

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:

**Обґрунтування доцільності встановлення регульованого електроприводу
конвеєрів в умовах ПрАТ «ПівнГЗК»**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22-1

Богдан КОВАЛЕНКО

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Юрій ОСАДЧУК

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

КОВАЛЕНКО Богдан Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Обґрунтування доцільності встановлення регульованого
електроприводу конвеєрів в умовах ПрАТ «ПівнГЗК»

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є обґрунтування доцільності встановлення регульованого електроприводу конвеєрів в умовах ПрАТ «ПівнГЗК»
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Аналіз та оцінка існуючих режимів роботи конвеєрів; II. Дослідження вантажопотоків та енергетичних витрат конвеєрних комплексів; III. Розробка варіантів щодо встановлення систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Залежність потужності на валу електричного двигуна від продуктивності конвеєра; II. Діаграма приймання руди; III. Графік простою приймання руди; IV. Продуктивність приймання руди у відсотках; V. Споживання електроенергії; VI. Можливість відключення АД за допомогою замикання тиристорів УВ.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Юрій ОСАДЧУК		
II	Юрій ОСАДЧУК		
III	Юрій ОСАДЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Показники управління та функціонування стрічкового конвеєра	21.05.26
2	Загальна характеристика впливу показників функціонування	27.05.26
3	Дослідження вантажопотоків конвеєрних комплексів	31.05.26
4	Дослідження енергетичних витрат конвеєрних комплексів	02.06.26
5	Варіанти щодо встановлення систем регульованого електроприводу	07.06.26
6	Регулювання швидкості конвеєрів	11.06.26
7	Покращення пускових характеристик	15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Богдан КОВАЛЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Юрій ОСАДЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Обґрунтування доцільності встановлення регульованого електроприводу конвеєрів в умовах ПрАТ «ПівнГЗК»

44 с., 16 рис., 15 літературних джерел

Мета роботи: Підвищення енергетичної та експлуатаційної ефективності конвеєрного транспорту на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) шляхом впровадження систем регульованого електроприводу, що дозволить мінімізувати питомі витрати електроенергії, знизити динамічні навантаження на механічні вузли та оптимізувати процес транспортування корисної копалини в умовах змінного вантажопотоку.

Завдання, які необхідно виконати для досягнення мети:

1. Провести аудит та аналіз поточного стану електромеханічних систем конвеєрного транспорту підприємства, виявити ключові фактори неефективного споживання електроенергії.
2. Дослідити стохастичні та детерміновані режими роботи конвеєрних ліній, визначити графіки навантажень та тривалість роботи конвеєрів у режимах недовантаження і холостого ходу.
3. Виконати математичне моделювання перехідних процесів у системі "перетворювач частоти – асинхронний двигун – стрічковий конвеєр" для оцінки впливу плавного пуску на тяговий орган (стрічку).
4. Розробити алгоритми автоматизованого керування швидкістю руху конвеєрної стрічки залежно від обсягу вантажопотоку, що надходить з екскаваторних чи дробильних комплексів.
5. Здійснити техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) капіталовкладень у модернізацію приводів, розрахувати термін окупності

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

обладнання на основі прогнозованої економії енергоресурсів та зниження витрат на технічне обслуговування.

РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР,
ЧАСТОТНЕ КЕРУВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ГІРНИЧО-
ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз та оцінка існуючих режимів роботи конвеєрів.....	11
1.1. Показники управління та функціонування стрічкового конвеєра в процесі транспортування.....	11
1.2. Загальна характеристика впливу показників функціонування на техніко-економічну оцінку використання конвеєра.....	15
V=const	17
Розділ 2. Дослідження вантажопотоків та енергетичних витрат конвеєрних комплексів.....	19
2.1. Дослідження вантажопотоків конвеєрних комплексів	19
2.2. Дослідження енергетичних витрат конвеєрних комплексів.....	27
Розділ 3. Розробка варіантів щодо встановлення систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів.....	32
3.1. Варіанти щодо встановлення систем регульованого електроприводу на окремі електроприводи конвеєрних комплексів.....	32
3.2. Регулювання швидкості конвеєрів при встановленні систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів.....	35
3.3. Покращення пускових характеристик при встановленні систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів.....	39
Висновки	42
Список використаних джерел	43

Вступ

Сучасний етап розвитку гірничодобувної та переробної промисловості характеризується неухильним зростанням вимог до енергоефективності, надійності та екологічності технологічних процесів.

Гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) належать до категорії енергоємних підприємств, де значну частку в загальній структурі споживання електроенергії займає внутрішньофабричний та магістральний транспорт.

Домінуючу роль у переміщенні гірничої маси, руди та концентратів відіграють стрічкові конвеєри, які є складними просторово-розподіленими електромеханічними системами.

Історично склалося так, що переважна більшість конвеєрних ліній на вітчизняних та багатьох зарубіжних підприємствах оснащувалася нерегульованими електроприводами на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим або фазним ротором.

Прямий пуск таких двигунів або пуск за допомогою реостатних станцій супроводжується значними пусковими струмами (що в 5-7 разів перевищують номінальні) та екстремальними динамічними зусиллями в тяговому органі.

Ці ударні навантаження призводять до прискореного зносу, розтягування та поривів конвеєрної стрічки, руйнування редукторів, муфт та підшипникових вузлів барабанів.

Зважаючи на те, що вартість самої стрічки може складати до 40-50% від загальної вартості конвеєрної установки, часта її заміна або ремонт суттєво підвищують експлуатаційні витрати (ОРЕХ) підприємства.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Другою, не менш критичною проблемою застосування нерегульованих приводів є їхня енергетична неефективність в умовах змінного вантажопотоку.

Специфіка роботи технологічних ланцюгів ГЗК така, що надходження руди на конвеєр носить нерівномірний, часто стохастичний характер, який залежить від ритмічності роботи екскаваторів, дробарок та живильників.

Статистичні дослідження показують, що значну частину робочого часу (від 30% до 60%) магістральні конвеєри працюють у режимі часткового завантаження (10-40% від номінальної продуктивності) або навіть на холостому ходу.

Оскільки нерегульований привод забезпечує рух стрічки з постійною (номінальною) швидкістю незалежно від маси матеріалу на ній, енергія марно витрачається на подолання опору руху самої стрічки та роликкоопор на максимальній швидкості.

У цьому контексті актуальність теми дослідження зумовлена об'єктивною необхідністю переходу до інтелектуальних систем транспортування, основою яких є регульований частотний електропривод (VFD – Variable Frequency Drive).

Впровадження перетворювачів частоти для керування асинхронними двигунами конвеєрів відкриває широкі перспективи для комплексної оптимізації транспортних систем ГЗК.

По-перше, використання частотного регулювання дозволяє реалізувати S-подібні криві розгону та гальмування.

Це забезпечує ідеально плавний пуск конвеєра з обмеженням пускового моменту на рівні 120-150% від номінального.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Як наслідок, повністю усуваються пружні хвилі деформації у стрічці, запобігається її пробуксовка на приводному барабані, що в разі збільшує міжремонтний інтервал механічного обладнання.

По-друге, і це є ключовим фактором з позиції техніко-економічного обґрунтування, регульований привод створює можливість адаптації швидкості руху стрічки до поточного обсягу вантажу.

Застосування датчиків об'ємної або масової витрати матеріалу (наприклад, конвеєрних ваг або ультразвукових профілометрів) дозволяє системі автоматичного керування знижувати швидкість стрічки при зменшенні вантажопотоку, підтримуючи при цьому оптимальне погонне завантаження.

Відповідно до законів механіки, зниження швидкості конвеєра при неповному завантаженні експоненційно зменшує аеродинамічні втрати та втрати на тертя, що призводить до прямої економії електроенергії на рівні 15-30% залежно від профілю траси.

