

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ТЕМА РОБОТИ

«Електромеханічне обладнання системи подачі вугілля в умовах ДТЕК
«Криворізька ТЕС»

Виконав:

студент групи ЕЕМ-21-2	_____	Д.О. Михеда
Керівник випускної роботи	_____	к.т.н., доц. О.В. Ільченко
Нормоконтролер	_____	к.т.н., доц. О.В. Ільченко
Декан ЕТФ	_____	к.т.н., доц. В.О. Федотов
Гарант освітньої програми	_____	к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Електротехнічний

Кафедра: Електромеханіки

Освітньо-професійна програма першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти: «бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика,

електромеханіка та електромеханіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н. Ігор Пересунько

« _____ » _____ 20____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

_____ Михаєда Даніїл Олегович

(прізвищі ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічне обладнання системи подачі вугілля в умовах ДТЕК «Криворізька ТЕС»

керівник проекту (роботи) _____ Ільченко О.В.

затверджена наказом по КНУ від « 12 » травня 2025 р. № 249с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 12 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Проектна потужність станції: 3000 МВт; встановлена потужність (на 2025 рік): 2078 МВт; основне паливо: рядове вугілля; типи котлів: П-50 та ТАП-210А; потужність блоків: 10 блоків по 282 МВт.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.1 Загальна характеристика підприємства. 1.2 Технологічна схема роботи ТЕС. 1.3 Конвеєрне обладнання системи подачі вугілля. 1.4 Розрахунок продуктивності конвеєру. 1.5 Визначення потужності та вибір приводного двигуна. 1.6 Вибір приводного електродвигуна. 1.7 Розрахунок параметрів та вибір редуктора. 2.1 Вибір системи електроприводу конвеєра. 2.2 Розрахунок параметрів електроприводу. 2.3 Побудова механічних характеристик електропривода. 2.4 Обладнання регулятора наруги. 2.5 Заходи з енергозбереження в конвеєрній установці. 3.1 Розрахунок електричних навантажень від споживачів власних потреб в системі подачі палива. 3.2 Розрахунок та вибір силових трансформаторів. 3.3 Розрахунок значень струмів короткого замикання. 3.4 Розрахунок та вибір високовольтного обладнання з боку 6 кВ. 3.5 Вибір електрообладнання для підключення конвеєра. 3.6 Розрахунок і вибір перетину кабельної лінії напругою 6 кВ. 3.7 Вибір електрообладнання зі сторони низької напруги 0,4 кВ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

_____ презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Ільченко О.В., доцент		
2	Ільченко О.В., доцент		
3	Ільченко О.В., доцент		

7. Календарний план

№за/п	Етапи роботи	Термін виконання	Примітка
1.	1.1 Загальна характеристика підприємства	13.05.25	Виконано
2.	1.2 Технологічна схема роботи ТЕС	14.05.25	Виконано
3.	1.3 Конвеєрне обладнання системи подачі вугілля	15.05.25	Виконано
4.	1.4 Розрахунок продуктивності конвеєру	16.05.25	Виконано
5.	1.5 Визначення потужності та вибір приводного двигуна	19.05.25	Виконано
6.	1.6 Вибір приводного електродвигуна	20.05.25	Виконано
7.	1.7 Розрахунок параметрів та вибір редуктора	21.05.25	Виконано
8.	2.1 Вибір системи електроприводу конвеєра	22.05.25	Виконано
9.	2.2 Розрахунок параметрів електроприводу	23.05.25	Виконано
10.	2.3 Побудова механічних характеристик електропривода	26.05.25	Виконано
11.	2.4 Обладнання регулятора наруги	27.05.25	Виконано
12.	2.5 Заходи з енергозбереження в конвеєрній установці	01.06.25	Виконано
13.	3.1 Розрахунок електричних навантажень від споживачів власних потреб в системі подачі палива	03.06.25	Виконано
14.	3.2 Розрахунок та вибір силових трансформаторів	06.06.25	Виконано
15.	3.3 Розрахунок значень струмів короткого замикання	08.06.25	Виконано
16.	3.4 Розрахунок та вибір високовольтного обладнання з боку 6 кВ	09.06.25	Виконано
17.	3.5 Вибір електрообладнання для підключення конвеєра	10.06.25	Виконано
18.	3.6 Розрахунок і вибір перетину кабельної лінії напругою 6 кВ	11.06.25	Виконано
19.	3.7 Вибір електрообладнання зі сторони низької напруги 0,4 кВ	12.06.25	Виконано

Дата видачі завдання: «12» травня 2025 р.

Студент _____ Михеда Д.О.

(підпис)

(П.І.Б.)

Керівник роботи (проекту) _____ Ільченко О.В.

(підпис)

(П.І.Б.)

Реферат

Робота містить __ сторінок, __ таблиць, __ рисунків, __ джерел літератури.

Тема кваліфікаційної роботи: «Електромеханічне обладнання системи подачі вугілля в умовах ДТЕК «Криворізька ТЕС».

Об'єктом проектування та дослідження в роботі є стрічковий конвеєр в системі подачі вугілля в умовах теплової електростанції. В першому розділі розглянуто основні стадії технологічного процесу виробництва електроенергії. Дана технологічна характеристика конвеєру, який служить для живлення станції вугіллям з наведеними паспортними параметрами. Здійснено розрахунок конвеєру, що включав розрахунок лінійних сил натягіння, розподіленого опору руху стрічки, тягового зусилля та ряду додаткових параметрів. На основі необхідної потужності обрано приводний двигун. Проведено розрахунок та вибір редуктора.

Другий розділ роботи присвячений питанням проектування та аналізу системи електропривода конвеєру. Здійснено порівняльний аналіз систем регулювання асинхронного приводу, обрано систему з регулюванням напруги. Проведено розрахунок параметрів схеми заміщення приводу, побудовано статичні характеристики. Виконано обґрунтований вибір силового регулятора напруги, наведено опис та основні технічні параметри. Окремо винесено розгляд питань енергозбереження в ході експлуатації конвеєрної установки, перелічено заходи з підвищення енергоефективності конвеєру.

При проектуванні електропостачання об'єкту в третьому розділі роботи, складено список споживачів електроенергії на ділянці подачі вугілля, що дало змогу розрахувати і обрати силові трансформатори. Зроблено розрахунок струмів короткого замикання у двох точках лінії електропостачання об'єкту: зі сторони високої напруги та низької. Вибір електрообладнання зі сторони високої напруги включав: розрахунок шин, роз'єднувача та силового вимикача, а також вимірювальних трансформаторів. Розраховано та обрано силовий вимикач та комплектний розподільний пристрій для підключення приводу конвеєра. Здійснено розрахунок та вибір за каталогом кабельних ліній високої напруги. Проведено розрахунок низьковольтного обладнання.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, асинхронний двигун, електропривод, енергозбереження.

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.Р			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Михеда Д.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

ЗМІСТ

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.3М			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Михеда Д.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ВУГІЛЛЯ	9
1.1 Загальна характеристика підприємства	10
1.2 Технологічна схема роботи ТЕС	10
1.3 Конвеєрне обладнання системи подачі вугілля	12
1.4 Розрахунок продуктивності конвеєру	14
1.5 Визначення потужності та вибір приводного двигуна	15
1.6 Вибір приводного електродвигуна	17
1.7 Розрахунок параметрів та вибір редуктора	19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРУ ПОДАЧІ ВУГІЛЛЯ	21
2.1 Вибір системи електроприводу конвеєра	22
2.2 Розрахунок параметрів електроприводу	26
2.3 Побудова механічних характеристик електропривода	28
2.4 Обладнання регулятора наруги	29
2.5 Заходи з енергозбереження в конвеєрній установці	35
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ	37
3.1 Розрахунок електричних навантажень від споживачів власних потреб в системі подачі палива	38
3.2 Розрахунок та вибір силових трансформаторів	39
3.3 Розрахунок значень струмів короткого замикання	39
3.4 Розрахунок та вибір високовольтного обладнання з боку 6 кВ	41
3.5 Вибір електрообладнання для підключення конвеєра	45
3.6 Розрахунок і вибір перетину кабельної лінії напругою 6 кВ	48
3.7 Вибір електрообладнання зі сторони низької напруги 0,4 кВ	49
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

					Зміст	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.ВС			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Михеда Д.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

Сучасний світ, з його динамічним розвитком промисловості, інфраструктури та повсякденного життя, неможливо уявити без стабільного та доступного джерела електричної енергії. У цьому контексті теплові електростанції (ТЕС) відіграють одну з ключових ролей, будучи фундаментальним елементом світової енергетичної системи. Протягом десятиліть вони забезпечували левову частку виробництва електроенергії, залишаючись важливим компонентом енергетичної безпеки багатьох країн.

Принцип роботи ТЕС базується на перетворенні хімічної енергії палива в електричну. Цей процес, як правило, починається зі спалювання викопного палива – вугілля, природного газу або мазуту – у котлах для нагріву води та отримання пари високого тиску. Далі ця пара подається на турбіни, обертання яких, у свою чергу, приводить у дію електричні генератори. Отриманий таким чином електричний струм передається до споживачів через розгалужену мережу ліній електропередачі.

Історично ТЕС стали основою індустріалізації, дозволивши масштабувати виробництво енергії до небачених раніше обсягів. Їхня значущість полягає не лише у високій потужності, а й у можливості регулювання виробітку електроенергії відповідно до змін попиту, що робить їх надійним і гнучким джерелом у пікові періоди навантажень.

Таким чином, теплові електростанції є складними інженерними комплексами, які перебувають на перетині технологічного прогресу та екологічних вимог. Їхня подальша еволюція матиме вирішальне значення для формування майбутнього енергетичного ландшафту планети.

Важливим елементом в технологічному ланцюжку роботи ТЕС являється система подачі палива, так як вона має забезпечувати безперервне живлення електростанції, підтримуючи її постійну роботу. Отже, питання проектування та оптимізації роботи елементів системи подачі палива ТЕС є важливою практичною задачею.

					Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ
СИСТЕМИ ПОДАЧІ ВУГІЛЛЯ**

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.Р1				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальна характеристика електромеханічного обла- днання системи подачі вугілля	Літ.	Арк.	Аркуші	
Розроб.		Михеда Д.О.							
Перевір.		Ільченко О.В.							
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-2			
Н. Контр.		Ільченко О.В.							
Затверд.		Пересунько І.І.							

1.1 Загальна характеристика підприємства

Найбільша електростанція Дніпропетровщини — Криворізька ТЕС — знаходиться за 40 км на південь від районного центру Кривого Рогу, поблизу Зеленодольська (2 км). Ця станція відіграє ключову роль у постачанні електроенергії для свого регіону.

Криворізька теплова електростанція (ТЕС), що має проєктну потужність 3000 МВт (при фактичній встановленій потужності 2078 МВт станом на 2025 рік), використовує 10 енергоблоків по 282 МВт. Котельне обладнання включає 4 котли П-50 та 6 котлів ТАП-210А. Турбінний парк представлений моделями К-300-240-2 (блоки 1-5, 9, 10) та К-300-240 (блоки 6-8). Із введенням в експлуатацію енергоблоку № 8, станція досягла проєктної потужності 2400 МВт, ставши першою типовою блоковою ТЕС на твердому паливі з енергоблоками 300 МВт.

Криворізька ТЕС слугувала випробувальним майданчиком для впровадження стандартних схем освоєння та експлуатації енергетичного обладнання. Головним паливом є рядове вугілля; мазут і газ використовуються як резервні. Електрична енергія передається з напругою 150 і 330 кВ через відкриті розподільні пристрої.

1.2 Технологічна схема роботи ТЕС

Ланцюжок технологічних процесів від доставки палива на ТЕС до видачі електроенергії відображено на технологічній схемі рис. 1.1.

