

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)	О. КОЛЛАРОВ
«___» _____	(ініціали, прізвище) 2024 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Аналіз енергоефективності та розробка системи регулювання електроприводу стрічкового конвеєра

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-20
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Людмила СЕРДЮК	
(ім'я та прізвище)	(підпис)

Керівник Ст. викл. кафедри ЕЛІН Павло БЕЛИЦЬКИЙ	
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	(підпис)

Рецензент	
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	(підпис)

Нормоконтроль:

Е.НЄМЦЕВ	
(підпис)	
<u>05.06.2022</u>	
(дата)	

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент	
(підпис)	(підпис)
<u>05.06.2022</u>	<u>05.06.2022</u>
(дата)	(дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сердюк Людмилі Олександрівні

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Аналіз енергоефективності та розробка системи
регулювання електроприводу стрічкового конвеєра.

керівник роботи _____ Белицький Павло Володимирович
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Тип підприємства – гірниче, довжина
транспортування – 1500 м, середній кут транспортування – 8°, напрям
транспортування – вгору, продуктивність – 2000 т/добу, кількість приводних
барабанів – 2, кількість двигунів – 4, атмосфера – волога.

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

1. Огляд систем конвеєрного транспорту гірничих підприємств.

2. Вимоги до електроприводу стрічкових конвеєрів гірничих підприємств.

3. Розробка та технологічний розрахунок конвеєрної лінії.

4. Розрахунок електроприводу. Вибір обладнання. Синтез системи управління.

5. Моделювання електромеханічної системи конвеєра на базі САПР.

6. Охорона праці.

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-6	П. БЕЛИЦЬКИЙ, ст. викл. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЄМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	29.04–06.05.24	
2.	Розділ 2	07.05–12.05.24	
3.	Розділ 3	13.05–20.05.24	
4.	Розділ 4	21.05–26.05.24	
5.	Розділ 5	27.05–03.06.24	
6.	Розділ 6	04.06–07.06.24	

Студент _____
(підпис)

Людмила СЕРДЮК
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Павло БЕЛИЦЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Сердюк Л.О. Аналіз енергоефективності та розробка системи регулювання електроприводу стрічкового конвеєра / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеню «бакалавр» за спеціальністю 144 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024. – 79 с.

Наведено стислий огляд систем конвеєрного транспорту гірничих підприємств. Сформульовані вимоги до електроприводу сучасних стрічкових конвеєрів. Здійснено технологічний розрахунок стрічкового конвеєра гірничого підприємства, обрано приводні двигуни і перевірено тяговий орган на міцність. Обрано елементи механічної частини електроприводу, розроблено структуру системи керування регульованого електроприводу стрічкового конвеєра, здійснено розрахунок для головних елементів частотного перетворювача. Здійснено моделювання вантажопотоку, швидкості стрічки конвеєра з регульованим приводом, формування коефіцієнту корисної дії нерегульованого і регульованого приводу конвеєра, формування середньозважених питомих енерговитрат на транспортування вугілля стрічковим конвеєром. Доведено економічну доцільність заміни нерегульованого приводу конвеєра на регульований.

СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД,
ДІАГРАМА НАТЯГУ СТРІЧКИ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ
КОРИСНОЇ ДІЇ, ПИТОМІ ЕНЕРГОВИТРАТИ

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд систем конвеєрного транспорту гірничих підприємств	9
1.1 Стрічкові конвеєри шахт	9
1.2 Системи конвеєрного транспорту гірничих підприємств	12
1.3 Системи приводу стрічкових конвеєрів гірничих підприємств	13
1.4 Висновки до розділу 1	14
2 Вимоги до електроприводу стрічкових конвеєрів гірничих підприємств	15
2.1 Вимоги до електроприводу	15
2.2 Вимоги до системи керування	15
2.3 Висновки до розділу 2	16
3 Розробка та технологічний розрахунок конвеєрної лінії	17
3.1 Вступні зауваження	17
3.2 Вибір ширини стрічки і типу конвеєра	17
3.3 Визначення опорів руху та оцінка окружного тягового зусилля приводу	19
3.4 Визначення натягів стрічки. Побудова діаграми натягів	21
3.5 Визначення потужності приводу, вибір приводного двигуна і встановлення кількості конвеєрів у лінії	24
3.6 Висновки до розділу 3	26
4 Розрахунок електроприводу. Вибір обладнання. Синтез системи управління	27
4.1 Вступні зауваження	27
4.2 Розрахунок елементів механічної частини електроприводу	27
4.3 Перевірка двигунів стрічкового конвеєра за нагріванням та умовою пуску	31