По-третє, сучасні гірничо-збагачувальні підприємства стикаються з постійним зростанням тарифів на електроенергію та жорсткістю екологічних стандартів (декарбонізація виробництва).

Кожен зекономлений кіловат-година енергії не лише покращує фінансові показники комбінату, але й знижує непрямі викиди парникових газів (Scope 2 emissions).

Зважаючи на високу капіталоємність впровадження високовольтних та низьковольтних перетворювачів частоти великої потужності, проста констатація факту їхньої корисності є недостатньою для ухвалення управлінських рішень керівництвом підприємств.

Необхідне глибоке, науково підкріплене обґрунтування, яке б базувалося на точних математичних моделях конкретних конвеєрних ліній,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

враховувало б топологію траси (ухили, довжину), характеристики наявних двигунів та специфіку транспортованої руди.

Таким чином, науково-практична робота, спрямована на обґрунтування доцільності встановлення регульованого електроприводу конвеєрів в умовах гірничо-збагачувальних підприємств, є своєчасною, високо актуальною та має чітко виражений прикладний характер.

Результати цього дослідження дозволять сформувати науково-обґрунтовану методологію переходу транспортних систем ГЗК на новий рівень енергоефективності та технологічної надійності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Аналіз та оцінка існуючих режимів роботи конвеєрів

1.1. Показники управління та функціонування стрічкового конвеєра в процесі транспортування

Для розуміння завдань та результатів досліджень уточнимо загальні поняття про показники управління, керовані величини, що визначають стан та функціонування конвеєра.

У нашому випадку досліджуваною системою (об'єктом управління) є стрічкові конвеєри ДФ-2: 1КТ,1 АКТ,2 КТ,2 АКТ і конвеєри ДФ-3: ЛК-1, ЛК-2.

Алгоритм функціонування процесу транспортування складається з низки операцій, що проводяться в певній послідовності.

Першою є операція завантаження стрічки конвеєра, другий – заповнення погонного ділянки стрічки (поперечного його перерізу), третьої – транспортування вантажу, четвертої – розвантаження стрічки.

Основними вимогами функціонування за операціями є:

- для операції завантаження – подача матеріалу на стрічку (продуктивність пристроїв живлення) повинна бути не більше його приймальної здатності (продуктивності конвеєра);
- для операції заповнення поперечного перерізу – заповнення має бути максимально великим, але без просипів матеріалу;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Розробив		КоваленкоБ.А.					11	8
Перевірив		Осадчук Ю.Г.						
Реценз.								
Н. Контр.		Осадчук Ю.Г.						
Затвердив		ПересунькоІ.І.				КНУ ЕЕМ-22-1		

- для операції транспортування – повинні мінімізуватись показники питомої маси, питомої енергоємності, інтегрального показника ефективності та питомої витрати матеріалів [1, 2];
- для операції розвантаження стрічки – потік, що розвантажується, повинен бути з мінімальною довжиною перерізу (вздовж осі конвеєра) розвантажуваного матеріалу; розвантаження має бути повним, без прилипання.

Для здійснення алгоритму функціонування процесу транспортування необхідний певний характер на конвеєрну систему.

Система управління транспортуванням у даному випадку має такі основні впливи: завдання по сумарному навантаженню на всій стрічці конвеєра; завдання з лінійного завантаження стрічки конвеєра; контрольна дія за сумарним навантаженням; контрольна дія по лінійному завантаженню; основна збурювальна дія по навантаженню впливає на керовану величину - швидкість стрічки; додаткові впливи, що обурюють, мають різну природу і кількість, це гармонійний склад напруги живлення і струму, температура, вологість, перешкоди в ланцюгу задають параметрів і т.д.

При цьому керованими величинами цього впливу можуть бути декілька величин (координат, змінних), які можуть вимірюватися або обчислюватися.

Конвеєрна установка як об'єкт управління в цьому сенсі є багатовимірним об'єктом.

Керовані величини у системі можна поділити на основні та додаткові.

До основних належать: сумарне навантаження конвеєра, яке формує тягове зусилля; лінійне завантаження стрічки конвеєра.

До додаткових належать: швидкість руху стрічки у місці навантаження матеріалу; швидкість обертання приводних барабанів; активна потужність

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

двигунів; реактивна потужність двигунів; кількість двигунів; величина натягу стрічки конвеєра.

При цьому система управління має забезпечити такі показники:

- 1) сумарне навантаження або максимальне тягове зусилля має бути не більшим за розрахунковий або заданий залежно від якості стиків та загального стану стрічки конвеєра, барабанів;
- 2) лінійне завантаження має бути не вище за розрахункове або обмежуватися завданням по тяговому зусиллю;
- 3) швидкість матеріалу в місці завантаження стрічки повинна бути відповідним лінійним завантаженням або вище, якщо це необхідно за вимогами якості розвантаження або енергетики приводів;
- 4) швидкість обертання окремих приводних барабанів повинна відповідати механічним характеристикам двигунів з перетворювачами за підтримки заданого розподілу навантаження між двигунами;
- 5) реактивна потужність має бути мінімальною при виконанні умов підтримки основних керованих величин;
- 6) кількість двигунів приводу підтримується таким, щоб сумарної потужності тих, що залишилися, вистачило для здійснення транспортування, інші відключаються;
- 7) натяг стрічки повинен відповідати величині, що забезпечує роботу пари тертя стрічка-барабан без прослизання і не перевищувати значень відповідних максимальним розривним зусиллям стиків.

Ця система є стежить, вхідна величина має випадковий характер, управління швидкістю виробляють за пропорційним законом.

У системі цікаві всі три аспекти впливів: енергетичний, метаболічний (формування лінійного навантаження на стрічці), інформаційний.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Пріоритетним у цьому дослідженні є енергетичний аспект впливів, тобто. витрати енергії, які споживаються з електричної мережі через електропривод і всі втрати енергії при транспортуванні.

У цій роботі розглянуто ряд показників якості [3] системи, що забезпечують ефективне функціонування конвеєра та системи управління.

Якість системи управління оцінюється такими загальноприйнятими показниками: маса та габарити; енергоспоживання; надійність; експлуатаційна витрата матеріалів та комплектуючих.

Крім цього, найбільш необхідними показниками якості є ті, що характеризують ефективність безпосередньо процесу управління.

Найбільш відповідним показником якості управління є показник енергоспоживання із покращеною квадратичною оцінкою.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Загальна характеристика впливу показників функціонування на техніко-економічну оцінку використання конвеєра

Додатково до основного, прийнятого в роботі показника мінімізації енерго- та матеріалоспоживання при транспортуванні, система вирішує ще ряд завдань, що вигідно відрізняють її від існуючих, в яких не здійснюється регулювання швидкості та підтримання стабільного лінійного навантаження.

Переваги виражаються нижченаведеними положеннями.

1. Переходи від процесу гальмування до процесу розгону здійснюються з плавним вибором зазорів зубчастої передачі.
2. Здійснення режиму ремонтної (зниженої) швидкості для перегляду стиків та стану стрічки здійснюється основним приводом.
3. Економія електроенергії загалом під час роботи даної системи становить 15% і більше.
4. Система дозволяє проводити процес включення - відключення окремих двигунів в режимі, що щадить.
5. Можливість плавного регулювання дозволяє здійснювати узгоджені пуск та гальмування за швидкістю суміжних конвеєрних установок, що зменшує просипи на приймальному конвеєрі.
6. Розподіл навантаження між двигунами ведеться з набагато меншими втратами і може адаптуватися до величини загального тягового зусилля, що неможливо в системах з приводом нерегульованим.
7. При регулюванні швидкості конвеєра та зменшенні вхідного вантажопотоку, знижується частота оборотності стрічки, барабанів, роликів та іншого обладнання, що рухається, а також зменшуються

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

динамічні удари шматків об ролики. Усе це призводить до мінімізації зносу матеріальної частини конвеєра.