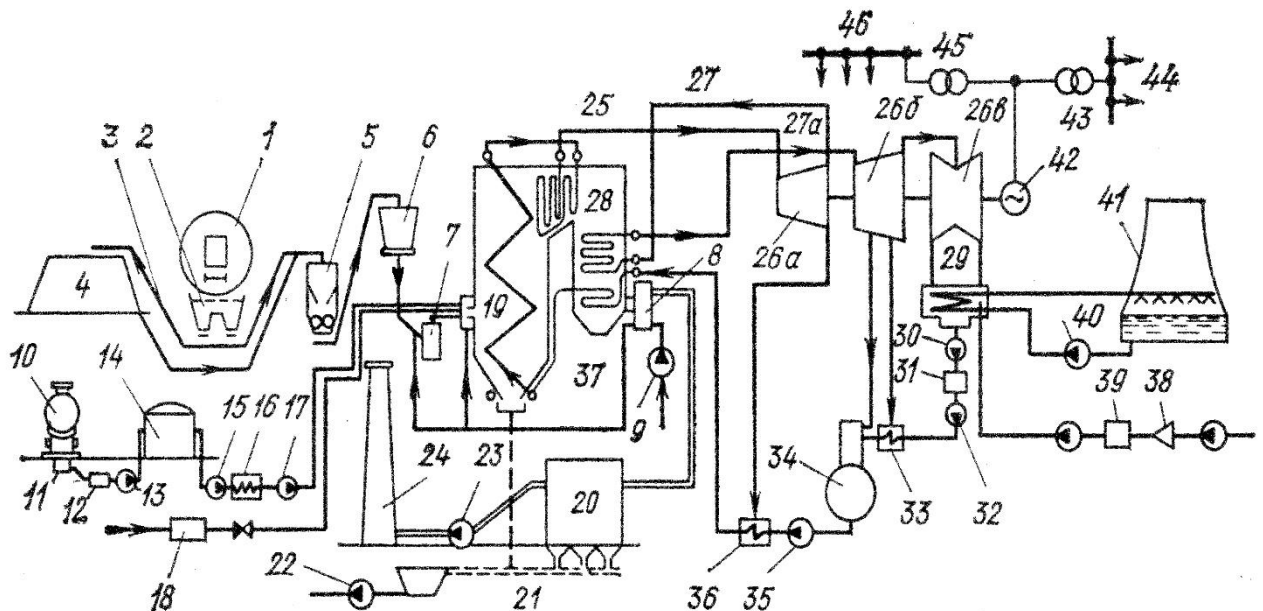


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ТЕС

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Транспортування твердого пального відбувається залізничними коліями, використовуючи спеціально призначені напіввагони, котрі відрізняються за вантажопідйомністю: чотиривісні – 63 тонни, шестивісні – 93 тонни, восьмивісні – 125 тонн. Вагони, наповнені вугіллям, проходять зважування на залізничних вагах. Протягом зимових місяців ці вагони з вугіллям пропускають крізь розморожувальний комплекс (тепляр), де їхні стінки прогріваються теплим повітряним потоком [1]. Далі вагон направляється до розвантажувального механізму – вагоноперекидача 1. Всередині нього вагон здійснює обертання навколо своєї поздовжньої осі приблизно на 180 градусів; вугілля при цьому вивантажується на ґрати, що закривають приймальні бункери 2. З цих бункерів паливо подається за допомогою живильних пристроїв на стрічковий конвеєр [2], який доставляє його до пересипного вузла 3. Звідси вугілля може прямувати конвеєрними лініями або безпосередньо до вугільного сховища 4, або, після проходження дробильного відділення 5, до бункерів нерозмеленого вугілля котельні 6. Ці ж бункери можуть поповнюватися паливом і з вугільного складу.

Вся ця система подачі палива, разом із вугільним сховищем, формує комплекс паливозабезпечення, який обслуговується працівниками паливно-транспортного підрозділу теплової електростанції. Подрібнене вугілля проходить помел у млині 7, звідки пилоповітряна суміш безпосередньо вдувається через пальники у топочну камеру. Повітря, яке попередньо нагрівається в повітронагрівачі 8 і подається дутьовим вентилятором 9, частково надходить до млина (як первинне повітря), а частково – безпосередньо до пальників (як вторинне повітря). Дутьовий вентилятор забирає повітря через повітропровідний канал: влітку – з верхньої зони котельного відсіку, взимку – з зовнішнього простору головного корпусу. Також, перед тим як повітря потрапляє до повітронагрівача, можливе його додаткове калориферне підігрівання парою або гарячою водою.

Котли, що працюють на пиловугільному паливі, обов'язково оснащені системою розпалу, для якої зазвичай використовується мазут. Мазут транспортується у залізничних цистернах 10, де перед вивантаженням він розігрівається парою. Нагрітий мазут зливається обігріваним міжрейковим лотком 11 у приймальну ємність 12. Звідти він перекачується насосами 13 до основного резервуара 14. За допомогою насоса першого підйому 15, мазут проходить через парові підігрівачі 16. Після них інший насос (7) подає його далі. Як альтернативне пальне також може використовуватися природний газ, що надходить з газотранспортної системи через газорегулювальний пункт 18 безпосередньо до котельні.

Зола, що утворюється від спалювання палива у топці котла 19, частково виходить у вигляді рідкого шлаку крізь сітчасту підлогу топки, а частково виноситься разом з димовими газами з котла, де потім вловлюється в

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електрофільтрі 20 і збирається. Завдяки змивним пристроям, шлак та летка зола подаються в самопливні канали системи гідрозоловидалення 21. З них, після попереднього проходження металоуловлювача та шлакодробилки, гідрозолошлакова суміш надходить у багерний насос 22, який перекачує її по золопроводах на місце утилізації золи та шлаку.

Димові гази, після проходження золоуловлювача, подаються до димової труби 24 за допомогою димососа 23. У випадку, коли котел функціонує під наддувом, потреба в установці димососів відпадає.

Підігріта пара з вихідного колектора пароперегрівача, через магістраль свіжої пари 25, потрапляє до циліндра високого тиску (ЦВТ) паротурбінного агрегату 26а. Після ЦВТ, пара з «холодної» лінії проміжного підігріву 27 повертається до котла і надходить у проміжний пароперегрівач 28. Там вона знову нагрівається до температури, аналогічної свіжій парі, або дуже близької до неї. По «гарячій» гілці проміжного підігріву (27а) пара надходить до циліндра середнього тиску (ЦСТ) 26б, потім – до циліндра низького тиску (ЦНТ) 26в, а звідти – до конденсатора турбіни 29. З конденсатозбірника конденсатора, конденсатні насоси першої ступені 30 направляють конденсат на фільтри установки для очищення конденсату 31. Після очищення, конденсатним насосом тиску (КНТ) 33 він подається до деаератора 34. У деаераторі вода доводиться до кипіння, що сприяє видаленню розчинених у ній агресивних газів (O_2 та CO_2), таким чином запобігаючи корозійним процесам у пароводяному контурі. Деаерована живильна вода з акумуляторного бака деаератора, що подається живильним насосом 35, проходить через групу підігрівачів високого тиску (ПВТ) 36 до економайзера 37. Цей процес замикає пароводяний цикл, який включає контури котла та турбінного комплексу.

1.3 Конвеєрне обладнання системи подачі вугілля

Стрічковий конвеєр призначений для безперервного переміщення вугілля під нахилом. Його вибір зумовлений високою ефективністю та відносною простотою конструкції. Кут нахилу обмежується силою тертя між вантажем та стрічкою, для його збільшення можливе використання спеціалізованих типів стрічок [2-3].

На рисунку 1.2 наведено кінематичну схему конвеєра, цифрами 1-8 позначені характерні точки натягу конвеєрної стрічки.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

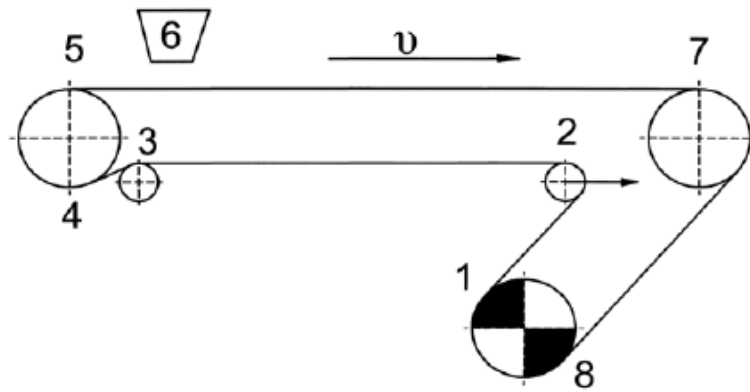


Рисунок 1.2 - Кінематична схема конвеєра

Стрічка конвеєра виконує подвійну функцію: несе вантаж і забезпечує рух. Її переміщення відбувається завдяки зчепленню з приводним барабаном. Привід барабана здійснюється від електродвигуна, що працює через редуктор. Оскільки конвеєр транспортує вантаж вгору по похилій площині, він оснащений гальмівною системою, яка запобігає самовільному сповзанню стрічки під дією сили тяжіння вантажу при вимкненому стані.

Для забезпечення оптимальних умов функціонування стрічки, мінімізації її зносу та провисання, конвеєр обладнаний роликоопорами.

Натяжний пристрій відповідає за створення необхідного натягу стрічки. Це забезпечує адекватне тягове зусилля на приводному барабані та зменшує провисання стрічки між роликоопорами.

Конвеєр складається з трьох основних секцій: головної, середньої та хвостової. Завантаження матеріалу відбувається через пристрій, розташований у хвостовій частині. Головна секція включає розвантажувальний механізм та фрикційний привод. Траса конвеєра має похилий профіль для підйому вантажу.

До ключових переваг конвеєрного транспорту відносять [4]: безперервність подачі матеріалу та високу продуктивність; можливість великої довжини окремих конвеєрів або цілих конвеєрних систем; здатність транспортувати вантажі під кутом до 18° ; компактні поперечні габарити ставу конвеєра, що дозволяє встановлювати його в обмеженому просторі; потенціал для повної автоматизації з централізованим управлінням; підвищення рівня безпеки та покращення умов праці. Однак існують і недоліки, зокрема: труднощі з транспортуванням абразивних та великогабаритних вантажів, а також необхідність попереднього дроблення матеріалу; інтенсивний знос гнучких елементів, що несуть вантаж; висока вартість обладнання та його монтажу; потреба в додатковій транспортній системі для переміщення допоміжних вантажів.

Основні етапи розрахунку конвеєра включають: попередній вибір його типу, перевірку обраної ширини стрічки, розрахунок розподілених опорів руху стрічки,

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення зосереджених опорів руху стрічки, обчислення тягового зусилля та визначення потужності електроприводу.

1.4 Розрахунок продуктивності конвеєру

Вихідні дані для розрахунку конвеєра базуються на основних технологічних параметрах ТЕС, а саме:

- Проектна потужність станції: 3000 МВт.
- Встановлена потужність (на 2025 рік): 2078 МВт.
- Основне паливо: рядове вугілля.
- Типи котлів: П-50 та ТАП-210А.
- Потужність блоків: 10 блоків по 282 МВт.

Питома витрата вугілля на 1 МВт електроенергії варіюється залежно від типу вугілля, ККД котлів та турбін. В середньому, для теплових електростанцій на вугіллі, питома витрата може становити від 0,3 до 0,45 кг вугілля на 1 кВт*год (або 300-450 г/кВт*год). Для розрахунку будемо використовувати середнє значення, тобто приймаємо 0,35 кг/кВт*год.

Станція може працювати на повну встановлену потужність або частково. Конвеєри повинні забезпечувати подачу вугілля для роботи станції на її встановленій потужності.

Встановлена потужність становить: $P_{\text{вст}} = 2078 \text{ МВт} = 2\,078\,000 \text{ кВт}$.

Добове виробництво електроенергії (при цілодобовій роботі на встановленій потужності):

$$\begin{aligned} W_{\text{доб}} &= 24 \times P_{\text{вст}} = 2078000 \text{ кВт} \times 24 \text{ год/доб} = \\ &= 49872000 \text{ кВт} \cdot \text{год/доб} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Добова витрата вугілля:

$$\begin{aligned} Q_{\text{доб}} &= W_{\text{доб}} \times 0,35 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год} = \\ &= 49872000 \text{ кВт} \cdot \text{год/доб} \times 0,35 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год} = 17455200 \text{ кг/доб} \\ &= 17455200 \text{ кг/добу} = 17455,2 \text{ тон/доб} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Годинна витрата вугілля:

$$Q_{\text{год}} = 17455,2 \text{ тон/добу} / 24 \text{ год/добу} \approx 727,3 \text{ тон/год} \quad (1.3)$$

Конвеєрна система подачі вугілля складається з двох паралельних ліній для забезпечення надійності та можливості ремонту. Тому, продуктивність одного

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конвеєра приймається меншою, ніж загальна годинна потреба станції, але система в цілому повинна забезпечувати або перевищувати її:

$$Q_{\text{конв}} = 1,2 \frac{Q_{\text{год}}}{2} = 1,2 \frac{727,3}{2} = 436,38 \text{ тон/год} \quad (1.4)$$

1.5 Визначення потужності та вибір приводного двигуна

1.5.1 Розрахункова масова продуктивність конвеєра

Розрахунковий показник маси, що переміщується, для оцінки відносного навантаження на конвеєрну стрічку та тягового зусилля приводної системи:

$$Q_m = Q'_m \cdot \frac{k_H}{(k_T \cdot k_{\Gamma})} = 436,38 \cdot \frac{1,2}{(0,85 \cdot 0,96)} = 641,74 \text{ тон/год} \quad (1.5)$$

де Q'_m - максимальна масова продуктивність конвеєра, т/год;

k_H - коефіцієнт завантаження конвеєрної системи визначається методом та особливостями її заповнення. Точні значення цього показника мають бути вказані в технічному завданні на конвеєр, з урахуванням специфіки виробничого процесу на конкретному підприємстві, де функціонує обладнання. Якщо точні дані відсутні, орієнтовне значення можна прийняти як 1,2;

k_{Γ} - коефіцієнт експлуатаційної готовності обладнання: для стаціонарних і мобільних стрічкових конвеєрів він становить 0,96..

k_T - коефіцієнт часового використання механізму, як правило, перебуває в діапазоні від 0,80 до 0,95.

