Аналіз конкурентних технічних рішень з позиції ресурсоефективності та ресурсозбереження дозволяє провести оцінку порівняльної ефективності наукової розробки та визначити напрями для її майбутнього підвищення.

Доцільно проводити цей аналіз відібравши не менше трьох-чотирьох конкурентних товарів та розробок.

При розробці електроприводу, розробник керувався наступними міркуваннями: вартість двигуна постійного струму більша ніж асинхронного двигуна, витрати на його експлуатацію більше (у порівнянні з асинхронним двигуном). Випуск двигунів постійного струму скорочується, електропривод постійного струму замінюється електроприводом змінного струму. Вирішено використати електропривод змінного струму з частотним регулюванням.

Розглядалися три варіанти виконання:

1. Перетворювач частоти (далі ПЧ) німецької фірми ESQ-A1000, двигун 4A132M6 потужністю 7,5 кВт, 1000 об/хв., редуктор F41 3 H40 P90.
2. ПЧ німецької фірми «BOSH» модель E3-9100, двигун 4A132M6 потужністю 7,5 кВт, 1000 об/хв., редуктор F41 3 H40 P90. Для зв'язку з контролером лінії потрібен додатковий модуль зв'язку. На розробку пристрою і його програмування закладемо вартість устаткування орієнтовно 20000 грн.
3. ПЧ шведсько-швейцарської фірми ABB модель ACS880-01-031A-2, двигун фірми ABB модель M3BP 160 MLA потужністю 7,5 кВт 1000 об/хв, редуктор ABB 1SDA 073732R1. Не комплектується модулем зв'язку, необхідно придбати пристрій окремо.

Вартість кожного з комплектів зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 Вартість комплекту

Прилади	Варіант виконання					
	1		2		3	
	марка	вартість	марка	вартість	марка	вартість
ПЧ	ESQ-A1000	15000	BOSH E3-9100	21700	ABB ACS880	27590
Редуктор	F41 3 H40 P90	12850	F41 3 H40 P90	12850	ABB 1SDA 073732R1	19750
Двигун	4A132M6	5500	4A132M6	5500	ABB M3BP 160 MLA	16550
Комут. апаратура	комплект	7815	комплект	7815	комплект	7815
Модуль зв'язку	інтегровано	0	Розробка ведеться окремо	20000	Закупівля ведеться окремо	6435
Сума за комплект	41165		67865		78140	

Продуктивність кожного з комплектів однакова. Хоча точність третього комплекту вища, але у всіх комплектів вона на достатньому рівні. Немало важливим є й те що для другого та третього комплекту потребується модуль зв'язку, а це додаткові витрати. Третій комплект оснащено двигуном великих розмірів порівняно з іншими варіантами, що в свою чергу може призвести до проблем з його установкою. Пропонується обрати перший варіант комплектації оскільки у нього оптимальні технічні показники при вигідній вартості проекту на відміну від інших комплектів. Далі розрахунки робляться для комплекту устаткування з ПЧ ESQ-A1000.

3.6.2 Бюджет проектної роботи

Здійснення проектної роботи потребує розрахунків наступних пунктів витрат:

- Матеріальні витрати;
- Капітальні витрати (необхідне спеціальне та додаткове устаткування, вартість монтажних та пусконаладжувальних робіт, а також транспортні витрати);
- Розрахунок заробітної плати виконавців проекту;
- Розрахунок пенсійних і страхових витрат;
- Розрахунок накладних витрат;
- Розрахунок амортизаційних відрахувань;
- Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу.

Кошторис витрат на пусконаладжувальні роботи

Додаткові витрати по заробітній платі приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Додаткові витрати по заробітній платі

№	Найменування статей	Планові витрати (грн.)	Примітка
1	Вартість робіт	19 913,90	
2	Районний коефіцієнт	5 974,17	30% від п.1
3	Коефіцієнт, що діє при проведенні ПНР в зоні роботи діючого устаткування	597,42	10% від п.1
4	Коефіцієнт, що враховує роботи на установці, що знаходиться під напругою	5 974,17	30% від п.1
5	Основна заробітна плата включаючи доплати	32 459,66	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Додаткова заробітна плата	3 245,97	10% від п.5
7	Всього	35 705,62	п.5+п.6

Між ПАТ «Запоріжсталь» та пусконалагоджувальною бригадою складається договір на проведення пусконалагоджувальних робіт (далі ПНР) з виплатою після завершення роботи за договірною ціною, згідно з цінами на 1 червня 2022 року в загальному розмірі на 35705,62 грн. У договорі обумовлено, що інженер-наладчик бригадир (І категорія) отримує 40 % (14282,25 грн.), інженер-наладчик (ІІ категорія) 32 % (11425,78 грн.), інженер-наладчик (ІІІ категорія) 28 % (9997,59 грн.) від фонду оплати праці [25]. Витрати підприємства на проведення пусконалагоджувальних робіт приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Загальна вартість витрат на проведення ПНР

№	Найменування статей	Планові витрати (грн.)	Примітка
1	Заробітна плата	35 705,62	
2	Відрахування до позабюджетних фондів	13 052,06	30 % від п.1
3	Накладні витрати	7 801,23	16 % від п.1
4	Собівартість робіт	56 558,91	п.1+п.2+п.3
5	Прибуток	4 524,71	8 % від п.4
6	Ціна ПНР	61 083,62	п.4+п.5
7	ПДВ	12 216,72	20 % від п.6
8	Всього	73 300,34	п.6+п.7

Таким чином, на проведення пусконалагоджувальних робіт ПАТ «Запоріжсталь» витратить 73300,34 грн., на обладнання 41165 грн. (див. табл. 3.2). Загальна тривалість проектних робіт 22 робочих дні.