Ці вимоги підтверджені роботами низки авторів [4-12].

Найбільш наочно економічна доцільність застосування регулювання швидкості підтримки постійного моменту наведено у роботі [13].

Тут виведена різниця потужності у відносних одиницях, що відображає, в кінцевому рахунку, економію енергії при регулюванні швидкості у функції вантажопотоку, що надходить.

$$P_{\Delta*} = P_* - P'_* = M_{X_*} \cdot (1 - Q_*) \quad (1.1)$$

де P_*, P'_* – потужність на валу двигуна для нерегульованого та

регульованого приводу; $Q_* = \frac{Q}{Q_n}$; Q_n, Q – номінальна та поточна

продуктивності; $M_{x_*} = \frac{M_x}{M_n}$; M_x, M_n – моменти холостого ходу та номінальний на валу двигуна.

На рис.1.1 показані залежності потужності на валу двигуна для конвеєра з моментом холостого ходу $M_x = 0,3 M_n$ для постійної ($V = \text{const}$) і регульованої ($F_t = \text{const}$) швидкостей пересування матеріалу, що транспортується.

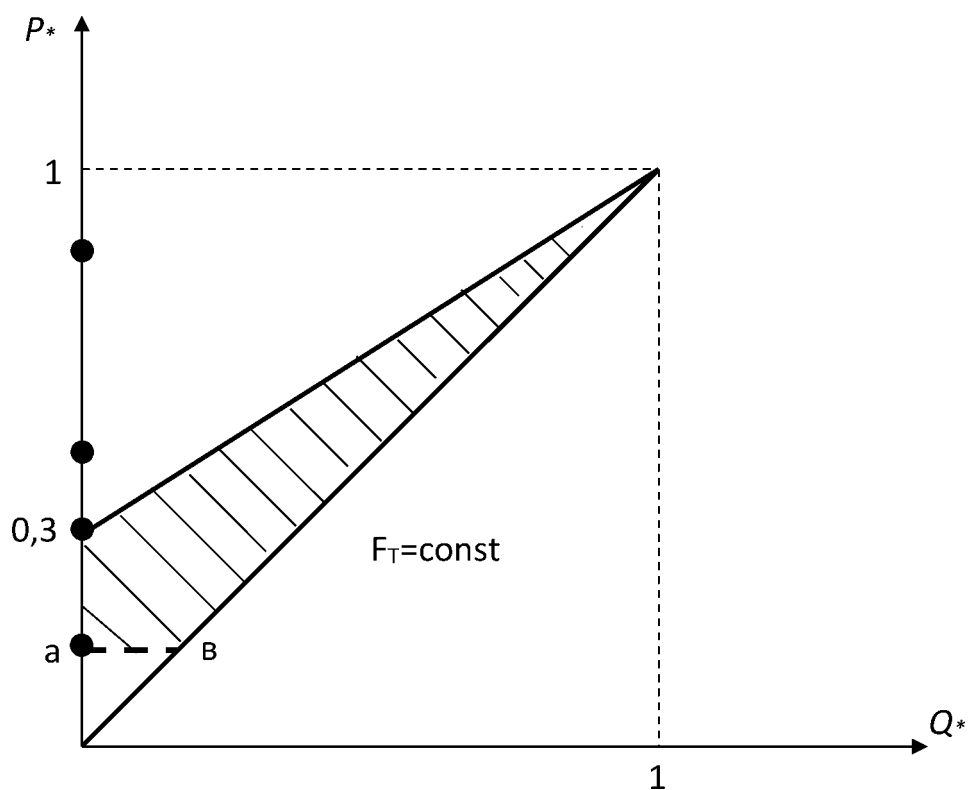


Рис.1.1 – Залежність потужності на валу електричного двигуна від продуктивності конвеєра

Заштрихована область на рис.1.1 відповідає економії потужності, яка отримується за рахунок регулювання швидкості.

Зважаючи на те, що для реальних систем неприйнятна повна зупинка конвеєра, т.к. це призводить до зменшення надійності установки через складність пусків конвеєрів, існує повзуча швидкість до якої знижується швидкість стрічки конвеєра, за умови відсутності (короткочасного) вантажопотоку на його вході.

Тому на рис.1.1 доречно провести ще одну лінію (ав), яка показує межу зниження швидкості за відсутності вантажопотоку.

Крім зазначених енергетичних витрат зайва оборотність стрічки веде до зношування (абразивного та ін.) стрічки, передчасних відмов вузлів тертя, втрат машинобудівних матеріалів.

Відомо, що в технічно розвинених країнах витрати на ремонт і міжремонтне обслуговування машин в середньому за рік становить $10 \div 25\%$ (до 25%) вартості обладнання [14].

Для машин, що працюють в особливо важких умовах зношування, як у гірській, вугільній, будівельній промисловості, витрати тільки на капітальні ремонти сягають 50% їх вартості.

Більшість деталей машин ($80 \div 85\%$) виходить з ладу внаслідок інтенсивного зношування.

Це вказує на те, що при проектуванні та експлуатації машин та механізмів ще не завжди використовують найбільш ефективні засоби зменшення тертя та зношування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Розділ 2. Дослідження вантажопотоків та енергетичних витрат конвеєрних комплексів

2.1. Дослідження вантажопотоків конвеєрних комплексів

Аналіз вантажопотоків.



Рисунок 2.1 – Діаграма приймання руди

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 2			Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Коваленко Б.А.									19	13
Перевірів	Осадчук Ю.Г.										
Реценз.											
Н. Контр.	Осадчук Ю.Г.										
Затвердив	Пересунько І.І.				КНУ ЕЕМ-22-1						