Коефіцієнт використання за продуктивністю розраховуємо за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{Q_m}{Q'_m} = \frac{641,74}{436,38} = 1,47 \quad (1.6)$$

1.5.2 Пропускна можливість конвеєрної стрічки

Прогнозована пропускна здатність конвеєрного комплексу, визначена з урахуванням питомої ваги вугілля $\rho = 1,7 \text{ т/м}^3$ складе:

$$Q'_v = Q'_m / \rho = 436,38 / 1,7 = 256,7 \text{ м}^3/\text{год} \quad (1.7)$$

Розрахункова об'ємна продуктивність конвеєрного ланцюжка при заданій щільності вугілля $\rho = 1,7 \text{ т/м}^3$ складе:

$$Q_v = Q_m / \rho = \frac{641,74}{1,7} = 377,49 \text{ м}^3/\text{год} \quad (1.8)$$

1.5.3 Розподіл навантажень по довжині компонентів конвеєрного комплексу.

Для проведення розрахунків тягових параметрів конвеєра, критично важливим є визначення таких даних:

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- питоме лінійне навантаження, що створюється транспортованим матеріалом;
- лінійне навантаження від самої конвеєрної стрічки;
- навантаження від обертових компонентів роликкоопор на верхній та нижній гілках стрічки.

Питоме лінійне навантаження (у даН/м), обумовлене масою вантажу на конвеєрній стрічці, розраховується за такою формулою:

$$q_{\Gamma} = \frac{g \cdot Q_m}{36 \cdot v} = \frac{9,8 \cdot 641,74}{36 \cdot 2} = 87,35 \text{ даН/м} \quad (1.9)$$

Навантаження на погонний метр (вимірюється в даН/м), обумовлене власною вагою стрічки, обчислюється за такою формулою:

$$q_{\text{Л}} = 0,1 \cdot G_{\text{Л}} \cdot g = 0,1 \cdot 35 \cdot 9,8 = 34,3 \text{ даН/м} \quad (1.10)$$

де $G_{\text{Л}}$ – погонна маса стрічки, кг.

1.5.4 Лінійне навантаження, створене роликкоопорами

Для верхньої гілки, лінійне навантаження (даН/м), що походить від обертової маси роликкових опор, визначається за наступним виразом:

$$q_{\text{РВ}} = \frac{G_{\text{РВ}} \cdot g}{10 \cdot l_{\text{РВ}}} = \frac{52 \cdot 9,8}{10 \cdot 1} = 50,96 \text{ даН/м} \quad (1.11)$$

де $G_{\text{РВ}}$ - маса частини однієї роликкоопори, що обрtaється, для верхньої вітки, кг; $l_{\text{РВ}}$ - проміжок між роликковими опорами на робочій гілці системи, мм.

Для нижньої гілки, лінійне навантаження (даН/м), що створюється масою обертових частин роликкових опор, визначається за наступним виразом:

$$q_{\text{РН}} = \frac{G_{\text{РН}} \cdot g}{10 \cdot l_{\text{РН}}} = \frac{52 \cdot 9,8}{10 \cdot 2} = 25,48 \text{ даН/м} \quad (1.12)$$

де $G_{\text{РН}}$ - маса рухомих частин кожної роликкоопори, розташованої на нижній вітці, кг; $l_{\text{РН}}$ - проміжок між роликковими опорами на нижній гілці системи, мм.

Для визначення кроку розміщення роликкоопор на нижній вітці конвеєра використовується формула:

$$l_{\text{РН}} = (2 \div 2,5) \cdot l_{\text{РВ}} = 2 \text{ м} \quad (1.13)$$

1.5.5 Коефіцієнт, що характеризує опір переміщенню конвеєрної стрічки

Під час обчислення опору на різних сегментах слід визначити коефіцієнти протидії руху для робочої та холостої гілок конвеєрної лінії.

Для умов, коли швидкість стрічки не перевищує 3,15 м/с, а температура навколишнього середовища коливається в діапазоні від -10°C до +40°C, значення відповідного коефіцієнта приймається як 0,022.

1.5.6 Тяговий розрахунок та вибір електродвигуна привода конвеєра

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окружне зусилля, що діє на приводний барабан, коли конвеєрна стрічка завантажена, обчислюється за формулою:

$$P = k_d \cdot L_1 \cdot w \cdot (q_{\Gamma} + q_{PB} + q_{PH} + 2 \cdot q_L) + q_{\Gamma} \cdot H =$$

$$= 1,2 \cdot 126 \cdot 0,022 \cdot (87,35 + 50,96 + 25,48 + 2 \cdot 34,3) + 87,35 \cdot 12 = 1821 \text{ даН} \quad (1.14)$$

де k_d - коефіцієнт, що враховує допоміжні опори; L_1 - довжина конвеєрного тракту; H - висота піднімання вантажу; w - коефіцієнт опору руху.

Необхідна потужність приводного двигуна, кВт

$$N = k_3 \cdot \frac{P \cdot v}{10 \cdot \eta_{\text{ДВ}}} = 1,1 \cdot \frac{1821 \cdot 2}{10 \cdot 0,85} = 470,32 \quad (1.15)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу в межах 1,1-1,3; v - швидкість руху конвеєрної стрічки, м/с; $\eta_{\text{ДВ}}$ - к.к.д. приводу, включаючи к.к.д. редуктора.

Ось перефразований текст, що суттєво відрізняється від оригіналу, зберігаючи зміст і уникаючи прямих збігів фраз:

Відповідно до обчисленого значення потужності приводної системи, слід обрати електродвигун за каталожними специфікаціями. При цьому, номінальна потужність вибраного двигуна повинна бути найближчою більшою у порівнянні з розрахунковим значенням зі стандартного ряду потужностей.

1.6 Вибір приводного електродвигуна

Визначення відповідного типу електродвигуна для конвеєрного приводу залежить від багатьох важливих умов. Однією з них є довготривале функціонування конвеєра в інтенсивному режимі. Запуск конвеєрної системи є складним і розтягнутим у часі процесом через її високу інерцію. Рівень запиленості навколишнього середовища також накладає обмеження на вибір приводу. Зокрема, ймовірне проковзування стрічки на приводному барабані, а також ризик роботи вхолосту при пориві стрічки, виключають доцільність використання двигуна постійного струму з послідовним збудженням.

Зважаючи на ці фактори, обґрунтованим вибором є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Базуючись на обчисленій раніше потужності приводного двигуна, ми підбираємо стандартного асортименту модель з найближчим більшим показником потужності. Цим вимогам відповідає високовольтний асинхронний двигун типу АКЗ-13-37-6. Загальний вигляд, габаритні, установочні розміри обраного двигуна показані на рисунку 1.3. Паспортні дані приводного двигуна представлені в таблиці 1.1.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

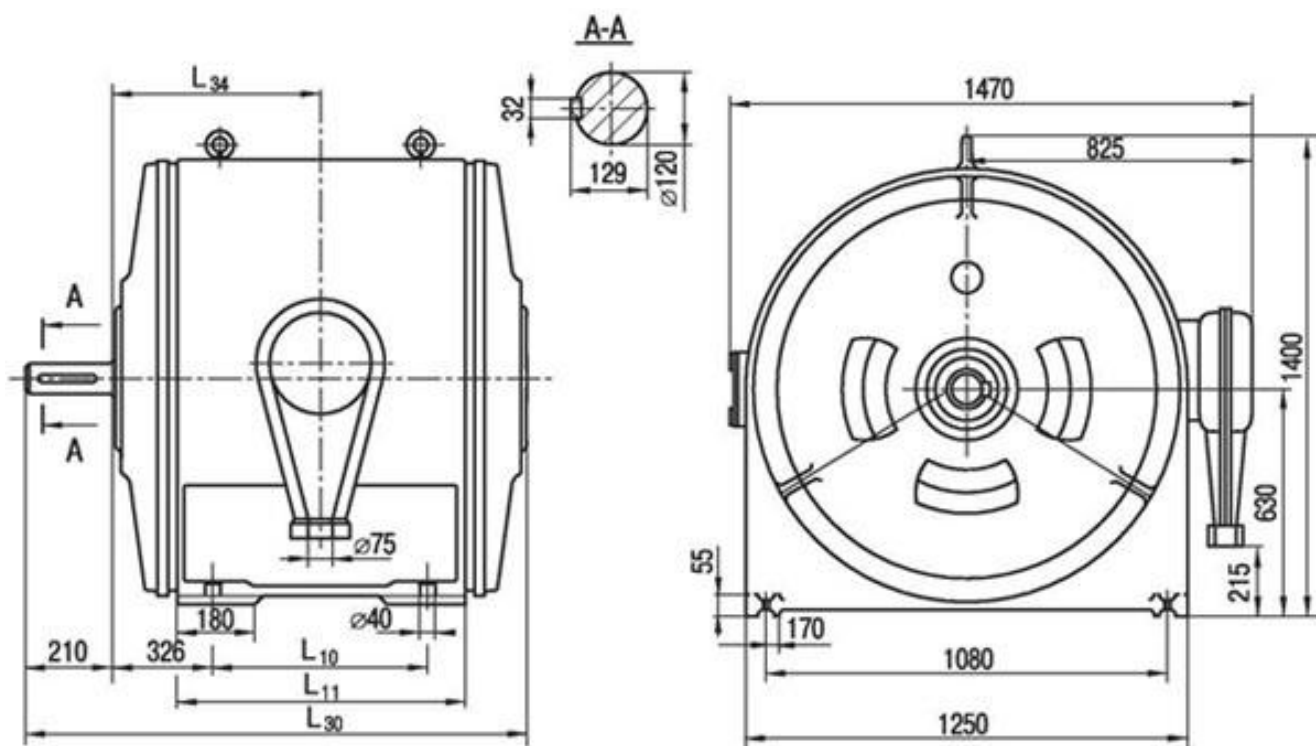


Рисунок 1.3 – Приводний двигун типу АК3-13-37-6

Таблиця 1.1 – Паспортні данні асинхронного приводного двигуна

Тип двигуна	асинхронний, короткозамкнений АК3-13-37-6
Номінальна напруга, В	6000
Частота мережі живлення, Гц	50
Потужність, кВт	500
Частота обертання (синхронна), об/хв.	1000
ККД, %	93,5
cosφ	0,87
Mmax/Mnom	2,0
Розміри, мм	
l10	580
l11	780
l30	1935
l34	600
Маса, кг	3560
Ступінь захисту	IP44
Спосіб охолодження	1С37
Клас ізоляції	В
З'єднання фаз обмоток	«зірка»

1.7 Розрахунок параметрів та вибір редуктора

Редуктор, призначений для передачі моменту від двигуна до приводного барабана, підбирається згідно з такими параметрами: передатним числом, максимальним статичним обертовим моментом на вихідному валу та граничною частотою обертання вхідного валу.

Частота обертання приводного барабана розраховується як функція лінійної швидкості переміщення стрічки та радіусу барабана.

$$\omega_6 = \frac{v}{R_6} = \frac{2,0}{0,82} = 2,44 \text{ рад/с} \quad (1.15)$$

Передаточне число редуктора обчислюється як співвідношення кутових частот обертання його вхідного та вихідного валів:

$$i = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega_6} = \frac{\pi n_{\text{ДВ}}}{30 \omega_6} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30 \cdot 2,44} = 42,9 \quad (1.16)$$

Виходячи з тягового зусилля, що виникає на ободі приводного барабана, можливо розрахувати момент на вихідному валу редуктора:

$$M_{\text{вих}} = W_0 R_6 = 225764 \cdot 0,82 = 185,13 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (1.17)$$

Синхронна частота обертання валу обраного двигуна, що дорівнює 1000 об/хв, є верхньою межею для максимально можливої частоти обертання вхідного валу редуктора. Відповідно, звернувшись до довідкових матеріалів, зупиняємося на циліндричному редукторі типу Ц2-1250, параметри якого наступні:

- Передатне число: 41,47.
- Номінальний крутний момент на тихохідному валу (з урахуванням експлуатаційного коефіцієнта): 620 кНм.
- Вага редуктора: 13200 кг.