Розрахунок витрат при експлуатації електроприводу (вартості силової електроенергії)

Експлуатаційні витрати включають наступні статті витрат:

- Витрати на електроенергію.
- Заробітна плата обслуговуючого персоналу.

- Амортизаційні відрахування.
- Витрати на ремонт.
- Витрати на матеріали, пов'язані з експлуатацією.

Силова електроенергія використовується для живлення приводів робочих механізмів і розраховується за формулою:

$$W_{\text{сил.ел}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{5 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,92 \cdot 0,9} \quad (3.34)$$

$$= 5545,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де $P_{\text{уст}}$ – потужність встановленого устаткування, 5 кВт

$F_{\text{д}}$ – дійсний річний фонд часу роботи устаткування, 3725 годин, автоматичні лінії в 2 зміни

$k_{\text{м}}$ – коефіцієнт одночасного використання електродвигунів;

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання обладнання за машинним часом (0.6-0.7);

$k_{\text{з}}$ – середній коефіцієнт завантаження обладнання (0.7-0.8);

$k_{\text{дв}}$ – коефіцієнт, враховуючий втрати в двигунах (0.9-0.93);

$k_{\text{с}}$ – коефіцієнт, враховуючий втрати в мережі (0.92-0.95)[8].

Витрати на силову енергію в грошовому вираженні розраховуються:

$$C_{\text{ел}} = W_{\text{сил.ел}} \cdot C_{\text{е}} = 5545,3 \cdot 3 = 16635 \text{ грн/год} \quad (3.35)$$

де $C_{\text{е}} = 3 \text{ грн.}$ – вартість однієї кВт-години електроенергії для промислових підприємств.

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування розраховуються на основі норм амортизації:

$$A_{\text{річ}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100} = 55465 \cdot \frac{9,6}{100} + 7815 \cdot \frac{3,5}{100} = 5598,17 \text{ грн.} \quad (3.36)$$

де K – капітальні вкладення в електрообладнання;

$H_{\text{А}}$ – відсотки відрахувань на амортизацію

- Електродвигуни – 9.6 %
- Перетворювачі, вимикачі, трансформатори і т.п. – 3.5%

Заробітна плата обслуговуючого персоналу

Обслуговування частотного електроприводу, двигуна і редуктора входить в обов'язки оперативно-ремонтної служби підприємства. При виконанні роботи наладчик автоматичних ліній має почасову оплату праці. Оплата праці включає основну і додаткову заробітну плату. До основної відноситься оплата нарахована за час на підприємстві і різні доплати (наднормова робота, робота у вихідні дні, регіональні надбавки, премії, районний коефіцієнт) [26].

Оклад наладчика автоматичних ліній за присвоєним 6 розрядом:

4685 грн.

Денна заробітна плата:

$$Z_{\text{НАЛ}} = \frac{(1.3 \cdot Z_{\text{T}} + \text{Надб}) \cdot P_{\text{к}}}{F_{\text{д}}} \quad (3.37)$$

де Z_{T} – оклад в місяць

Надб = 1500грн. надбавка за складність;

1.4 – доплата за посаду;

$P_{\text{к}} = 1.3$ – коефіцієнт, враховуючий шкідливі умови праці

$F_{\text{д}} = 22$ – кількість робочих днів у місяць

Розрахуємо основну заробітну плату:

$$Z_{\text{нал}} = \frac{(1.4 \cdot 1.3 \cdot 4685 + 1500) \cdot 1.3}{22} = 592,49 \text{ грн/дн}$$

Основна заробітна плата за період роботи:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{нал}} \cdot \tau_{\text{р}}$$

де $\tau_{\text{р}}$ – період робочого часу:

$\tau_{\text{р}} = 247$ – період робочого часу – 1 год (в 2022 році 249 робочих днів)

Розрахуємо основну заробітну плату за рік:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{нал}} \cdot \tau_{\text{р}} = 592,49 \cdot 249 = 147\,530,01 \text{ (грн)}; \quad (3.38)$$

Додаткова заробітна плата – це виплати за невідпрацьований час (оплата відпусток і т.д.)

Додаткова заробітна плата розраховується:

$$Z_{\text{доп}} = 0.15 \cdot Z_{\text{осн}} \quad (3.39)$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату:

$$Z_{\text{доп}} = 0.15 \cdot Z_{\text{осн}} = 0.15 \cdot 147530,01 = 22\,129,50 \text{ (грн.)}$$

Сумарна заробітна плата:

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma} &= Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 147\,530,01 + 22\,129,50 \\ &= 169\,659,51 \text{ (грн.)} \end{aligned} \quad (3.40)$$

Розрахунок затрат на оплату праці зведемо до таблиці 3.6

Заробітна плата	Виконавець
Основна з/пл, грн.	147 530,01
Додаткова з/пл, грн.	22 129,50
Всього	169 659,51

Відрахування на соціальне страхування (ЄСВ)

Страхові відрахування на сьогоднішній день за існуючим законодавством складають 22%

$$\text{ЄСВ} = 22\% \cdot Z/\text{п} = 0,22 \cdot 169\,659,51 = 37\,325,09 \text{ (грн)}$$

Обов'язки по обслуговуванню лінії займають 10% робочого часу наладчика. Заробітна плата обслуговуючому персоналу в рік складе:

$$Z_{\text{пер}} = 169659,51 \cdot 0.1 = 16\,965,95 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальна сума експлуатаційних витрат

Загальна сума експлуатаційних витрат складається з витрат на силову енергію $C_{\text{ел}}$, річних амортизаційних відрахувань $A_{\text{річ}}$ та заробітної плати обслуговуючого персоналу $Z_{\text{пер}}$.

$$P_{\Sigma} = C_{\text{ел}} + A_{\text{річ}} + Z_{\text{пер}} = 16635 + 5598,17 + 16\,965,95 \quad (3.41)$$

$$= 39198,67 \text{ (грн/рік)}$$

При розрахунках загальних витрат на експлуатацію витрати на електроенергію склали 16635 (грн/рік), заробітна плата обслуговуючого персоналу 16965,95 (грн/рік), амортизаційні відрахування 5598,17 (грн/рік). Загальна сума експлуатаційних витрат склала 39198,67 (грн/рік).