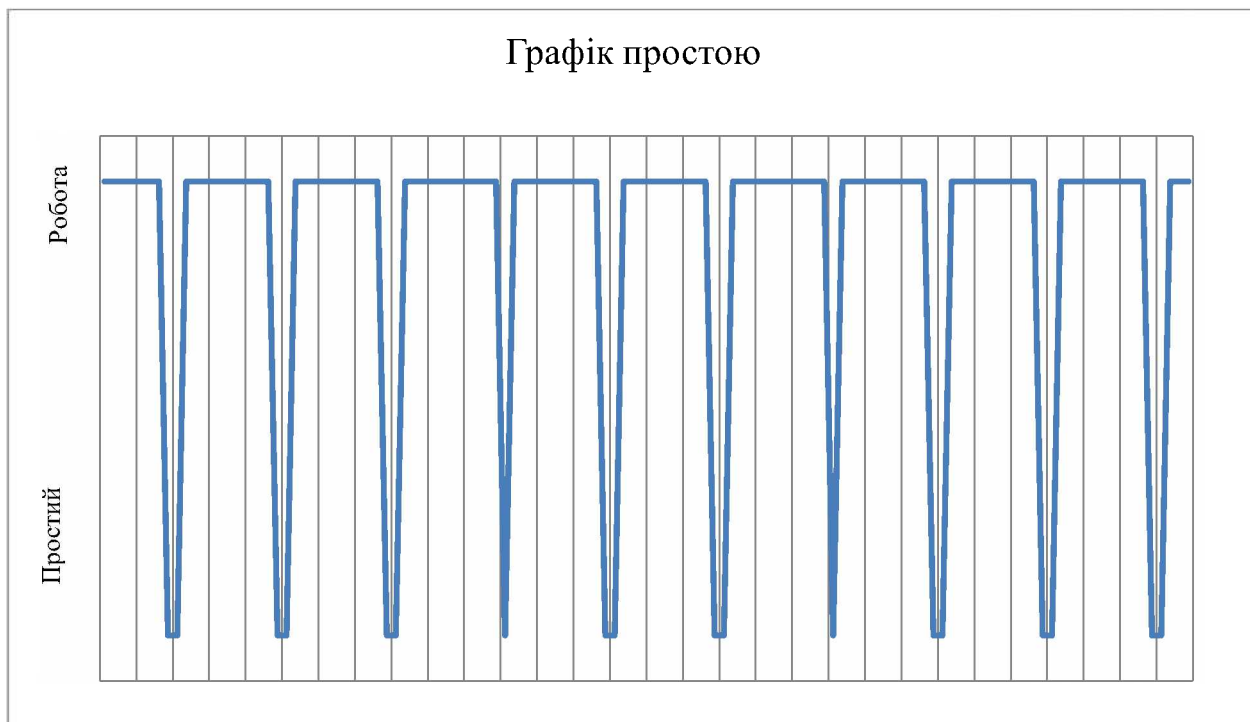


Рисунок 2.2 – Графік простою приймання руди

Продуктивність у відсотках при нормі 3000 т/год

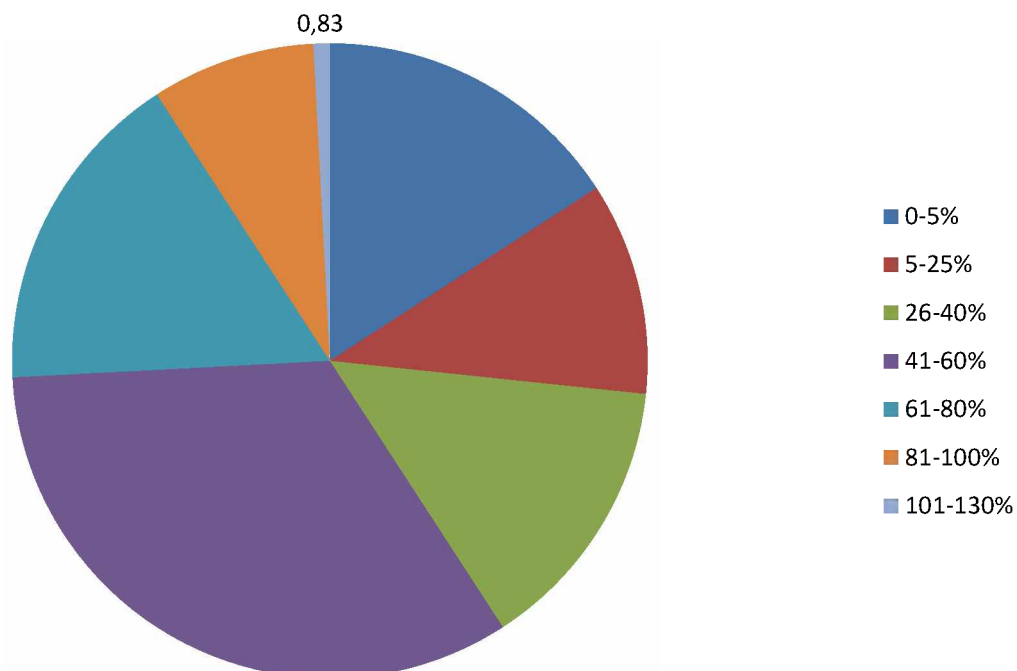


Рисунок 2.3 – Продуктивність приймання руди у відсотках за норми 3000 т/год

Продуктивність у відсотках за норми 4 000 т/год

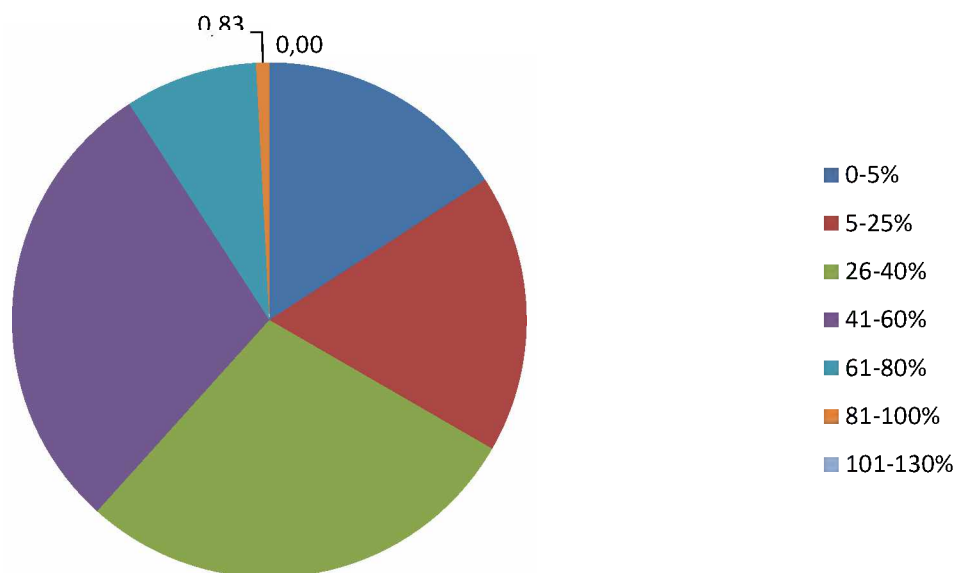


Рисунок 2.4 – Продуктивність у відсотках за норми 4000 т/год