Габаритні та установочні розміри редуктора, що показані на рисунку 1.4, зазначені в таблиці 1.2.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

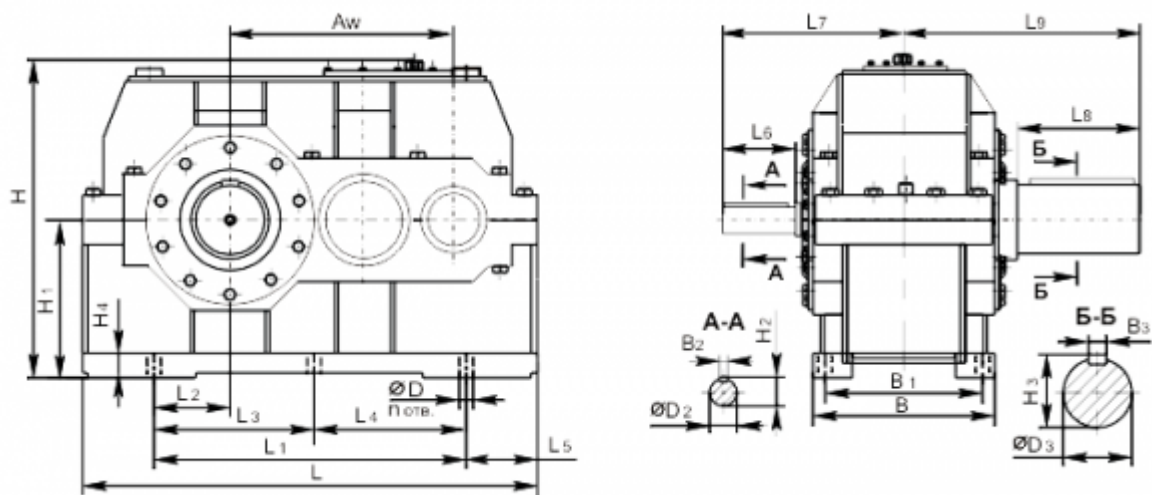


Рисунок 1.4 – Редуктор циліндричний двоступеневий Ц2-1250

Редуктор обраної серії має конструкцію з твердими шліфованими зубчастими парами, що використовують евольвентне зачеплення. Це виконання забезпечує підвищену навантажувальну здатність, покращені шумові характеристики та збільшений експлуатаційний ресурс привода. Комплектація редуктора включає гумові ущільнення та підшипники кочення.

Таблиця 1.2 – Розміри редуктора, мм

A_w	L	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	n
1250	2510	2150	615	1140	1010	180	330	890	590	1130	6
H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	D	D ₂	D ₃	B	B ₁	B ₂	B ₃
1550	1010	200	395	115	56	190n6	380n6	930	810	45	80

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРУ
ПОДАЧІ ВУГІЛЛЯ

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.Р2			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз системи електропривода конвеєру подачі вугілля	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Михеда Д.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.								
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересунько І.І.			гр. ЕЕМ-21-2			

2.1 Вибір системи електроприводу конвеєра

У системах електроприводу, де використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, найпоширенішими методами керування є регулювання напруги на статорі та частотне керування, що передбачає одночасну зміну напруги і частоти за певним взаємним законом.

Шляхом регулювання рівня напруги, що надходить на статор асинхронного двигуна, є змога змінювати максимальний обертальний момент, при цьому зберігаючи незмінним критичне ковзання. Для зміни напруги на вихідних клеммах статора можуть використовуватися різноманітні технічні рішення, включаючи автотрансформатори, дроселі або тиристорні регулятори напруги.

У ситуаціях, коли магнітна система машини не перебуває у стані насичення, піковий момент при зниженій напрузі зменшується згідно з квадратом напруги. Це явище описується наступною формулою:

$$M_{кр} = M_{крн} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (2.1)$$

Критичне ковзання, що не залежить від рівня напруги, лишається постійним. Аналогічно, синхронна кутова швидкість також не змінює свого значення, оскільки її величина залежить виключно від частоти поданої напруги та кількості пар полюсів електричної машини.

Коригування кутової швидкості двигуна за допомогою даного методу відбувається шляхом зниження модуля жорсткості механічних характеристик. Таке регулювання здійснюється в діапазоні, що є нижчим за номінальну кутову швидкість. Плавність процесу регулювання прямо пропорційна плавності зміни напруги; у разі застосування тиристорного регулятора напруги, кутова швидкість коригується безперервно.

Механічні характеристики двигуна з короткозамкненим ротором при регулюванні напруги на статорі візуалізовано на рисунку 2.1. З цих графіків очевидно, що діапазон регулювання досить вузький, навіть якщо використовується характеристика навантаження вентиляторного типу. Однак цей діапазон може бути суттєво розширений у замкнених системах електроприводу. Фактично, через зменшення критичного ковзання, що спричинене впливом параметрів регулюючого пристрою, межі регулювання в розімкнутих системах скорочуються ще більше.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

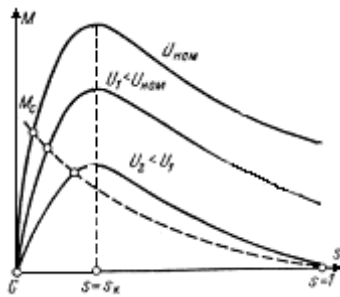


Рисунок 2.1 – Механічні характеристики двигуна при регулюванні статорної напруги живлення

Для зміни рівня напруги застосовуються різноманітні пристрої, такі як тиристорні регулятори з фазовим контролем, насичувані реактори, автотрансформатори та імпульсні керуючі апарати, що можуть бути як тиристорними, так і контактними.

У випадку, коли швидкість регулюється за допомогою фазового тиристорного регулятора напруги, у двигуні виникають додаткові енергетичні втрати. Це пов'язано з присутністю вищих гармонік у хвилі напруги [6]. Збільшення втрат у мідних обмотках статора та ротора, спричинене впливом зазначених гармонік, становить близько 10%. Сумарні електромагнітні втрати, які охоплюють як мідні, так і сталеві елементи агрегату, при розрахунку з урахуванням вищих гармонік, демонструють приріст не більше 10-12% порівняно з аналогічними втратами, що фіксуються при ідеальному синусоїдальному живленні.

Зниження напруги, що подається на статор, спричиняє зменшення магнітного потоку в двигуні. Це, при незмінному моменті навантаження, веде до збільшення струмів у роторі та статорі, наслідком чого є зростання втрат та підвищення робочої температури обмоток силового агрегату.

Фундаментальна можливість коригування кутової частоти асинхронного двигуна шляхом зміни частоти його живлячої напруги f_1 впливає з формули:

$$\omega = \frac{2\pi f_1(1-s)}{p} \quad (2.2)$$

У цьому випадку, асинхронний двигун отримує живлення не безпосередньо від центральної електромережі, а через перетворювач частоти (ПЧ). Електрична енергія подається на перетворювач частоти від джерела зі сталою частотою та незмінним рівнем напруги. Як правило, вихідні параметри перетворювача, а саме частота та напруга, підлягають зміні. Для здійснення такого перетворення можуть бути використані як електромеханічні агрегати, так і напівпровідникові системи, які різняться за принципами дії та конструктивними особливостями.

При регулюванні частоти також постає потреба в регулюванні напруги від джерела живлення, оскільки електрорушійна сила в обмотці статора асинхронного двигуна прямо пропорційна як частоті, так і магнітному потоку:

$$E_1 = k\Phi f_1 \quad (2.3)$$

Коли напруга якоря залишається незмінною, а частота змінюється, це призводить до коливань магнітного потоку в асинхронному двигуні. Зменшення частоти викликає збільшення потоку, що може спричинити насичення машини та зростання струму намагнічування. Це, у свою чергу, негативно позначається на енергетичних показниках агрегату, а в деяких випадках може призвести до неприпустимого перегріву. І навпаки, збільшення частоти знижує магнітний потік. Якщо момент навантаження на валу при цьому залишається постійним, струм ротора зростає, що може спричинити перевантаження його обмоток при недовикористанні сталевого осердя. Одночасно спостерігається зменшення максимального крутного моменту та здатності двигуна витримувати перевантаження. Для оптимальної роботи асинхронного двигуна при частотному регулюванні швидкості необхідно синхронно коригувати напругу відповідно до частоти та навантаження [7].

Регулювання напруги виключно як функція частоти, з урахуванням специфіки механізму, може бути реалізоване в розімкнутих системах частотного керування.

Регулювання напруги, що залежить від навантаження, зазвичай можливе лише у замкнених схемах. Тут, завдяки зворотним зв'язкам, напруга за певної частоти може змінюватись синхронно з фактичним навантаженням.

Зі зменшенням частоти, частка електрорушійної сили (ЕРС) відносно прикладеної напруги знижується. Це відбувається через відносне збільшення падіння напруги на опорі статора зі зростанням навантаження, що призводить до зменшення магнітного потоку. У підсумку це веде до зниження електромагнітного моменту. Внаслідок такого зменшення магнітного потоку та абсолютного критичного ковзання при зниженні частоти, спостерігається падіння максимального моменту та зменшення жорсткості механічних характеристик, як це ілюструє рисунок 2.2.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

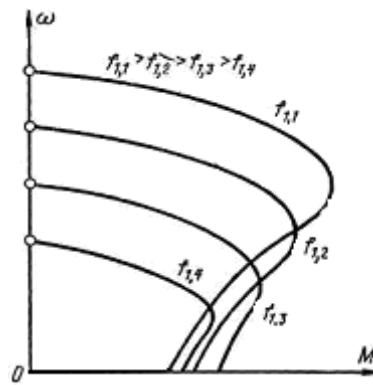


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики двигуна при частотному керуванні

Змінюючи частоту джерела, можливо керувати швидкістю асинхронного двигуна, як підвищуючи, так і знижуючи її відносно базової. Зазвичай, при прискоренні вище базової швидкості, частота джерела живлення не перевищує номінальної більш ніж у півтора-два рази. Таке обмеження, головним чином, викликане міцністю кріплення обмотки ротора. Разом з тим, підвищення частоти живлення призводить до помітного збільшення енергетичних втрат, асоційованих з явищами в сталевому осерді статора. Сповільнення швидкості від базового значення, як правило, здійснюється в інтервалі до 1:10–15. Нижня гранична частота обмежується технічною складністю реалізації джерела живлення з низькочастотними характеристиками, ймовірною нестабільністю обертання та іншими факторами. Отже, частотне регулювання швидкості асинхронних двигунів може здійснюватись в діапазоні до 1:20-30. Застосування агрегатів спеціальної конструкції дозволяє розширити діапазон керування за рахунок підвищення верхньої межі швидкості. Зменшення нижньої межі швидкості може бути досягнуто шляхом впровадження різних зворотних зв'язків до схеми управління.

Якщо при регулюванні частоти рівень напруги змінюється таким чином, що магнітний потік Φ залишається незмінним, то допустимий крутний момент на валу асинхронного двигуна під час частотного керування швидкістю також зберігає стабільність. Цей підхід до регулювання дозволяє досягти високої жорсткості механічних характеристик. Втрати потужності при частотному керуванні є незначними. Це пояснюється тим, що двигун, змінюючи частоту, функціонує на лінійних сегментах своїх механічних характеристик, тобто при малих значеннях ковзання.

Головним недоліком електроприводів, що використовують частотне керування, є необхідність застосування перетворювачів частоти. Ці пристрої наразі відзначаються відносною складністю схемного виконання та високою вартістю. Проте варто відмітити, що перетворювачі частоти із розвитком компонентної бази стають більш доступними.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предметом розробки та аналізу в цій роботі є система подачі вугілля на ТЕС. Оскільки регулювання обсягу вугілля здійснюється через живильник, швидкість руху стрічки в робочому режимі повинна підтримуватися на заданому рівні. Таким чином, потреба в постійному коригуванні швидкості приводного двигуна відсутня. Основні заходи регулювання є необхідними під час запуску конвеєра для забезпечення його плавного пуску. Отже, враховуючи порівняно невисоку вартість системи керування напругою та можливість контролю пускового моменту, приходимо до висновку про доцільність використання системи регульованого електроприводу з функцією управління напругою.