Строк окупності заходів

Розрахуємо активну реактивну та повну потужність нового двигуна 4A132M6. Знайдемо середнє значення активної потужності [24]:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{дп}}}{T} \quad (3.42)$$

де $W_{\text{дп}}$ – добова потужність двигуна, $W_{\text{дп}} = 62,25 \text{ кВт} \cdot \text{год}$,

T – кількість роботи двигуна на добу, $T = 10 \text{ год}$.

$$P_{\text{ср}} = \frac{62,25}{10} = 6,23 \text{ кВт.}$$

На основі даних виробника, коефіцієнт потужності двигуна складає 0,83.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{6,23}{0,83} = 7,5 \text{ кВА} \quad (3.43)$$

Знайдемо реактивну потужність:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{7,5^2 - 6,23^2} = 4,18 \text{ кВАр} \quad (3.44)$$

Порівняємо активну, реактивну та повну потужність двигунів (старого та нового) за допомогою табл.3.7

Таблиця 3.7 Порівняння результатів розрахунку активної, реактивної та повної потужності з показниками старого двигуна AIP160S8

Двигуни	Активна потужність, кВт	Реактивна потужність, кВАр	Повна потужність, кВА
AIP160S8	7,5	4,9	9,0
4A132M6	6,23	4,18	7,5

З розрахунків видно, що реактивна потужність нового двигуна менша за старий АР160S8, що вже призведе до зменшення втрат електричної енергії.

Знаходимо економічний ефект від заміни двигуна:

$$\Delta W = P_1 - P_2 = 7,5 - 6,23 = 1,27 \text{ кВт} \quad (3.45)$$

Знайдемо економію електричної енергії за рік:

$$\Delta W_p = \Delta W \cdot t, \quad (3.46)$$

де t – кількість робочих годин двигуна на рік, $t = 3725$ годин.

$$\Delta W_p = 1,27 \cdot 3725 = 4730,75 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Знайдемо річну економію електричної енергії в грошовому еквіваленті за допомогою формули:

$$\Delta W_p = \Delta W \cdot \text{Ц}, \quad (3.47)$$

де Ц – ціна за 1кВт · год енергії, $\text{Ц} = 3$ кВт · грн.

$$\Delta W_p = 4730,75 \cdot 3 = 14\,192,25 \text{ грн.}$$

Розрахуємо економію від регулювання коефіцієнта потужності:

$$\Delta W_{\cos\varphi} = P_n \cdot K_e \cdot t, \quad (3.48)$$

де K_e – коефіцієнт використання, $K_e = 0,03$.

$$\Delta W_{\cos\varphi} = 6,23 \cdot 0,03 \cdot 3725 = 696,21 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Що в грошовому еквіваленті становить:

$$\Delta W_{\cos\varphi} = 696,21 \cdot 3 = 2088 \text{ грн.}$$

Загальна економія електричної енергії становить:

$$\Delta W_{\text{заг}} = \Delta W_{\cos\varphi} + \Delta W_p = 14192,25 + 2088 = 16\,280,25 \text{ грн.} \quad (3.49)$$

Розрахуємо капіталовкладення :

$$K_{\Sigma 1} = K_{061} + P_{\Sigma} \quad (3.50)$$

де K_{061} – капіталовкладення в обладнання без ЧП, $K_{061} = 26165$ грн.

$$K_{\Sigma 1} = 26165 + 39198,67 = 65\,363,67 \text{ грн.}$$

Розрахуємо термін окупності за формулою:

$$T_0 = \frac{K_{\Sigma 1}}{\Delta W_{\text{заг}}} = \frac{65363,67}{16280,25} = 4 \text{ роки,} \quad (3.51)$$

Після впровадження двигуна типу 4A132M6, буде отримана економія електроенергії $\Delta W_{\text{заг}} = 5\,426,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, термін окупності складе 4 роки.

Пропонується до електроприводу впровадити перетворювач частоти ESQ-A1000 (рис.3.9), що дозволить значно підвищити експлуатаційні характеристики та надійність двигуна типу 4A132M6. Якщо впровадити частотний перетворювач ESQ-A1000, то ми отримаємо коефіцієнт потужності 0,98.



Рисунок 3.9 – Частотний перетворювач типу ESQ-A1000

Знайдемо активну потужність двигуна 4A132M6 після впровадження перетворювача частоти типу ESQ-A1000:

$$P_n = U_p \cdot I_p \cos \varphi \quad (3.52)$$

де U_p – робоча напруга, 0,38 кВ;

I_p – робочий струм, 9 А.

$$P_n = 0,38 \cdot 9 \cdot 0,98 = 3,35 \text{ кВт}$$

Знайдемо повну потужність після впровадження частотного перетворювача:

$$S_n = \frac{3,35}{0,98} = 3,42 \text{ кВА.}$$

Знаходимо реактивну потужність після впровадження частотного перетворювача типу ESQ-A1000:

$$Q = \sqrt{3,42^2 - 3,35^2} = 0,69 \text{ кВАр}$$

Як бачимо, реактивна потужність після впровадження в електропривод частотного перетворювача типу ESQ-A1000 значно впала, це призведе до значного зменшення втрат електричної енергії. Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.8 Порівняння результатів розрахунку активної, реактивної та повної потужності нового двигуна з частотним перетворювачем з показниками старого двигуна AIP160S8