Рисунок 2.5 – Діаграма прийому скелі

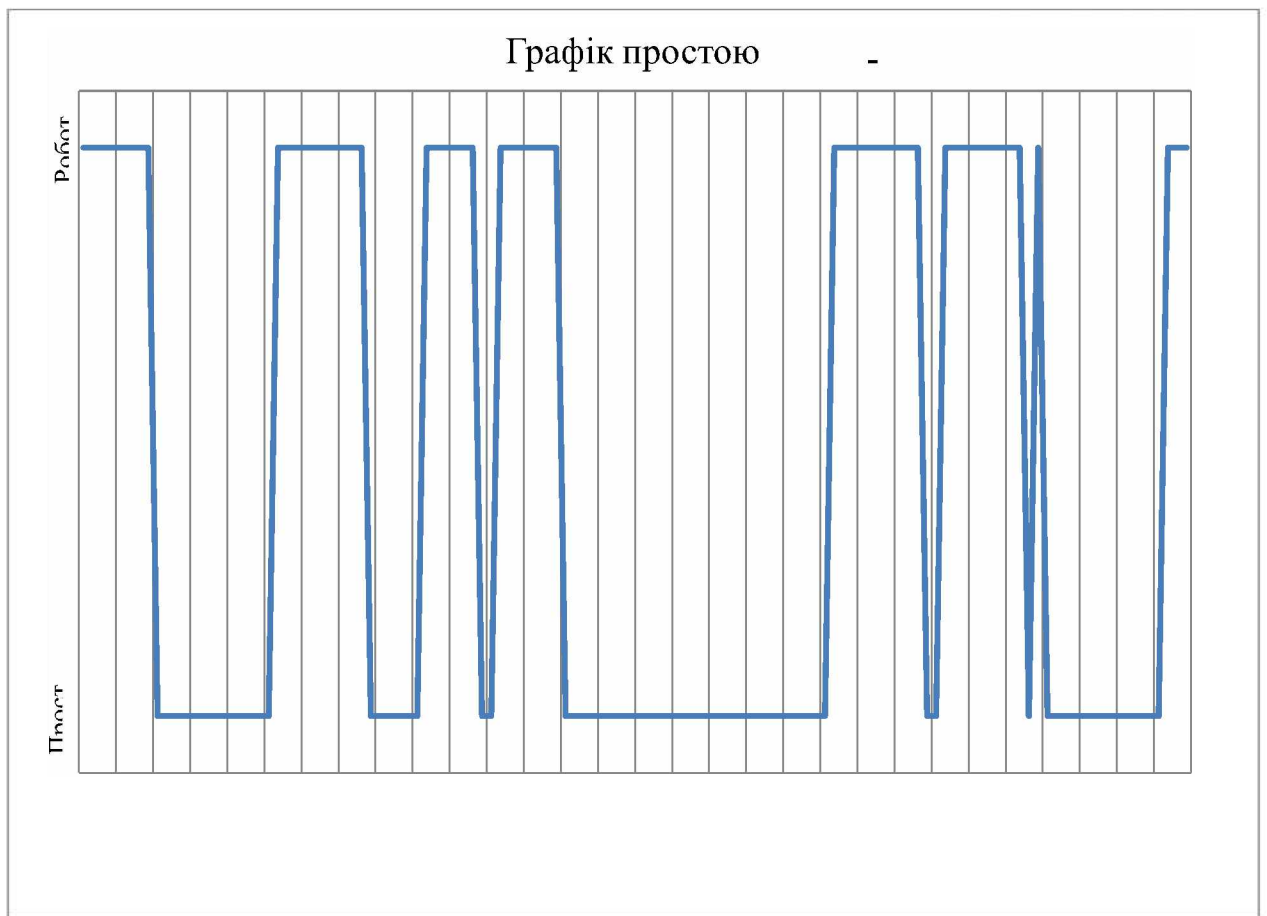


Рисунок 2.6 – Графік простою приймання скелі

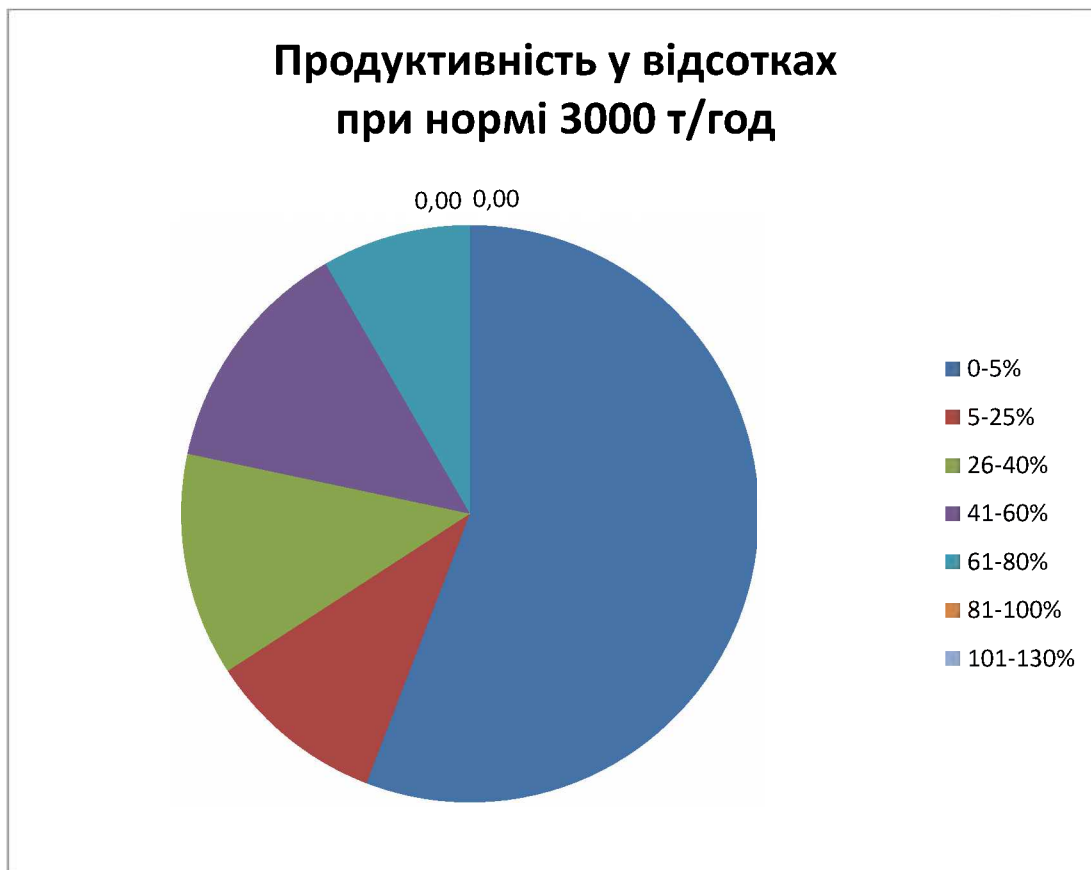


Рисунок 2.7 – Продуктивність приймання скелі у відсотках за норми 3000 т/год

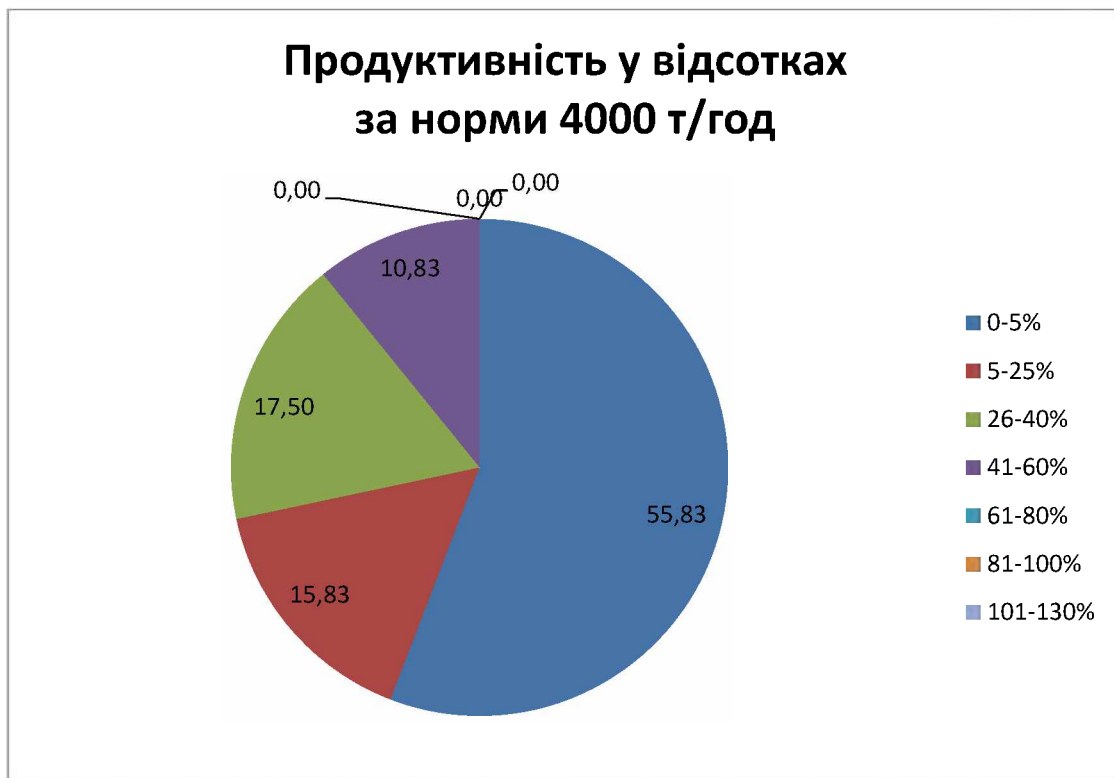


Рисунок 2.8 – Продуктивність приймання скелі у відсотках за норми 4000 т/год

2.2. Дослідження енергетичних витрат конвеєрних комплексів

Аналіз енерговитрат.