2.2 Розрахунок параметрів електроприводу

Застосовуючи паспортні дані асинхронного двигуна АКЗ-13-37-6, необхідно розрахувати його головні електричні характеристики та, відштовхуючись від них, сформувати статичні механічні криві приводної системи під час керування частотою обертання.

Синхронна кутова швидкість холостого ходу двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с} \quad (2.4)$$

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 978}{30} = 104,72 \text{ рад/с} \quad (2.5)$$

де n_n – номінальна частота обертання валу, об/хв.

Ковзання двигуна залежить від синхронної швидкості двигуна:

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1000 - 978}{1000} = 0,022 \quad (2.6)$$

де n_0 – синхронна частота обертання валу, об/хв.

Значення критичного ковзання:

$$s_k = s_n \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right) = 0,022 \cdot \left(2,0 + \sqrt{2,0^2 - 1} \right) = 0,082 \quad (2.7)$$

де $\lambda_m = M_{max}/M_n$ – перевантажувальна здатність двигуна за моментом.

Критична кутова швидкість визначається через величину критичного ковзання

$$\omega_{кр} = \omega_0 (1 - s_{кр}) = 104,72 \cdot (1 - 0,082) = 96,12 \text{ рад/с} \quad (2.8)$$

Номінальний електромагнітний момент приводного двигуна конвеєра:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{500 \cdot 10^3}{104,72} = 4882 \text{ Нм} \quad (2.9)$$

де P_n – номінальна потужність приводного двигуна, Вт.

Електромагнітний момент двигуна в режимі пуску:

$$M_n = \lambda_n \cdot M_n = 1,2 \cdot 4882 = 5858 \text{ Нм} \quad (2.10)$$

де $\lambda_n = M_{п}/M_n$ – відношення пускового та номінального моментів.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критичний момент електродвигуна:

$$M_{кр} = \lambda_m \cdot M_n = 2,0 \cdot 4882 = 9764 \text{ Нм} \quad (2.11)$$

Номинальний струм статора визначається наступним чином:

$$I_{1н} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \phi} = \frac{500 \cdot 10^3}{3 \cdot 6000 \cdot 0,944 \cdot 0,86} = 59,26 \text{ А} \quad (2.12)$$

Пусковий струм двигуна визначається наступним чином:

$$I_{1п} = I_{1н} \lambda_{п} = 59,26 \cdot 5,3 = 314,1 \text{ А} \quad (2.13)$$

де $\lambda_{п} = I_{1п}/I_{1н}$ – відношення пускового струму та номінального.

Величина активного опору фази ротора, приведена до статора, для стану загальмованого ротора, тобто при ковзанні $s=1$:

$$R'_{21} = \frac{(P_{2н} + \Delta P_{\text{мех н}}) \lambda_n}{3 \cdot (1 - S_n) \cdot I_n^2 \cdot I_{1н}^2} = \frac{(500 \cdot 10^3 + 6000) \cdot 1,2}{3 \cdot (1 - 0,022) \cdot 314,1^2 \cdot 59,26^2} = 0,000597 \text{ Ом} \quad (2.14)$$

де $\Delta P_{\text{мех н}}$ – номінальні механічні втрати при коефіцієнті механічних втрат $k_{\text{мех}}$, який рівний 12%:

$$\Delta P_{\text{мех н}} = k_{\text{мех}} \cdot P_{2н} = 0,012 \cdot 500 \cdot 10^3 = 6000 \text{ Вт} \quad (2.15)$$

Величина активного опору фази ротора, приведеного до обмотки статора, для стану ідеального холостого ходу, тобто при ковзанні $s=0$:

$$R'_{20} = \frac{U_{1н}^2 (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 (P_{2н} + \Delta P_{\text{мех н}}) \cdot \lambda_m \cdot \left[1 + \frac{C_1}{S_n (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1})} \right]} = \frac{6000^2 \cdot (1 - 0,022)}{2 \cdot 1,03 \cdot (500 \cdot 10^3 + 6000) \cdot 2,0 \cdot \left[1 + \frac{1,03}{0,022 \cdot (2,0 + \sqrt{2,0^2 - 1})} \right]} = 1,247 \text{ Ом} \quad (2.16)$$

де C_1 – конструктивний коефіцієнт двигуна.

Приведений струм ротора:

$$I'_{2н} = I_{1н} \cdot \cos \phi_n = 59,26 \cdot 0,86 = 50,97 \text{ А} \quad (2.17)$$

Індуктивний опір ротора розрахований за формулою:

$$x_k = \sqrt{\left(\frac{R'_{21}}{S_k} \right)^2 - R_1^2} = \sqrt{\left(\frac{0,000597}{0,082} \right)^2 - 0,02^2} = 0,019 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

де R_1 – активний опір статора.

Індуктивний опір статора:

$$x_{1н} \approx x'_{2н} \approx \frac{x_k}{2} = \frac{0,019}{2} = 0,0093 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Індуктивність двигуна:

$$L_k = \frac{x_k}{2\pi f} = \frac{0,019}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,93 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} \quad (2.20)$$

Струм кола намагнічування розрахований за формулою:

$$I_\mu = I_{1н} \cdot \left(\sin \phi_n - \frac{\cos \phi_n \cdot x_k}{R_1 + R'_{20}/S_n} \right) = 59,26 \cdot \left(0,51 - \frac{0,86 \cdot 0,019}{0,02 + 1,247/0,022} \right) = 30,23 \text{ А} \quad (2.21)$$

Індуктивний опір кола намагнічування розрахований за виразом:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{\mu} = \frac{U_{1H} S_H}{I_{\mu}} = \frac{6000 \cdot 0,022}{29} = 4,37 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

2.3 Побудова механічних характеристик електропривода

Вибрана система керування електроприводом параметричного регулювання передбачає зміну рівня напруги, що живить статор електродвигуна. Це призводить до змін в електромеханічних параметрах двигуна, які залежать від поточної напруги. Для аналізу функціонування приводу та проведення подальших обчислень, потрібно розрахувати набір статичних механічних характеристик для різних значень напруги двигуна.

Загалом, механічна характеристика асинхронного двигуна може бути описана такою формулою для електромагнітного моменту:

$$M = \frac{m_1 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2' / s}{2\pi f \cdot ([R_1 + R_2' / s]^2 + s^2 [x_{1H} + x_{2H}]^2)} \quad (2.23)$$

де m_1 – кількість фаз.

Пусковий момент (за умови $s = 1$), тобто при загальмованому роторі, визначається за виразом:

$$M_n = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{2\pi f \cdot ([R_1 + R_2']^2 + x_k^2)} \quad (2.24)$$

Критичний момент розраховується аналогічно:

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2}{4\pi f \cdot \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x_k \cdot s)^2} \right)} \quad (2.25)$$

По наведеним виразам будуюмо статичні механічні характеристики електроприводу для різної фазної напруги двигуна., характеристики зображені на рисунку 2.3.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

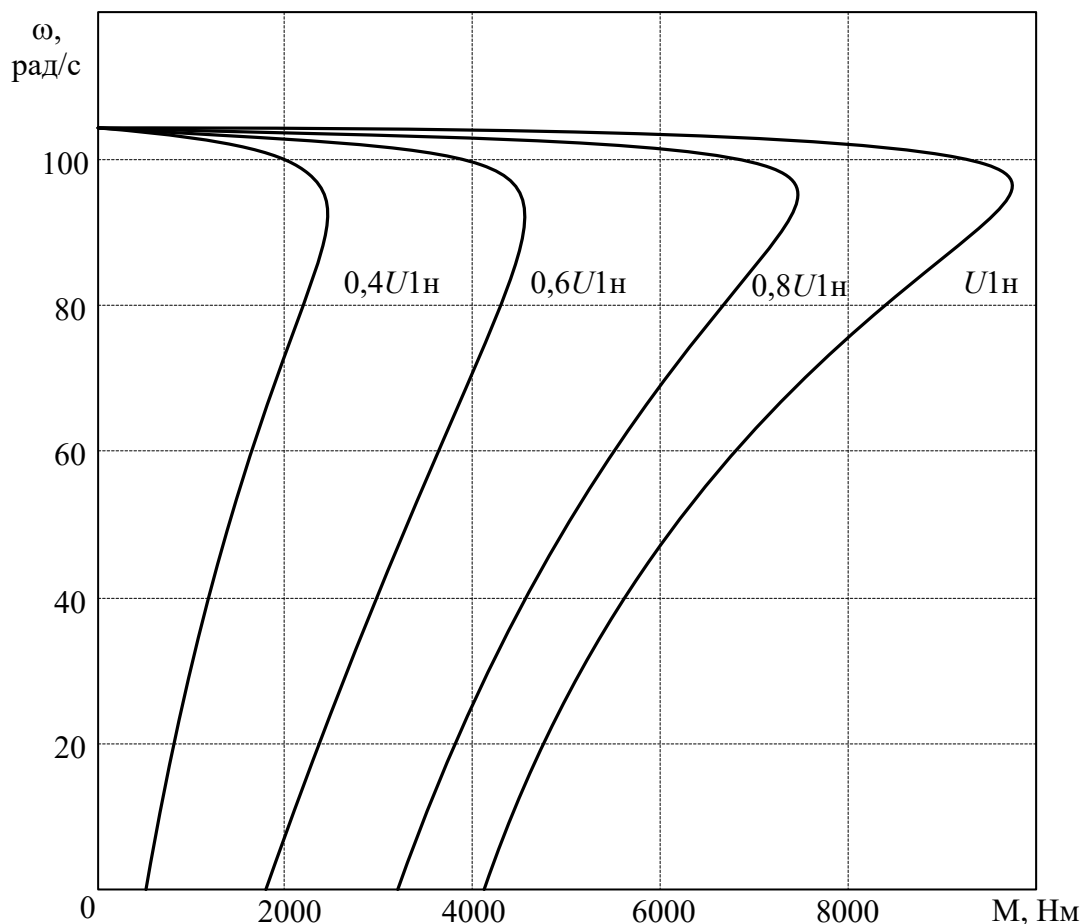


Рисунок 2.3 – Механічні характеристики привода у випадку регулювання напруги статора

На основі отриманих характеристик електропривода, можна зробити наступні висновки:

- Під час зміни напруги, криві характеристик зміщуються ліворуч, тоді як точка ідеального режиму холостого ходу зберігає своє положення.
- Величина початкового моменту зменшується одночасно зі зниженням напруги.
- Значення граничного моменту також знижується при зменшенні напруги.
- Критична кутова швидкість, а отже, і критичне ковзання, лишаються незмінними. Таким чином, отримані характеристики найбільш вигідно можна використовувати в пусковому режимі роботи двигуна.

2.4 Обладнання регулятора напруги

Підбір регулятора напруги здійснюється на основі необхідного рівня потужності підключеного двигуна. Для забезпечення живлення двигуна А4-400У-6МУЗ було вирішено застосувати високовольтний пристрій регулювання напруги ПАД-В-К-63-6к. Детальні технічні показники цього регулятора представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні дані регулятора напруги ПАД-В-К-63-6к

Параметри	Значення
Номінальна напруга живлення, В	6000
Частота мережі живлення, Гц	50
Максимальна потужність двигуна, кВт	500
Номінальний струм силового модуля, А	63
Максимальний струм, А	250
Діапазон часу розгону двигуна, с	0,1÷30
Уставка кратності обмеження пускового струму	1,5÷3,5
Уставка часу спрацювання захисту від перевантаження, с	4÷120
Час зростання пускового струму, с	0,3÷0,5
Ресурс, год	50000
Строк служби, р	10
Габаритні розміри шафи (В×Ш×Г), мм	2400×800×900

Тиристорний регулятор напруги ПАД-В-К розроблений для забезпечення плавного старту та надійного захисту високовольтних асинхронних двигунів, що застосовуються в електроприводах промислового обладнання, зокрема конвеєрних систем. Цей пристрій також може використовуватися для фазового коригування та стабілізації струму чи напруги в трифазних активно-індуктивних електричних навантаженнях. Загальний вигляд корпусу перетворювача представлений на рисунку 2.4.

До складу силової конфігурації пристрою можуть входити: шунтуючий та лінійний вакуумні контактори, а також роз'єднувачі, заземлювачі, запобіжники тощо.



Рисунок 2.4 – Шафа регулятора напруги типу ПАД-В-К

Завдяки впровадженню системи плавного запуску, досягаються значні переваги:

- Стартовий струм двигуна суттєво зменшується, його величина обмежується на рівні 1-4 номінальних струмів статора силового агрегату.
- Динамічні перевантаження в кінематичних колах механічних трансмісій значно знижуються.
- Електромагнітні навантаження в обмотках статора двигуна зменшуються, що, як наслідок, збільшує термін його служби.
- Покращуються умови функціонування супутнього електротехнічного обладнання: комутаційних апаратів, трансформаторів, кабельних ліній та інших елементів.
- Знижуються просадки напруги в мережі під час запуску двигуна.