Двигуни	Активна потужність, кВт	Реактивна потужність, кВАр	Повна потужність, кВА
AIP160S8	7,5	4,9	9,0
4A132M6+ESQ-A1000	3,35	0,69	3,42

Знайдемо економічний ефект від впровадження перетворювача частоти:

$$\Delta W = 7,5 - 3,35 = 4,15 \text{ кВт}$$

Знайдемо економію електричної енергії за рік:

$$\Delta W_p = 4,15 \cdot 3725 = 15\,485,75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Знайдемо річну економію електричної енергії в грошовому еквіваленті за допомогою формули:

$$\Delta W_p = 4730,75 \cdot 3 = 46\,457,25 \text{ грн.}$$

Розрахуємо економію від регулювання коефіцієнта потужності:

$$\Delta W_{\cos\varphi} = 3,35 \cdot 0,03 \cdot 3725 = 374,36 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Що в грошовому еквіваленті становить:

$$\Delta W_{\cos\varphi} = 374,36 \cdot 3 = 1123 \text{ грн.}$$

Загальна економія електричної енергії становить:

$$\Delta W_{\text{заг}} = 46\,457,25 + 1123 = 47580,25 \text{ грн.}$$

Розрахуємо капіталовкладення :

$$K_{\Sigma 2} = K_{\text{об}} + P_{\Sigma}$$

де $K_{\text{об}}$ – капіталовкладення в обладнання з ЧП, $K_{\text{об}} = 41165$ грн.

$$K_{\Sigma 2} = 41165 + 39198,67 = 80\,363,64 \text{ грн.}$$

Розрахуємо термін окупності за формулою:

$$T_0 = \frac{K_{\Sigma 2}}{\Delta W_{\text{заг}}} = \frac{80363,64}{47580,25} = 1,7 \text{ роки,}$$

Після впровадження двигуна типу 4A132M6 та ЧП типу ESQ-A1000, буде отримана економія електроенергії $\Delta W_{\text{заг}} = 15\,860,11$ кВт · год, термін окупності складе 1,7 року.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі було наведено загальновідомі дані та характеристики вже існуючого технологічного процесу виготовлення агломерату. Проведено детальний поетапний опис та аналіз технології виробництва агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь».

2. Виявлено, що основним споживачем енергії агломераційної машини є двигун АІР160S8.

3. Було розроблено та запропоновано ряд заходів технічного характеру, які сприяють зниженню споживання електричної енергії агломераційною машиною, що в свою чергу підвищить ефективність її використання.

4. Було вирішено використати електропривод змінного струму з частотним регулюванням на основі двигуна 4A132M6 німецької фірми Siemens. Це дозволило значно підвищити надійність та експлуатаційні характеристики агломашини. Економічний ефект від впровадження двигуна 4A132M6 – 1,27 кВт, річна економія електроенергії заходу – 5 426,36 кВт · год, термін окупності капіталовкладень – 4 роки.

5. Також було запропоновано до вже існуючого заходу додати перетворювач частоти ESQ-A100. Річна економія при впровадженні ЧП складає – 15 860,11 кВт · год. Вартість капіталовкладень у захід – 80 363,64 грн. Термін окупності – 1,17 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сайт ПАТ «Запоріжсталь» : <https://www.zaporizhstal.com/ua>.
2. Горбатенко В.О. Металургійна кухня. Київ, 2019. 116с.
3. Дюдник, Д.А. Новые материалы в металлургии [Текст] : Навчальний посібник/ Д.А. Дюдник – Київ : Видавництво «Київ», 1997. – 254 с. – ISBN 966-533-126-3.
4. Вегман Е.Ф. Окомкование руд и концентратов –М.: Металлургия, 1984
5. Исаев, Е.А. Теория управления окомкователем сыпучих материалов –Спб.: ТНТ, 2004.
6. Виробництво основних видів промислової продукції за 2003-2016 роки: [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>
7. Чубенко В. А., Хіноцька А. А. Технологія прокатного виробництва : навчальний посібник. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2017. 169 с.
8. Правила технической эксплуатации железнодорожного транспорта предприятий системы министерства промышленности Украины, 1994. – 136 с.
9. Могелат, Є.М. Електропостачання електричної енергії [Текст] : Довідник / Є.М. Могелат – Київ : Видавництво «Київ», 2006. – 513 с. – ISBN 966-533-126-3.
10. Гольдберг О.Д. Гурин Я.С. Проектування електричних машин. – К., 2001
11. Селезньов, Д.С. Економія енергоресурсів [Текст] : Навчальний посібник/ Д.А. Дюдник – Луцьк : Видавництво «Київ», 1997. – 254 с. – ISBN 966-533-126-3.
12. Яцун, М. А. Електричні машини [Текст]: Навчальний посібник / М. А. Яцун. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 428 с. – ISBN 966-533-126-3.
13. Анур'єв В.І. Довідник конструктора-машинобудівника: В 3-х томах.- М.:Машинобудування, 2001.- т.1 - 920с.; т.3.-557с.