Таблиця 2.1

Дані на час	Споживання електроенергії за зміну, кВт	1	2
1	2	15.04.13 20:00	35763
31.03.23 8:00	45780	16.04.13 8:00	34464,6
31.03.23 20:00	19598,4	16.04.13 20:00	29189,4
01.04.23 8:00	42177,6	17.04.13 8:00	34566
01.04.23 20:00	33565,2	17.04.13 20:00	33917,4
02.04.23 8:00	35794,2	18.04.13 8:00	31530,6
02.04.23 20:00	39039	18.04.13 20:00	26728,8
03.04.23 8:00	18966,6	19.04.13 8:00	32097,6

03.04.23 20:00	38818,8	19.04.13 20:00	27732
04.04.23 8:00	41691,6	20.04.13 8:00	34837,8
04.04.23 20:00	32078,4	20.04.13 20:00	38206,2
05.04.23 8:00	31755,6	21.04.13 8:00	37658,4
05.04.23 20:00	41089,2	21.04.13 20:00	35433,6
06.04.23 8:00	40153,2	22.04.13 8:00	40291,2
06.04.23 20:00	31240,8	22.04.13 20:00	34335,6
07.04.23 8:00	38211,6	23.04.13 8:00	33381
07.04.23 20:00	24234,6	23.04.13 20:00	20836,2
08.04.23 8:00	40587,6	24.04.13 8:00	23732,4
08.04.23 20:00	35448,6	24.04.13 20:00	4616,4
09.04.23 8:00	31147,8	25.04.13 8:00	13315,2

09.04.23 20:00	21030,6	25.04.13 20:00	34288,2
10.04.23 8:00	21322,2	26.04.13 8:00	34189,8
10.04.23 20:00	4509	26.04.13 20:00	26086,8
11.04.23 8:00	20995,2	27.04.13 8:00	30289,2
11.04.23 20:00	16338,6	27.04.13 20:00	32100
12.04.23 8:00	20404,2	28.04.13 8:00	32034,6
12.04.23 20:00	19423,2	28.04.13 20:00	26996,4
13.04.23 8:00	18078,6	29.04.13 8:00	26789,4
13.04.23 20:00	20359,8	29.04.13 20:00	26418,6
14.04.23 8:00	20743,2	30.04.13 8:00	36163,2
14.04.23 20:00	32575,8	30.04.13 20:00	35307,6
15.04.23 8:00	40573,8	01.05.13 8:00	36125,4



Рисунок 2.9 – Споживання електроенергії



Рисунок 2.10 – Лінійна апроксимація споживання електроенергії



Рисунок 2.11 – АКФ споживання електроенергії

Розділ 3. Розробка варіантів щодо встановлення систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів

3.1. Варіанти щодо встановлення систем регульованого електроприводу на окремі електроприводи конвеєрних комплексів

Застосування високовольтних електродвигунів з фазним ротором на потужних конвеєрах вимагає обов'язкового використання спеціальної пускорегулюючої апаратури, оскільки прямий пуск АД ФР не допускається як за умовами працездатності електродвигуна, так і за умов роботи конвеєра.

Пускорегулюючі пристрої АД ФР потужного багаторухового конвеєра повинні забезпечити виконання наступних типових вимог:

1. Плавне наростання моменту електродвигунів до початку руху, що забезпечує вибір люфтів та зазорів у механічних передачах та натяг конвеєрної стрічки.
2. Плавний ненаголошений пуск конвеєра за час від 10 до 60 секунд із збереженням постійного заданого прискорення в процесі пуску за рахунок забезпечення постійного динамічного моменту електродвигунів (не більше 1,3 номінального моменту електродвигуна).
3. Вирівнювання навантаження (моментів) електродвигунів після досягнення номінальної швидкості.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Розробив		Коваленко Б.А.						
Перевірив		Осадчук Ю.Г.					32	10
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22-1		
Н. Контр.		Осадчук Ю.Г.						
Затвердив		Пересунько І.І.						

4. Короткочасна (до 10 хвилин) робота холостого конвеєра на зниженій швидкості (0,2–0,3 номінальної) для ремонту, навішування та заміни стрічки конвеєра.
5. Допустиме число пусків конвеєра за годину не менше трьох.

Найпростішим варіантом економії електроенергії з огляду на низьке завантаження конвеєрів є відключення одного з двигунів конвеєрів.

Виходячи з принципу роботи з'являється можливість відключення АД за допомогою замикання тиристорів УВ, як це показано на рис. 3.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

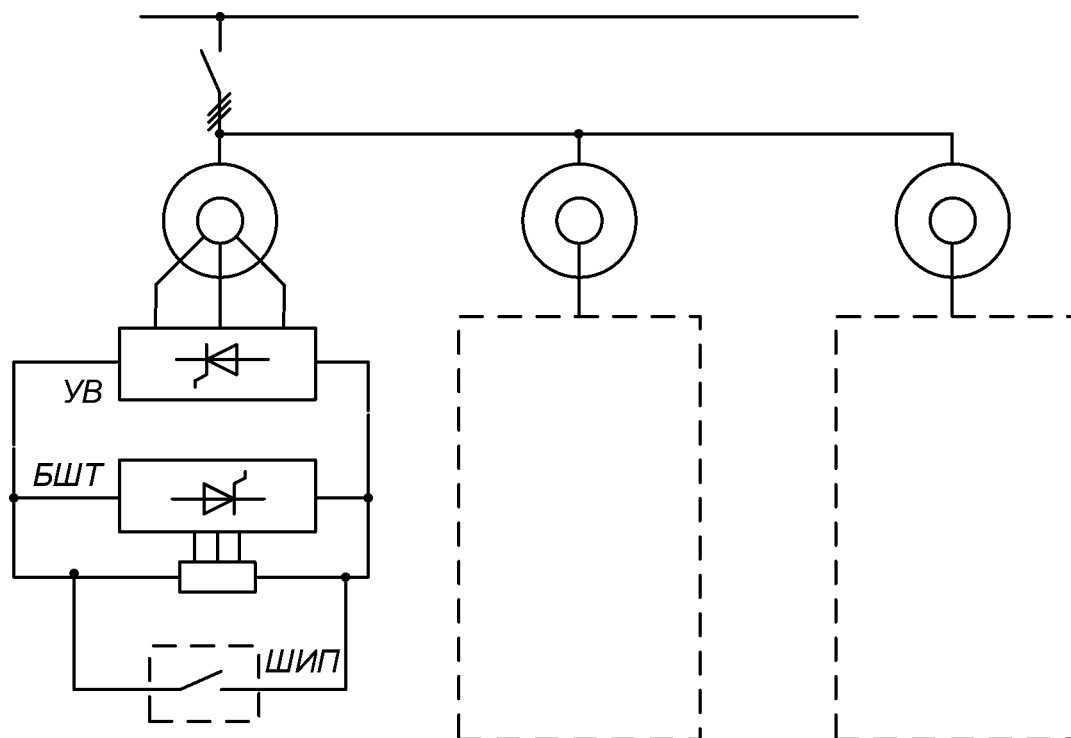


Рис. 3.1. Можливість відключення АД за допомогою замикання тиристорів УВ

3.2. Регулювання швидкості конвеєрів при встановленні систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів

Регулювання швидкості стрічки конвеєра в залежності від ваги, що знаходиться на ній, дозволяє:

- значно заощаджувати енергію;
- знизити зношування механічної частини конвеєра;
- збільшити термін роботи механічного устаткування;
- знизити експлуатаційні та інвестиційні витрати.