Окрім забезпечення плавного старту, перетворювач має низку додаткових можливостей: він забезпечує автоматичне керування зовнішньою комутаційною апаратурою; виконує вимірювання напруги, струму, потужності та енергії електродвигуна; автоматично форсує напругу (струм) у разі невдалої спроби запуску; містить захисне блокування від подачі надмірної напруги на тиристорний перетворювач напруги (ТПН) при помилкових діях обслуговуючого персоналу; володіє широким набором параметрів, що дозволяють його гнучке конфігурування

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для різних сфер застосування; має ізольовані дискретні та аналогові входи і виходи; надає детальну інформацію про стан електроприводу на дисплей; включає вбудований модуль для передачі даних по шині PROFIBUS; оснащений автономним годинником реального часу та календарем для протоколювання аварійних ситуацій.

Перетворювач обладнаний комплексним захистом системи від таких факторів: завищеної або заниженої напруги мережі; несиметрії напруг і струмів статора двигуна; відсутності однієї або двох фаз живлення; порушення правильної послідовності фаз; надструмів; замикання на землю; комутаційних перенапруг на тиристорах; дисбалансу вентиляного каскаду; перегріву та погіршення вентиляції силового тиристорного модуля; повторного запуску при недостатній паузі після попереднього пуску; виходу з ладу системи керування.

Конструктивні особливості перетворювача типу ПАД-В-К включають:

- Застосування блочно-модульної структури силової частини, що ґрунтується на уніфікованому високовольтному тиристорному модулі (BTM).
- Використання стандартизованої цифрової системи управління, побудованої на базі однокристального RISC-мікроконтролера.
- Реалізацію інформаційного блоку за допомогою високовольтних датчиків, які забезпечують вимірювання, кодування та передачу даних про координати електроприводу за допомогою оптоволоконних каналів зв'язку до системного контролера.

Функціональна схема перетворювача напруги типу ПАД-В-К зображена на рисунку 2.5.

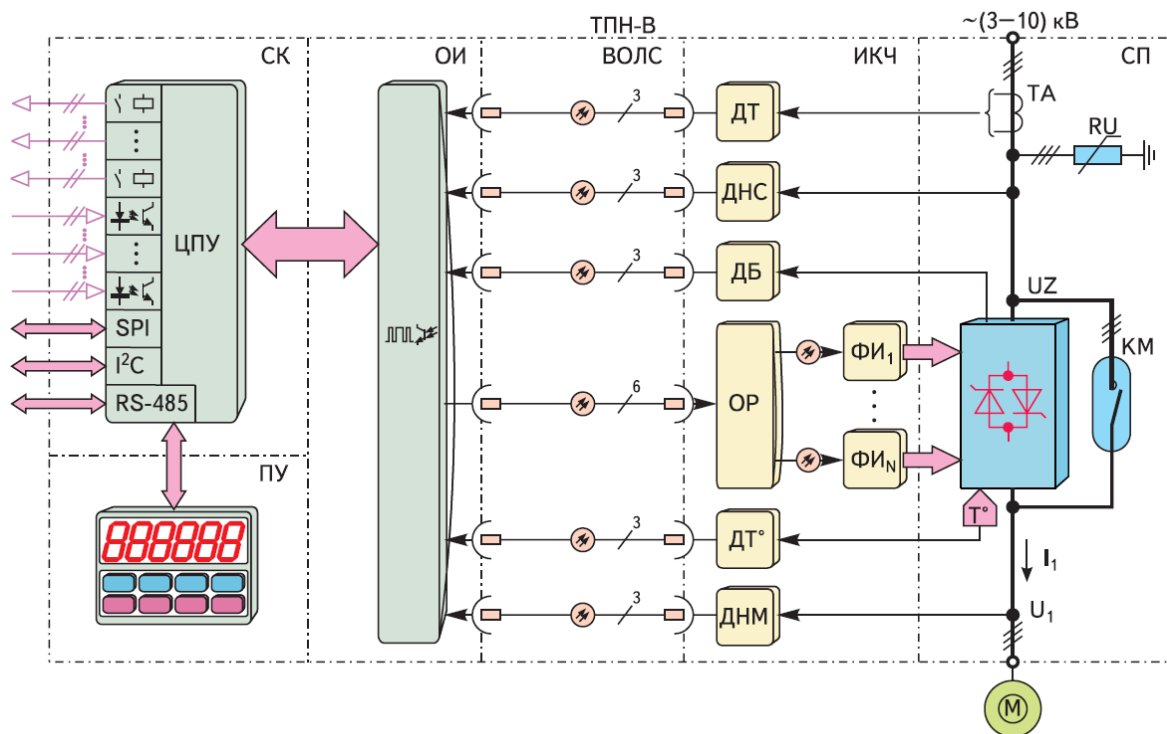


Рисунок 2.5 – Схема основних елементів перетворювача

Функціональна схема включає: силовий перетворювач СП; інформаційно-кодуювальну частину ІКЧ; волоконно-оптичну лінію зв'язку ВОЛЗ; оптичний інтерфейс ОІ; системний контролер СК і пульт управління ПУ. Сам силовий конвертер складається з тиристорного регулятора напруги (UZ), що працює з фазовим контролем, а також з трансформаторів струму та пристроїв обмеження перенапруг (RU) типу ОПН, і шунтуючого силового комутуючого апарату КМ (вакуумного контактора). Ключовим елементом UZ є високовольтний тиристорний модуль (BTM), чия принципова схема представлена на рисунку 2.6.

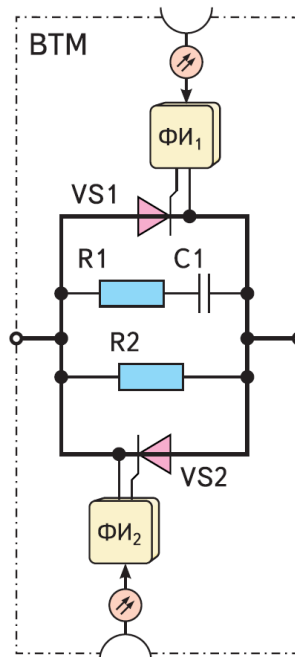


Рисунок 2.6 – Ланка тиристорного модуля

Модуль включає: два паралельно-зустрічних тиристори VS1 та VS2 з охолоджуючими елементами; RC-ланцюжок R1 і C1; вирівнюючий резистор R2 та оптокеровані формувачі імпульсів (ФІ) для тиристорів. Залежно від місця розташування модуля в схемі, він також оснащується сенсором напруги, температури або синхронізації з оптоволоконним виходом.

Блок інформаційного кодування містить такі сенсори: лінійних струмів (ДТ) та мережевої напруги (ДНС); балансу вентильних груп (ДБ), які потрібні для діагностики працездатності тиристорів; оптичних розгалужувачів (ОР), що посилюють та одночасно розподіляють керуючі імпульси на всі тиристори фазних груп; температури тиристорів (ДТ); і лінійної напруги машини (ДНМ). Датчики напруги забезпечують пряме (без участі трансформатора) визначення лінійних напруг, аналого-цифрове перетворення в послідовний формат і передачу даних по волоконно-оптичній лінії зв'язку (ВОЛЗ) на плату оптичного інтерфейсу (ОІ). За подібним принципом функціонують сенсори температури, струму та балансу вентильних груп.

Система управління побудована на базі RISC-контролера та включає три електронні плати. Перша – це плата системного контролера (СК). В її структуру інтегрований однокристальний мікроконтролер типу AVR, вузли ізольованого дискретного введення-виведення, блок живлення, електричний та оптичний RS-485 інтерфейси, годинник реального часу для фіксації аварійних подій та сенсор системної температури. Системний контролер координує загальний алгоритм функціонування та інформаційний обмін між іншими модулями системи за різними протоколами: SPI, I2C, MODBUS та високошвидкісний паралельний.

У якості додаткових функцій, програмне забезпечення СК доповнено блоками для розрахунку потужності, спожитої енергії, лічильника часу експлуатації обладнання, програмованим задатчиком, ПІ- та ПІД-регуляторами, різноманітними функціональними перетворювачами та іншими компонентами. Більшість функцій захисту та діагностики також реалізовані на програмному рівні. До засобів захисту належать: обрив фази, миттєвий захист від надмірних струмів, електронний часо-струмовий захист від струмів перевантаження, захист від перегріву тиристорів та від невдалого пуску. Результатом дії захисту є припинення подачі імпульсів на тиристори, відключення перетворювача та відображення номера аварійного режиму. До діагностичних функцій належить виявлення несиметрії лінійних напруг і струмів, а також пробою одного з тиристорів у фазній групі. У таких режимах перетворювач не вимикається, але оператор може визначити тип аварійної ситуації за повідомленням на дисплеї.

Друга плата – це оптичний інтерфейс (ОІ). Її призначення – перетворення послідовного коду в паралельний, посилення та передача імпульсів управління тиристорами по оптоволокну.

Третя плата – це пульт управління (ПУ). Вона містить світлодіодний дисплей, індикатори та клавіатуру. На дисплей виводяться показання вимірюваних параметрів, технологічні налаштування, конфігурації електроприводної системи, коди помилок та інше. Усі необхідні налаштування системи виконуються за допомогою клавіатури.

З точки зору конструкції, перетворювач типу ПАД-В-К виконаний в одному корпусі (шафі) і містить усі необхідні елементи для захисту, комутації та управління. Шафа включає сам силовий перетворювач, обмежувач перенапруг, трансформатори струму, систему управління, релейну панель та шунтуючий вакуумний контактор. Компоненти низьковольтної автоматики та релейно-контакторної апаратури розміщені на дверцятах шафи. Застосовується природне охолодження тиристорів, що додатково підвищує надійність перетворювача при експлуатації в умовах підвищеної запиленості та вологості.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Заходи з енергозбереження в конвеєрній установці

При незмінних маршрутах та значних обсягах транспортування, конвеєри доводять свою найбільшу ефективність на дистанціях до десяти кілометрів. З цієї причини вони залишаються невід'ємним елементом сучасних промислових та енергетичних підприємств. Однак, в умовах постійного зростання ціни на електроенергію, до даного виду транспорту висуваються підвищені вимоги щодо енергоефективності.

Дослідження функціонування конвеєрних комплексів показали, що встановлена потужність електроприводів таких установок охоплює досить широкий діапазон – від кількох десятків до сотень кіловат. Крім того, проведені експерименти виявили, що коефіцієнт завантаження електроприводів стрічкових систем становить у середньому 0,55. Цей показник є ключовим для оцінки наявного потенціалу економії електричної енергії. Вищий вибір встановленої потужності приводів конвеєрів зумовлений потребою забезпечити більші пускові моменти для їх запуску. Основний напрямок для дієвого енергозбереження стрічкових конвеєрних систем полягає у використанні регульованого електроприводу [8].

Добовий графік роботи конвеєрної установки часто має нерівномірний характер. Для підтримки стабільного функціонування технологічного обладнання (наприклад, млинів розмолу вугілля) необхідний контроль рівномірності завантаження конвеєрної системи.

Однією з головних і значних переваг, яку пропонує регульований привод стрічкового конвеєра, є можливість плавного старту. Це суттєво зменшує динамічні навантаження та напруження в самій стрічці. Як наслідок, експлуатаційний ресурс ключових компонентів конвеєра (таких як стрічка, двигун, редуктор, барабан) значно зростає.

З погляду раціонального використання електроенергії, основним ефективним чинником застосування регульованого електроприводу конвеєра є коригування потужності конвеєра залежно від його завантаження, при цьому зберігаючи достатньо високий коефіцієнт корисної дії (ККД). На практиці часто потужність приводного двигуна в нерегульованих системах приводу обирається завищеною на 10-40% відносно розрахункової. Тому розрахунок потужності перетворювача частоти за паспортними даними двигуна призводить до завищеної потужності обраного силового перетворювача. При переході на регульований електропривід нерідко виникає можливість використання менш потужного двигуна. Визначивши потужність перетворювача частоти за потужністю двигуна, слід встановити максимальний струм двигуна в заданих режимах роботи. Залежно від режимів функціонування двигуна, обирається перетворювач з ланкою постійного струму, який може бути виконаний на некерованих, напівкерованих або повністю керованих напівпровідникових елементах. Важливим компонентом регульованої

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропривідної системи є модуль управління, що забезпечує режими роботи конвеєра, ефективні з точки зору енергетики та відповідності технологічним параметрам.