14. Бабушкін, Г.Ф. Технологія та організація транспортно-складських робіт на промисловому транспорті : Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993 – 190 с.
15. Руденко М.Р. Споруди та обладнання металургійних цехів. Дніпро : Видавничий центр ДДТУ, 2019. 67с.
16. Голота, А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах [Текст]: Навч. посіб. / А. Д. Голота. – К.: Вища шк., 2006. 367 с. – ISBN 966-642-316-2.
17. Белов М.П., Новіков В.А., Розсудів Л. Н. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів. - 3-е изд., Испр .. - М .: Видавничий центр "Академія", 2007.
18. Фотієв М.М. Електропривід та електрообладнання металургійних цехів - М.: Металургія, 1990. 352с.
19. Сінолиций А.П., Математичний апарат системи верифікації енергетичної моделі електроспоживача / А.П. Сінолиций, В.А. Кольсун, В.С. Козлов // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика, 2012. – Вип. 3(19). – С. 222-224
20. Селевцов, Л. І. Автоматизація технологічних процесів: підручник для студ. установ серед. проф. освіти / Л. І. Сельовцов, А. Л. Сельовцов. - 3-е изд., стер. - М.: Видавничий центр «Академія», 2014
21. Плахтин В.Д. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин. Підручник для вузів М.: Металургія, 1983. 415с.
22. Иванов И.И., Равдоник В.С. Электротехника: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1984. – 375 с.
23. Давыдов А.С. Особенности измерения полной и реактивной мощности и энергии в электрических сетях / А.С. Давыдов, А.Н. Попенака, В.В. Аникин // Український метрологічний журнал, 2009. - №2. – С. 11–15
24. Іващенко О. В. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту. Запоріжжя : вид. ЗДІА, 2004. 31 с.
- 25.. Базаров, Т. Ю., Еремін Б. Л. Управление персоналом. М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 2011. 315 с.

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи
Підвищення ефективності використання електричної енергії обладнанням
агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут
ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електротехніки та енергоефективності

Підвищення ефективності використання
електричної енергії обладнанням
агломераційного цеху ПАТ
«Запоріжсталь»

Виконав: студент гр. ЕТ-18-1б Новокшонов О.М.

Науковий керівник: к.т.н., доцент Єрофєєва А.А.

МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Аналіз існуючої технології виробництва, зокрема аналіз загальновідомих даних та характеристика вже існуючого технологічного процесу виготовлення агломерату, розробка заходів щодо підвищення ефективності електричної енергії обладнанням агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь».

ЗАВДАННЯ РОБОТИ

1. Аналіз та визначення найменш ефективної ділянки виробництва.
2. Розробка модернізації існуючої технології.
3. Проведення розрахунків доцільності введення заходів технічного характеру.