Якщо стрічкові конвеєри експлуатуються не на повну потужність, існує необхідність зменшення швидкості стрічки конвеєра настільки, що забезпечує отримання потрібної працездатності конвеєра при номінальному одиничному завантаженні породи.

Зменшення швидкості стрічки конвеєра з неповним завантаженням забезпечує значне зменшення:

- кількості обертів стрічки;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- цільних опор руху конвеєра;
- необхідності роздроблення породи у місцях пересипання;
- зносу механічних частин конвеєра - барабанів, елементів обертання, зчеплень та стрічки.

Практичне використання регулювання швидкості потужних багаторухових конвеєрів можливе на базі щодо недорогих та надійних пристроїв плавного пуску та регулювання швидкості асинхронних електродвигунів із фазним ротором.

Структурна схема ПРУ дворухового конвеєра показана на рис. 3.2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

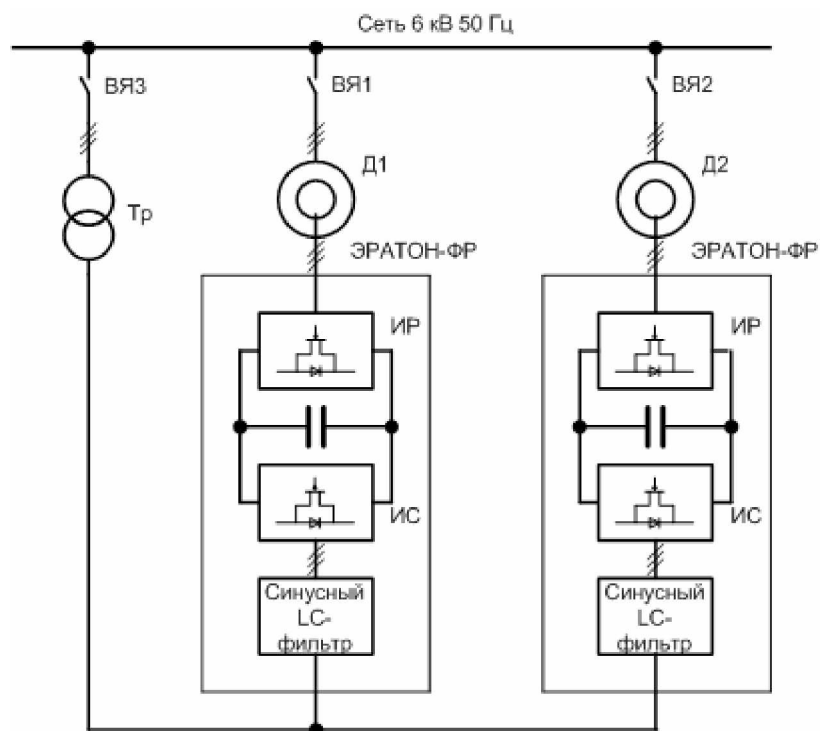


Рис. 3.2 – Структурна схема ПРУ двурухового конвеєра

Структурна схема ПРУ крутопохилого конвеєра показана на рис. 3.3.

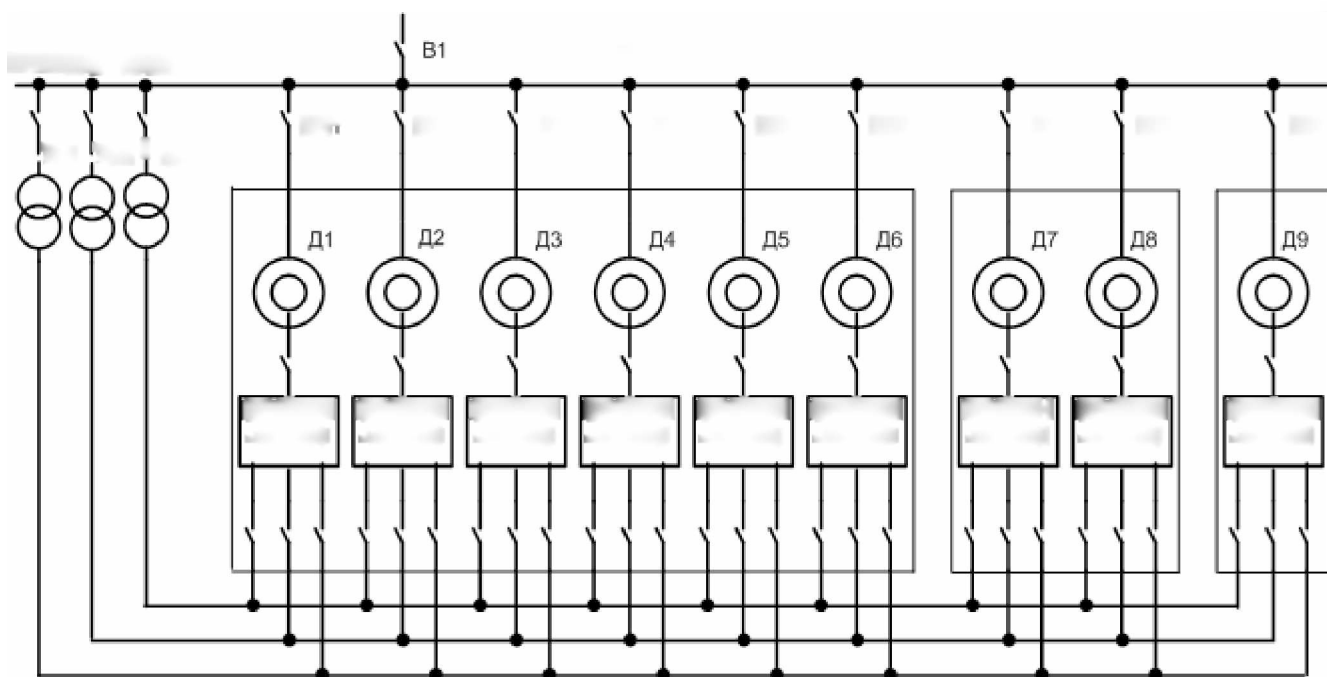


Рис. 3.3 – Структурна схема ПРУ крутопохилого конвеєра

3.3. Покращення пускових характеристик при встановлені систем регульованого електроприводу на існуючі електроприводи конвеєрних комплексів

Встановлене обладнання на конвеєрах не дозволяє проводити пуск з нульової швидкості, тому необхідно використовувати комбінований пуск із опорами та переходом на тиристорні системи управління пуском конвеєра за критерієм коефіцієнта динамічності.

Аналіз пускових режимів дозволяє встановити, що запуск стрічкових конвеєрів здійснюється в основному двома способами: підтримкою приблизної сталості моменту приводного двигуна, або прискорення приводного барабана (пуск з попередніми ступенями).

При цьому відбувається ступінчаста зміна моменту двигуна, що викликає виникнення великих динамічних зусиль у стрічці, інтенсивні коливання тягового органу, прослизання стрічки по приводному барабану, часто призводить до запуску, що не відбувся, виникнення аварій.

Аналіз обмежувальних умов пуску показав таке:

- одночасне обмеження зусиль у стрічці, моменту двигуна, що крутить, і прискорення недоцільно, оскільки ці величини функціонально пов'язані, і лише одна з них є незалежною;
- обмеження прискорень порожньої стрічки зайве, оскільки натяг її у разі виявляється меншим, ніж за пуску навантаженого конвеєра;

- найбільш обґрунтованим є обмеження натягу стрічки при пуску конвеєра у навантаженому стані.

Так як зусилля у стрічці при пуску холостого конвеєра незалежно від режиму пуску завжди значно менше, ніж для навантаженого, тому умови пуску навантаженого конвеєра є визначальними для вибору закону тягової характеристики приводу.