Окрім оптимізації самої приводної системи, дієвим підходом до підвищення енергоефективності конвеєра є використання полегшених стрічок з низьким опором коченню. Найбільш важливою особливістю довгомірних конвеєрних стрічок є їхнє мінімальне подовження при розтягуванні. Традиційно це досягається шляхом інтеграції сталевих кордів у структуру стрічки. Проте таке технічне рішення призводить до суттєвого збільшення власної маси стрічки, і, як результат, зростає питоме споживання електричної енергії транспортером для переміщення корисного навантаження.

З іншого боку, загальновідомо, що у випадку, наприклад, магістральних конвеєрів, розташованих на поверхні, до 60% всіх енергетичних витрат припадає на подолання опору коченню. Цей ефект виникає, коли під впливом ваги завантаженої стрічки ролик-опора втискається у нижню гумову обкладку, і частина енергії, що подається приводом, витрачається на стиснення гуми обкладки в напрямку руху стрічки.

Застосування спеціалізованих матеріалів дозволяє значно вирішити ці інженерні завдання і тим самим покращити енергоефективність конвеєра. Зокрема, арамідне волокно, маючи міцність, подібну до сталі, і низьке подовження, важить у п'ять разів менше. Тому каркаси стрічок, виготовлені на його основі, витримують зусилля до 2500 Н/мм при високій гнучкості та зменшенні загальної ваги стрічки на 25-40%. Це еквівалентно 10%-му зниженню загальної маси стрічки. Для мінімізації втрат від опору коченню варто модифікувати гумовий компаунд, що використовується в нижній обкладці. З цією метою розробляються спеціальні модифікатори для компаундів натурального та стирол-бутадієнового каучуків із технічним вуглецем. Додавання таких компонентів зменшує взаємодію між частинками наповнювача, що призводить до зниження коефіцієнта втрат від опору коченню на 20-30%. Для магістральних конвеєрів це рівнозначно скороченню енергоспоживання приводу на 10-15%.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ’ЄКТУ

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.РЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Михеда Д.О.						
Перевір.		Ільченко О.В.						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.		Ільченко О.В.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

3.1 Розрахунок електричних навантажень від споживачів власних потреб в системі подачі палива

Привод конвеєру подачі вугілля живиться від підстанції разом із рядом споживачів паливно-транспортного тракту ТЕС. На основі однолінійної схеми електропостачання складаємо список основних споживачів електроенергії з переліком їх номінальних потужностей (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Перелік основних споживачів власних потреб ТЕС в системі подачі палива

Споживачі	Номінальна потужність $S_{\text{ном}}$, кВА	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Активна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	Реактивна потужність $Q_{\text{ном}}$, кВАр
Конвеєр 1	575	0,87	0,49	500	282
Конвеєр 2	590	0,85	0,53	500	313
Привод млина 1	1000	0,92	0,39	920	390
Привод млина 2	1000	0,92	0,39	920	390
Насоси подачі мазуту	126	0,9	0,46	114	58
Дуттьовий вентилятор 1	1000	0,92	0,39	920	390
Дуттьовий вентилятор 2	1000	0,92	0,39	920	390
Всього:	5291			4794	2213

Так як більшість споживачів забезпечують безперервну роботу ТЕС, то можна прийняти коефіцієнт використання цього обладнання близький до одиниці, що спрощує розрахунок сумарних навантажень.

Максимальне значення активної, реактивної та повної потужності відповідно будуть дорівнювати:

$$P_{\text{макс}} = \sum P_{\text{ном}} = 4794 \text{ кВт} \quad (3.1)$$

$$Q_{\text{макс}} = \sum Q_{\text{ном}} = 2213 \text{ кВАр} \quad (3.2)$$

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2} = \sqrt{4794^2 + 2213^2} = 5291 \text{ кВА} \quad (3.3)$$

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, середній коефіцієнт потужності рівний

$$\cos \phi = \frac{P_{\max}}{S_{\max}} = \frac{4794}{5291} = 0,9 \quad (3.4)$$

Так як коефіцієнт потужності має досить високе значення, то для компенсації реактивної потужності можна використати конденсаторні батареї.

3.2 Розрахунок та вибір силових трансформаторів

Повна максимальна потужність основних споживачів становить $S_{\max}=5291$ кВА. Через наявність у системі споживачів першої категорії, доцільно використовувати схему живлення з двома силовими трансформаторами. Приймаючи коефіцієнт завантаження трансформатора $\beta=0,5$, необхідну потужність кожного трансформатора можна обчислити за наступним виразом:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\max}}{2 \cdot \beta} = \frac{5291}{2 \cdot 0,5} = 5291 \text{ кВА} \quad (3.5)$$

Базуючись на розрахованій потребі у потужності, обираємо для встановлення два трансформатори ТМ-6300. Паспортні дані цього типу трансформатора представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні дані силового масляного трансформатора

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВА	$P_{\text{хх}}$, кВт	$P_{\text{кз}}$, кВт	$U_{\text{кз}}$, %	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ
ТМ-6300	6300	12	55	7,5	1,2	35	6,3

Для забезпечення низьковольтних власних потреб обираємо трансформатор ТМ-100/6. Його паспортні дані наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Паспортні дані масляного трансформатора власних потреб

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВА	$P_{\text{хх}}$, кВт	$P_{\text{кз}}$, кВт	$U_{\text{кз}}$, %	$I_{\text{хх}}$, %	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ
ТМ-100/6	100	0,6	2,4	5,5	6,5	6,3	0,4

3.3 Розрахунок значень струмів короткого замикання

Щоб розрахувати струми короткого замикання (КЗ), будуємо однолінійну схему електропостачання. Вона демонструє шлях від шин підстанції до двигуна приводу конвеєра подачі вугілля і показана на рисунку 3.1.

					Розділ 3		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

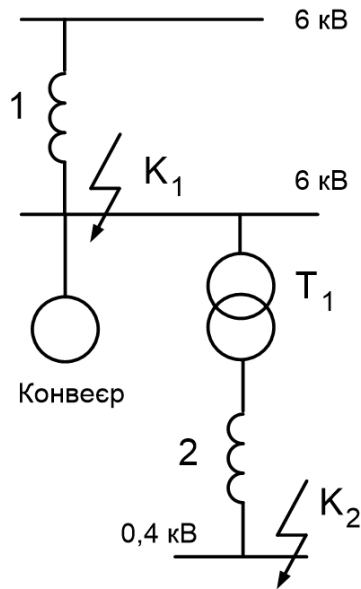


Рисунок 3.1 – Схема для розрахунку струмів короткого замикання
Струм короткого замикання на шинах підстанції між фазами:

$$I_k = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} = 9,62 \text{ кА.} \quad (3.6)$$

де S_{δ} – прийнята потужність системи електропостачання, МВА.

Реактивний опір системи електропостачання [9]:

$$X_c = \frac{1,05 \cdot U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{1,05 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 9,62} = 0,37 \text{ Ом.} \quad (3.7)$$

Опір першої ланки від шин підстанції до приводу конвеєра:

$$X_1 = X_{01} \cdot l_1 = 0,253 \cdot 0,06 = 0,015 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

де X_{01} – опір 1 км кабелю першої ділянки напругою 6 кВ, Ом/км.

Опір другої ділянки від трансформатора власних потреб напругою 0,4 кВ до живлення споживачів напругою 380 В:

$$X_2 = X_{02} \cdot l_2 = 2 \cdot 0,18 = 0,36 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

де X_{02} – опір км кабелю другої ділянки напругою 380 В, Ом/км.

Сумарний опір до точки K_1 короткого замикання:

$$X_{K1} = X_c + X_1 = 0,37 + 0,36 = 0,73 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Опір трансформатора зі сторони напруги 6кВ:

$$X_{тр} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{BH}^2}{100 \cdot S_{тр}} = \frac{5,5 \cdot 6^2}{100 \cdot 0,1} = 19,8 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

Сумарний опір до точки K_2 короткого замикання:

$$X_{K2} = (X_{K1} + X_{тр}) \cdot \frac{U_{BH}^2}{U_{BH}^2} = (0,73 + 19,8) \cdot \frac{0,4^2}{6^2} = 0,09 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм короткого замикання у точці K_1 (між трьома фазами) та його ударні значення відповідно дорівнюють:

$$I_{K1} = \frac{1,05 \cdot U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot X_{K1}} = \frac{1,05 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,731} = 4,98 \text{ кА} \quad (3.13)$$

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{K1} = 2,55 \cdot 4,9 = 12,7 \text{ кА} \quad (3.14)$$

$$I_{y1} = 1,52 \cdot I_{K1} = 1,52 \cdot 4,9 = 7,6 \text{ кА} \quad (3.15)$$

Струм короткого замикання (трифазного) у точці K_2 та його ударні значення відповідно дорівнюють:

$$I_{K2} = \frac{1,05 \cdot U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot X_{K2}} = \frac{1,05 \cdot 0,38}{\sqrt{3} \cdot 0,09} = 2,69 \text{ кА} \quad (3.16)$$

$$i_{y2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 2,69 = 6,9 \text{ кА} \quad (3.17)$$

$$I_{y2} = 1,52 \cdot I_{K2} = 1,52 \cdot 2,69 = 4,1 \text{ кА} \quad (3.18) \text{П}$$

Повна потужність в точках короткого замикання K_1 та K_2 :

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_{BH} = \sqrt{3} \cdot 4,98 \cdot 6 = 51,75 \text{ МВА} \quad (3.19)$$

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot I_{K2} \cdot U_{HH} = \sqrt{3} \cdot 2,69 \cdot 0,4 = 1,86 \text{ МВА} \quad (3.20)$$

3.4 Розрахунок та вибір високовольтного обладнання з боку 6 кВ

3.4.1 Розрахунок та вибір шин

Вибір поперечного перетину струмоведучих шин виконується за розрахунковим номінальним струмом навантаження [10]:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6} = 606 \text{ А} \quad (3.21)$$

де S_n – номінальна потужність вибраного трансформатора, кВА; U_n – номінальна напруга трансформатора, кВ.

Приймаємо до використання двосмугові шини з алюмінію типу ШМА-73 перетином 60х6мм. Данні обраних шин приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Струмоведучі шини ШМА-73

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Номінальний струм	$I_{\text{розр}} = 606 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 870 \text{ А}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 70 \text{ кА}$

Перевіряємо шини на стійкість до електродинамічних сил. Коли шини розташовані в одній площині, розривне зусилля обчислюється за формулою:

$$F_{\text{розр}} = 0,176 \frac{i_{y1}^2 \cdot l}{a} = 0,176 \cdot \frac{12,7^2 \cdot 1,2}{0,5} = 68,13 \text{ Н} \quad (3.22)$$

де i_{y1} – ударний струм к.з. у точці K_1 , А; l – відстань між двома ізоляторами; a – відстань між фазами.

Момент опору шини прямокутного перетину розташованої в одній площині:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,006 \cdot 0,06^2}{6} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ м.} \quad (3.23)$$

Тиск від взаємодії між смугами пакету шин:

$$f_n = \delta \frac{i_{y1}^2 \cdot 10^{-2}}{b} = 0,1 \frac{12,7^2 \cdot 10^{-2}}{0,006} = 26,88 \text{ Па} \quad (3.24)$$

Максимальний тиск напруження у шині:

$$\sigma_{\text{розр}} = \frac{F_{\text{розр}} \cdot l}{10 \cdot W} + \frac{f_n \cdot l^2}{2 \cdot b \cdot h} = \frac{68,13 \cdot 1,2}{10 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6}} + \frac{26,88 \cdot 1,2^2}{2 \cdot 0,006 \cdot 0,06} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (3.25)$$

Таким чином, можна заключити, що умова міцності виконується:

$$\sigma_{\text{розр}} = 2,3 \text{ МПа} < \sigma_{\text{доп}} = 50 \text{ МПа} \quad (3.26)$$

де $\sigma_{\text{доп}}$ – допустиме напруження для алюмінієвих шин.

Перевіряємо шини на термічну стійкість до струмів к.з.:

$$SK1 \sqrt{t_\phi} \sqrt{1,1}_{\min} \text{ мм}^2, \quad (3.27)$$

де α – коефіцієнт термічної стійкості, який для алюмінієвих шин становить $\alpha = 11$;

$$S_{\min} = 57,45 \text{ мм}^2 < S_{\text{виб}} = 60 \cdot 6 = 360 \text{ мм}^2. \quad (3.28)$$

Отже, умови термічної міцності виконуються.

3.4.2 Розрахунок та вибір роз'єднувача

Роз'єднувач підбираємо за номінальним струмом та напругою, з подальшою перевіркою його динамічної стійкості до ударних струмів короткого замикання і термічної витривалості до струму короткого замикання. Вибір роз'єднувача ґрунтується на розрахунковому струмі [11].