СХЕМА ВИРОБНИЦТВА АГЛОМЕРАТУ

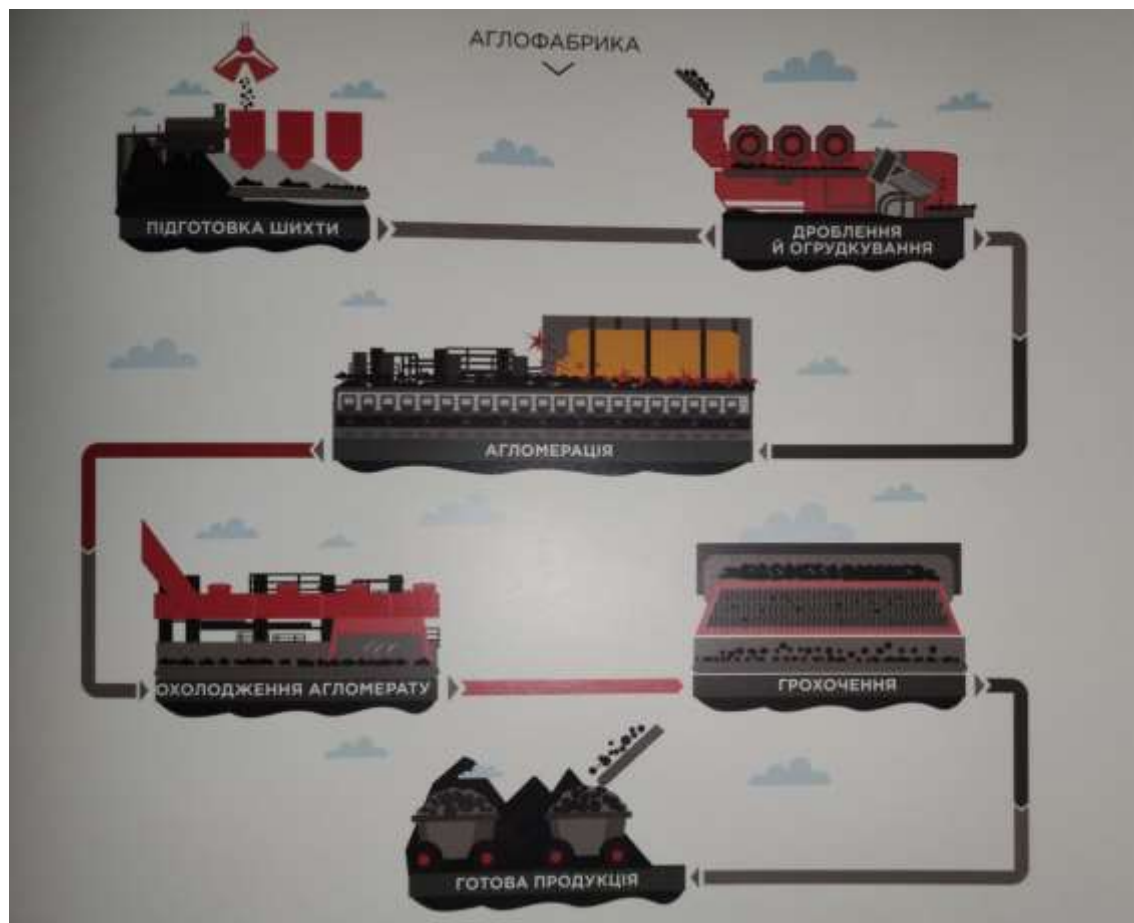
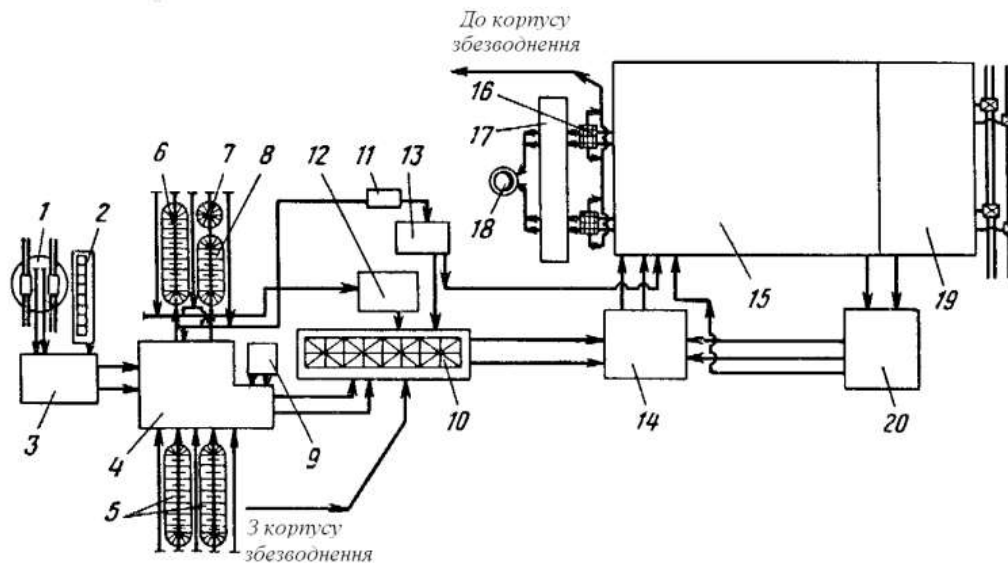
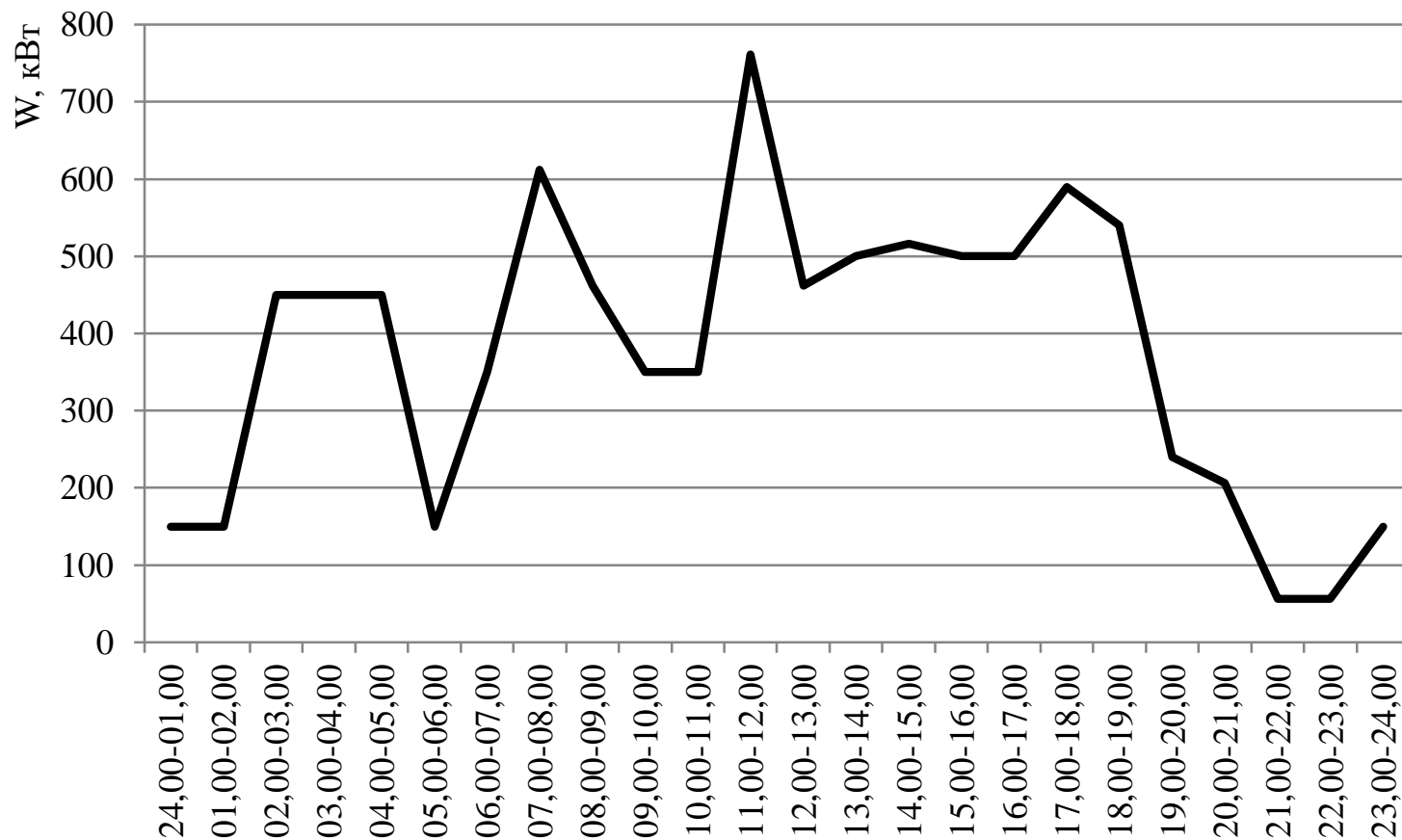