Розглянемо формування процесу параметрів пуску конвеєра залежно від величини коефіцієнта динамічності режиму пуску $K_{\text{буд}}$. Для цього розроблений спосіб пуску з плавним розгоном за рахунок включення протиЕРС і пристрій для його реалізації [3, 6-9] (рис.3.4).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

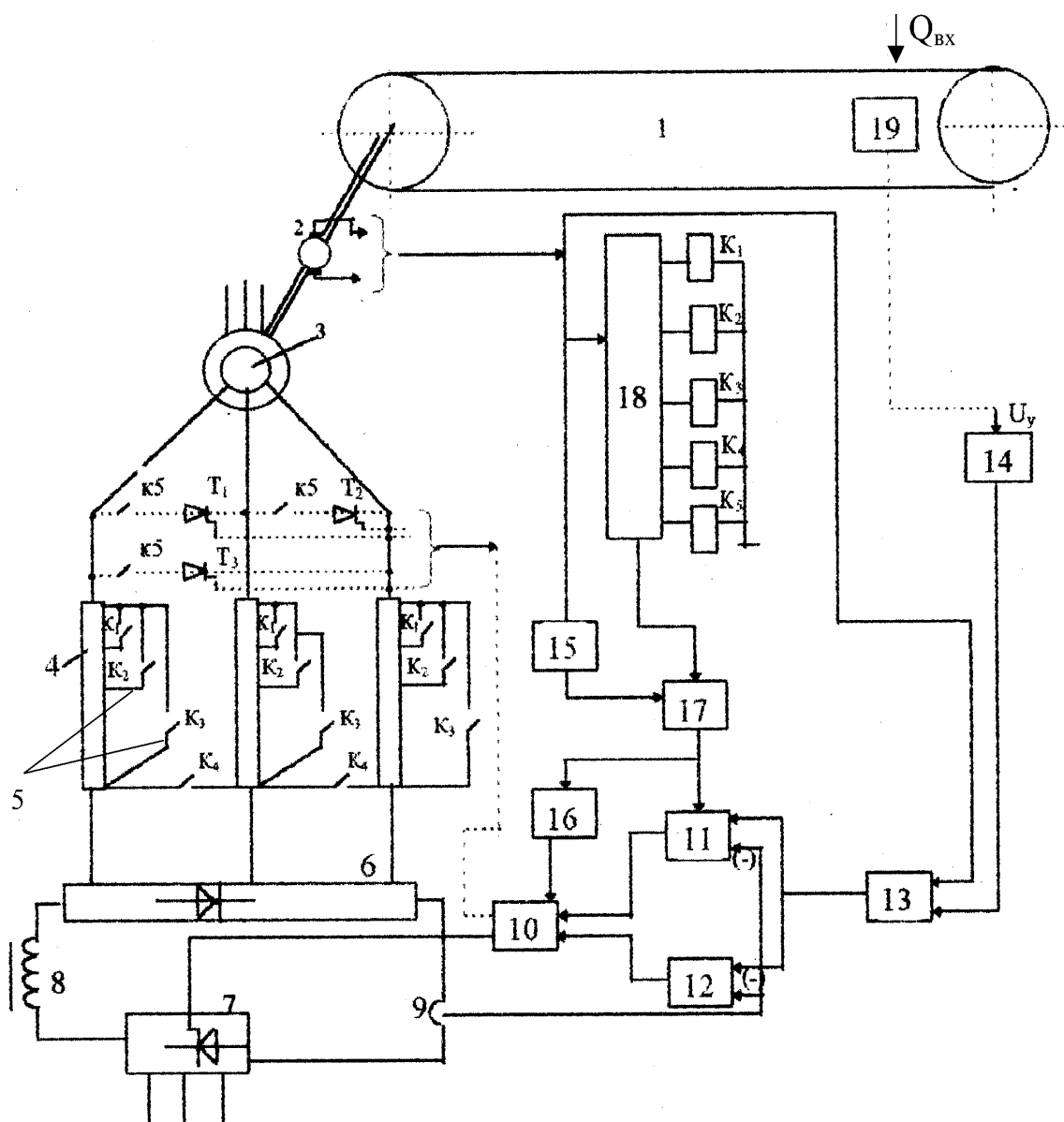


Рис.3.4 - Функціональна схема пристрою керування конвеєром

Висновки

Підвищення енергетичної та експлуатаційної ефективності конвеєрного транспорту на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) шляхом впровадження систем регульованого електроприводу дозволить мінімізувати питомі витрати електроенергії, знизити динамічні навантаження на механічні вузли та оптимізувати процес транспортування корисної копалини в умовах змінного вантажопотоку.

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати наступні завдання:

1. Провести аудит та аналіз поточного стану електромеханічних систем конвеєрного транспорту підприємства, виявити ключові фактори неефективного споживання електроенергії.

2. Дослідити стохастичні та детерміновані режими роботи конвеєрних ліній, визначити графіки навантажень та тривалість роботи конвеєрів у режимах недовантаження і холостого ходу.

3. Виконати математичне моделювання перехідних процесів у системі "перетворювач частоти – асинхронний двигун – стрічковий конвеєр" для оцінки впливу плавного пуску на тяговий орган (стрічку).

4. Розробити алгоритми автоматизованого керування швидкістю руху конвеєрної стрічки залежно від обсягу вантажопотоку, що надходить з екскаваторних чи дробильних комплексів.

5. Здійснити техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) капіталовкладень у модернізацію приводів, розрахувати термін окупності обладнання на основі прогнозованої економії енергоресурсів та зниження витрат на технічне обслуговування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Zhang, S., & Xia, X. (2011). Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors. *Applied Energy*, 88(9), 3061-3071.
2. Lodewijks, G. (2002). Non-linear dynamics of belt conveyor systems. *Bulk Solids Handling*, 22(1), 34-41.
3. Leonhard, W. (2001). *Control of Electrical Drives* (3rd ed.). Springer Science & Business Media.
4. Bose, B. K. (2006). *Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*. Academic Press.
5. Halepoto, I. A., Shaikh, M. Z., & Chowdhry, B. S. (2016). Design and implementation of intelligent energy efficient conveyor system based on variable speed drive. In *2016 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube)* (pp. 1-5). IEEE.
6. Karolewski, B., & Ligocki, P. (2014). Modelling of long belt conveyors. *Eksplotacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, 16(2), 179-187.
7. Lauhoff, H. (2005). Speed control on belt conveyors – does it really save energy?. *Bulk Solids Handling*, 25(6), 368-377.
8. Shirabad, J. S., & Nouri, M. (2015). Energy efficient operation of variable speed belt conveyors. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1269-1279.
9. He, D., Pang, Y., Lodewijks, G., & Liu, X. (2017). Healthy state prediction of a belt conveyor based on a variable weight combined model. *Measurement*, 96, 73-82.
10. Xia, X., & Zhang, S. (2014). Energy efficiency analysis and optimization of belt conveyors. *Handbook of Clean Energy Systems*, 1-13.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Marian, M., & Jurcău, C. (2013). Variable frequency drives used for belt conveyors. Annals of the University of Petroșani, Electrical Engineering, 15, 33-40.

12. Krol, R., Kisielewski, W., & Kaszuba, D. (2017). Energy-efficient belt conveyor transport systems. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95(4), 042046.

13. Pang, Y., & Lodewijks, G. (2006). Pipe conveyor power calculation and dynamic analysis. Bulk Solids Handling, 26(1), 38-44.

14. Mathur, J., & Srivastava, A. (2018). Performance evaluation of variable frequency drives in heavy-duty mining applications. IEEE Transactions on Industry Applications, 54(5), 5123-5130.

15. Mazurkiewicz, D. (2014). Computer-aided maintenance and reliability management systems for conveyor belts. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 16(3), 377-382.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-09	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		