Розрахункове значення струму:

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6} = 606 \text{ А} \quad (3.30)$$

Обираємо роз'єднувач РВЗ-10/630. Параметри роз'єднувача наведені в таблиці 3.5.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 – Параметри роз'єднувача РВЗ-10/630

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Розрахунковий струм	$I_{\text{розр}} = 606 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$
Номінальна напруга	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дс}} = 52 \text{ кА}$
Термічна витривалість	$I_{K1}^2 \cdot t_{\phi} = 4,98^2 \cdot 1,1 = 27,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Отже, приймаємо роз'єднувач типу РВЗ-10/630 з приводом головних та заземлюючих ножів ПР-10.

3.4.3 Вибір силового вимикача

Вибір силового вимикача здійснюється за його номінальним струмом, напругою та струмом відключення. Обираємо вимикач для встановлення на виході з підстанції. Попередньо зупиняємося на електромагнітному вимикачі ВА55-43 (рис. 3.2), як показано в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри силового автоматичного вимикача

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Розрахунковий струм	$I_{\text{розр}} = 606 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$
Номінальна напруга	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дс}} = 52 \text{ кА}$
Струм відключення	$I_{K1} = 4,98 \text{ кА}$	$I_{\text{відк}} = 20 \text{ кА}$
Термічна стійкість	$I_{K1}^2 \cdot t_{\phi} = 4,98^2 \cdot 1,1 = 27,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$



Рисунок 3.2 – Вимикач ВА55-43

3.4.4 Розрахунок параметрів та вибір вимірювального трансформатора струму

Підбір трансформатора струму здійснюється за його конструкцією, номінальним струмом та напругою, класом точності та допустимим навантаженням. Керуючись заданими параметрами трансформатор струму ТЛМ-6УТЗ. Його характеристики представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Параметри вибору трансформатора струму

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Розрахунковий струм	$I_{розр} = 606 \text{ A}$	$I_{н1} = 800 \text{ A}, I_{н2} = 5 \text{ A}$
Номінальна напруга	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_n = 6 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{дс} = 125 \text{ кА}$
Термічна стійкість	$I_{K1}^2 \cdot t_{\phi} = 4,98^2 \cdot 1,1 = 27,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Так як обраний трансформатор стійкий до струмів короткого замикання, то остаточно обираємо трансформатор струму ТЛМ-6УТЗ.

3.4.5 Розрахунок параметрів та вибір вимірювального трансформатора напруги

Трансформатор напруги підбирається за номінальною напругою первинної обмотки. Встановлюємо трансформатор НТМІ-6-66УЗ з параметрами: $U_{1н} = 6000 \text{ В}$; $U_{2н} = 100 \text{ В}$; номінальна потужність для класу точності 0,5 становить 75 ВА. До цього трансформатора напруги паралельно підключаються котушки

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких пристроїв: вольтметрів, ватметрів, фазометрів, а також лічильників активної та реактивної потужності. На рисунку 3.2 показаний обраний трансформатор струму.



Рисунок 3.2 – Трансформатор НТМІ-6-66УЗ

3.5 Вибір електрообладнання для підключення конвеєра

Номінальний струм приводного двигуна конвеєра:

$$I_{\text{номдв}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,87 \cdot 0,935} = 59,15 \text{ А} \quad (3.31)$$

Пусковий струм двигуна розраховується в залежності від його номінального струму:

$$I_{\text{пуск}} = k_n \cdot I_{\text{ном дв}} = 6 \cdot 59,15 = 354,9 \text{ А} \quad (3.32)$$

де k_n – кратність пускового струму.

Струм спрацювання реле струмової відсічки:

$$I_{\text{спр}} = k_{\text{відс}} \cdot I_{\text{пуск}} = 1,8 \cdot 354,9 = 638,82 \text{ А} \quad (3.33)$$

де $k_{\text{відс}}$ – коефіцієнт відсічки.

Струм захисту від перевантаження, А:

$$I_{\text{спрпер}} = 1,25 \cdot I_{\text{номдв}} = 1,25 \cdot 59,15 = 73,94 \text{ А} \quad (3.34)$$

Підбір силового вимикача здійснюється за його номінальним струмом, напругою та струмом відключення (див. таблицю 3.8). Для монтажу попередньо обрано вакуумний вимикач VD4 від виробника ABB (рисунок 3.3).

Таблиця 3.8 – Параметри вибору силового вимикача привода конвеєра

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Номінальний струм	$I_{\text{ном дв}} = 59,15 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$
Номінальна напруга	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дс}} = 52 \text{ кА}$
Струм відключення	$I_{\text{К1}} = 4,98 \text{ кА}$	$I_{\text{відк}} = 20 \text{ кА}$
Термічна стійкість	$I_{\text{К1}}^2 \cdot t_{\text{ф}} = 4,98^2 \cdot 1,1 = 27,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \text{ с}$



Рисунок 3.3 – вакуумний вимикач VD4

Підключення привода конвеєра здійснюється через комплектний розподільний пристрій (КРП). Вибір КРП виконується по розрахунковому струму, номінальній напрузі, стійкості струмам короткого замикання. Попередньо приймаємо до встановлення комплектний розподільний пристрій КВ-3 та перевіряємо його на стійкість до струму короткого замикання (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9 – Основні параметри для вибору комплектного розподільного пристрою

Визначення параметру	Розрахункові данні	Паспортні дані
Номінальний струм	$I_{\text{ном дВ}} = 59,15 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 630 \text{ А}$
Номінальна напруга	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 6,3 \text{ кВ}$
Струм динамічної стійкості	$i_{y1} = 12,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дс}} = 52 \text{ кА}$
Струм відключення	$I_{\text{к1}} = 4,98 \text{ кА}$	$I_{\text{відк}} = 20 \text{ кА}$
Термічна стійкість	$I_{\text{к1}}^2 \cdot t_{\text{ф}} = 4,98^2 \cdot 1,1 = 27,28 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_t^2 \cdot t_t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Каталожні дані задовольняють критеріям вибору, тому для монтажу остаточно затверджуємо комплектний розподільний пристрій типу КВ-3. Його характеристики представлені в таблиці 3.10, загальний вигляд показано на рис. 3.4.

Таблиця 3.10 – Параметри комплектного розподільного пристрою

Параметри КРП	КВ-3
Номінальна напруга, кВ	6,3
Номінальний струм, А збірних шин	1000
Номінальний струм відключення, кА	20
Електродинамічна стійкість, кА	52
Тип вимикача	VD4
Тип привода вимикача	Пружинний
Габарити шафи, мм:	
ширина	750
глибина	1200
Маса шафи, кг	572



Рисунок 3.4 – Розподільний пристрій типу КВ-3

3.6 Розрахунок і вибір перетину кабельної лінії напругою 6 кВ

Розрахунок кабельної лінії виконується для живлення привода конвеєра подачі вугілля. Першочергово визначаємо струм навантаження:

$$I_{\text{розр}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,87 \cdot 0,935} = 59,15 \text{ А} \quad (3.35)$$

Враховуємо поправочний коефіцієнт $k_2 = 0,9$ на температуру повітря $+18^\circ\text{C}$, тоді

$$I'_{\text{розр}} = \frac{I_{\text{розр}}}{k_2} = \frac{59,15}{0,9} = 65,72 \text{ А} \quad (3.36)$$

Базуючись на величині струму, вибираємо за нагрівом алюмінієвий кабель ААШВ 3х50, для якого:

$$I_{\text{доп}} = 82 \text{ А} > I'_{\text{розр}} = 65,72 \text{ А} \quad (3.37)$$

Визначаємо перетин кабелю за економічною щільністю:

$$S_{\text{ещ}} = \frac{I_{\text{розр}}}{i_{\text{ещ}}} = \frac{65,15}{2} = 32,57 \text{ мм}^2 \quad (3.38)$$

Оскільки вимоги економічної щільності не вимагають збільшення площі поперечного перерізу кабелю, кабель ААШВ 3х50 повністю відповідає встановленим умовам.

Розраховуємо втрати напруги у кабелі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{розр}} \cdot \cos \phi \cdot l_1 \cdot Z_0}{U_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 59,15 \cdot 0,87 \cdot 0,06 \cdot 0,641}{6} = 0,57\% \quad (3.40)$$

де Z_0 – повний опір кабелю відповідно до паспортних даних, Ом/км.

Так як $\Delta U = 0,57\% < 5\%$, то можна зробити висновок, що кабель ААШВ 3х50 підходить до встановлення.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7 Вибір електрообладнання зі сторони низької напруги 0,4 кВ

Визначаємо номінальний струм споживачів на низьковольтній стороні 0,4 кВ, базуючись на номінальній потужності обраного трансформатора:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,34 \text{ А} \quad (3.41)$$

Щоб правильно підібрати автоматичний вимикач, спочатку обчислюємо струм спрацювання захисту від перевантаження. Цей показник має бути на 25% вищим за номінальний струм споживачів:

$$I_{\text{спр}} = 1,25 I_{\text{розр}} = 1,25 \cdot 144,34 = 180,43 \text{ А} \quad (3.42)$$

Отже обираємо автоматичний вимикач типу ВА 6735. Основні паспортні параметри вимикача:

- Серія: ВА67
- Номінальний струм: 180 А
- Число полюсів: 3р
- Комутаційний струм: 35 кА

Вимикач типу ВА 6735 призначений для нормального протікання струму та захисного відключення споживачів при перевантаженні або коротких замиканнях. Він розрахований на до 30 комутацій навантаження на добу і працює в електроустановках змінного струму до 600 В, 50 Гц. Пристрій оптимальний для встановлення в розподільчих та захисних мережах промислових об'єктів.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.В						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Михеда Д.О.			Висновки			Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Ільченко О.В.									
Реценз.								гр. ЕЕМ-21-2			
Н. Контр.		Ільченко О.В.									
Затверд.		Пересунько І.І.									

Під час виконання роботи виконана модернізація системи електропривода конвеєрного обладнання системи подачі вугілля на тепловій електростанції. Приводний двигун конвеєра обладнаний системою плавного пуску у вигляді тиристорного регулятора напруги.

Модернізація електроприводу дозволяє виконувати плавний пуск двигуна конвеєра, що знімає динамічні навантаження, та в результаті, збільшить ресурс роботи основного обладнання. Система регульованого електропривода також може бути застосована для руху стрічки з пониженою швидкістю з метою ревізії та під час ремонтних робіт.

Аналіз розробленої системи електроприводу за допомогою статичних характеристик свідчить про ефективність її застосування. Таким чином, розроблені заходи мають обґрунтовані підстави для впровадження в умовах підприємства.

					Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					КНУ.РБ.141.25.249с.09.Л					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Михеда Д.О.			Список використаних джерел			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ільченко О.В.								
Реценз.								гр. ЕЕМ-21-2		
Н. Контр.		Ільченко О.В.								
Затверд.		Пересунько І.І.								

1. Степанова, Н. Д. Монтаж теплоенергетичного та теплотехнологічного обладнання: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Н. Д. Степанова, Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 118 с
2. Михайлов В.М., Шевченко А.О., Бабкіна І.В., Михайлова С.В. Машини для транспортування неперервної дії. У 6 частинах. Частина 2. Стрічковий конвеєр. Методичні вказівки. – Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі (ХДУХТ), 2014. – 21 с.
3. Senani R., Bhaskar D.R., Singh A.K. Current Conveyors: Variants, Applications and Hardware Implementations. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015, XXVII, 560 p.
4. ДСТУ EN 620:2013 (EN 620:2002+A1:2010, IDT) Підіймально-транспортувальне устаткування та системи безперервної дії. Конвеєри стрічкові стаціонарні для сипких матеріалів. Вимоги щодо безпеки та електромагнітної сумісності.
5. Вантажно-транспортуючі машини і засоби в поліграфії. Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня бакалавра спеціальності 186 “Видавництво та поліграфія” усіх форм навчання/ [Т.І. Веретільник, Ю.П. Мамонов, Л.Д. Мисник, Капітан Р.Б., Мисник Б.В.] ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2018 – 91 с
6. Практикум за теорії електропривода: Навчальний посібник / В.В. Каневський, В.Ю. Захаров, А.П. Сінолиций, Ю.Г. Осадчук, Т.В. Величко/За заг. ред. В.В. Каневського. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.-124 с., з іл
7. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.
8. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.- К: Кондор, 2005 - 408с.
9. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.
10. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компрінт, 2021. – 497с.
11. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р. Основи електропостачання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 237 с.

					Список використаних джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		