СХЕМА СПОРУД І КОНСТРУКЦІЙ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ



- 1 – вагоноперекидне відділення; 2 – прийомні бункери окалини, коксу та колошникового пилу; 3 – вузол перевантажування; 4 – розподільне відділення;
 5 – залізорудний склад; 6 – склад вапняку; 7 – марганцеворудний склад;
 8 – паливний склад; 9 – відділення дроблення мерзлої руди; 10 – бункери шихти;
 11, 12, 13 – відділення дроблення палива; 14 – первинне змішування;
 15 – агломераційне відділення; 16 – мокре очищення газів або батарейні циклони;
 17 – нагнітачі; 18 – димар; 19 – охолоджувальне відділення й сортування агломерату; 20 – сортування повернення.

ГРАФІК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ



РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВІДДІЛЕННЯМИ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ

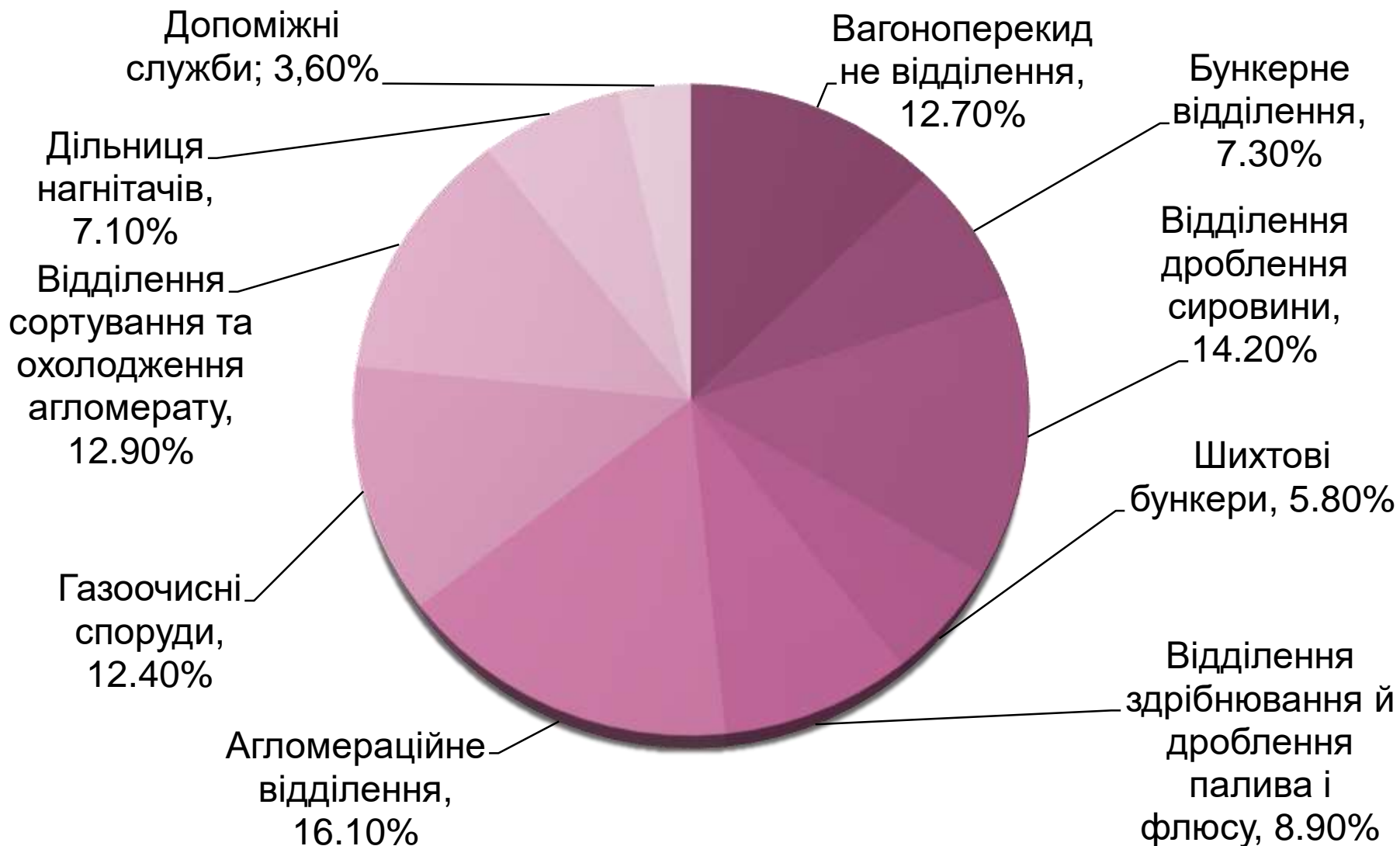
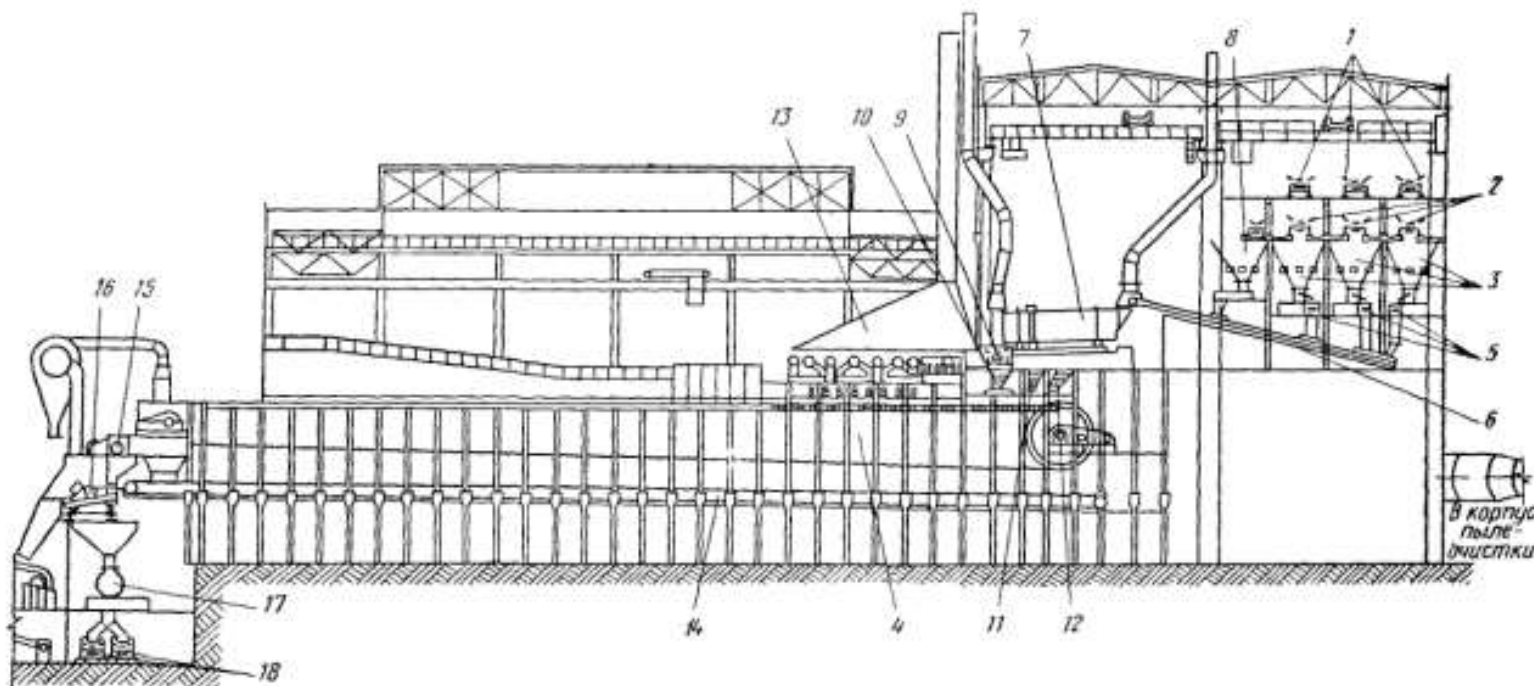


СХЕМА АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВІДДІЛЕННЯ



- 1,5,6,18 – стрічкові конвеєри; 2 – реверсивний пересувний конвеєр;
 3,8 – бункери; 4 – агломашина; 7 – двобарабанный змішувач-огрудковувач;
 9 – човниковий розподільник; 10,11,12 – завантажувальні вирви; 13 – горн;
 14 – пластинчастий конвеєр; 15 – зубчаста дробарка;
 16 – відкатний грохот; 17 – барабанний охолоджувач.

ДВИГУН АІР160S8



Параметри	Характеристика
Бренд	АІР
Потужність	7,5 кВт
Кількість фаз	3
Напруга мережі	380 В
Номінальний струм	19,2 А
Частота обертання ротора	750 об/хв

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Прилади	Варіант виконання					
	1		2		3	
	марка	вартість	марка	вартість	марка	вартість
ПЧ	ESQ-A1000	15000	BOSH E3-9100	21700	ABB ACS880	27590
Редуктор	F41 3 H40 P90	12850	F41 3 H40 P90	12850	ABB 1SDA 073732R1	19750
Двигун	4A132M6	5500	4A132M 6	5500	ABB M3BP 160 MLA	16550
Комут. апаратура	комплект	7815	комплек т	7815	комплект	7815
Модуль зв'язку	інтегрован о	0	Розробк а ведеться окремо	20000	Закупівля ведеться окремо	6435
Сума за комплект	41165		67865		78140	

ОБЛАДНАННЯ, ЩО ПРОПОНУЄТЬСЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ

**ДВИГУН SIEMENS
4A132M6**



Параметри	Характеристика
Бренд	Siemens
Потужність	7,5 кВт
Кількість фаз	3
Напруга мережі	380 В
Номінальний струм	16,4 А
Частота обертання ротора	750 об/хв
Ціна	5 500 грн.

**ПЕРЕТВОРЮВАЧ
ЧАСТОТИ ESQ-A1000**



Параметри	Характеристика
Бренд	ESQ
Потужність	3,7 кВт
Кількість фаз	3
Напруга мережі	380 В
Номінальний струм	9 А
Ціна	15 000грн.

ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі було проведено поетапний опис та аналіз технології виробництва агломераційного цеху ПАТ «Запоріжсталь».
2. Виявлено, що основним споживачем енергії агломераційної машини є двигун AIP160S8.
3. Було розроблено та запропоновано ряд заходів технічного характеру
4. Було вирішено використати електропривод змінного струму з частотним регулюванням на основі двигуна 4A132M6 німецької фірми Siemens. Це дозволило значно підвищити надійність та експлуатаційні характеристики агломашини. Економічний ефект від впровадження двигуна 4A132M6 – 1,27 кВт, річна економія електроенергії заходу – 5 426 кВт · год, термін окупності капіталовкладень – 4 роки.
5. Також було запропоновано до вже існуючого заходу додати перетворювач частоти ESQ-A100. Річна економія при впровадженні ЧП складає – 15 860 кВт · год. Вартість капіталовкладень у захід – 80 363,64 грн. Термін окупності – 1,17 року.