4.4 Концептуальні засади вибору системи регулювання швидкості стрічки	35
4.5 Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом стрічкового конвеєра	38
4.6 Розрахунок випрямляча	41
4.7 Розрахунок ємнісного фільтру	42
4.8 Розрахунок інвертора	42
4.9 Висновки до розділу 4	43
5 Моделювання електромеханічної системи конвеєра на базі САПР	44
5.1 Вступні зауваження	44
5.2 Основні припущення, що застосовані в математичній моделі	44
5.3 Моделювання вантажопотоку	45
5.4 Моделювання швидкості стрічки	47
5.5 Моделювання коефіцієнту корисної дії електроприводу	48
5.6 Моделювання питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром	55
5.7 Оцінка економічної ефективності регулювання швидкості електроприводу стрічкового конвеєра	57
5.8 Напрямки подальшої роботи	58
5.9 Висновки до розділу 5	59
6 Охорона праці	60
Висновки	61
Список використаних джерел	62
Додаток А. Вимоги з охорони праці під час експлуатації підземного стрічкового конвеєра вугільної шахти	67

ВСТУП

Для вугільної галузі України характерні складні умови експлуатації родовищ та висока енергоємність, яка є основною причиною збитковості та дотацій із державного бюджету, що вимірюються мільярдами гривень на рік. З іншого боку, для сучасного гірництва характерною є інтенсифікація виробництва, яка зумовлює зростання навантажень на технологічне обладнання гірничого підприємства [1].

Конвеєрні установки вугільних підприємств, які вважаються головним видом транспорту при транспортуванні корисної копалини, характеризуються протяжною трасою і високими витратами енергії при їх експлуатації. На вугільних шахтах України частка витрат енергії на транспортування вантажу стрічковими конвеєрами сягає 7-20% від загальношахтних витрат енергії, тоді як частка витрат енергії на виймання корисної копалини і проведення виробок часто не перевищує 5 %. Тому питання зниження енергоємності конвеєрного транспорту вугільних шахт є актуальною науковою і практичною проблемою [1; 2; 3].

Питання доцільності впровадження регульованого приводу стрічкових конвеєрів є одним із найбільш дискусійних серед фахівців у галузі електроенергетики, гірництва та інших суміжних напрямків. Не дивлячись на великий обсяг наукових досліджень за даною тематикою, досі відсутні єдині критерії, які дозволяли би обрати спосіб регулювання швидкості тягового органу та обґрунтувати доцільність такого регулювання [4; 5; 6]. Виходячи з вищесказаного, тема дипломної роботи, яка пов'язана із вибором способу регулювання електроприводу стрічкового конвеєра, підвищенням енергоефективності стрічкових конвеєрів, є актуальною.

Метою роботи є обґрунтування енергоефективності регульованого приводу стрічкового конвеєра вугільної шахти, порівняно із приводом нерегульованим.

Для досягнення мети слід вирішити такі завдання:

- 1) здійснити технологічний розрахунок стрічкового конвеєра,

2) здійснити розрахунок і вибір елементів електроприводу, обрати спосіб управління електроприводом, запропонувати структуру системи управління регульованим приводом конвеєра,

3) шляхом математичного моделювання процесу енергоспоживання при транспортуванні вантажу стрічковим конвеєром визначити і порівняти показники енергоспоживання при експлуатації конвеєрів з нерегульованим і регульованим приводом.

Визначення потужності приводних двигунів стрічкового конвеєра, вибір елементів електроприводу і системи керування здійснювалося шляхом інженерного розрахунку. Визначення енергетичних показників експлуатації конвеєрів з нерегульованим і регульованим приводом здійснювалося шляхом математичного моделювання в програмному середовищі MathCAD 15.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеню «бакалавр» складається з 66 сторінок машинописного тексту, 11 рисунків, переліку літературних джерел із 40 позицій та одного додатку обсягом 13 сторінок. Зміст роботи викладено в 6 розділах основної частини.

1 ОГЛЯД СИСТЕМ КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Стрічкові конвеєри шахт

Конвеєр (від англ. to convey – передавати, перевозити, транспортувати) – транспортна машина безперервного принципу дії, призначена для транспортування зі встановленою швидкістю масових вантажів безперервним вантажопотоком, або більш-менш рівномірними порціями із встановленим кроком. Як представник класу машин безперервного транспортування, конвеєр завантажується і розвантажується при номінальній швидкості транспортуючого елементу, а його технологічний процес не містить маневрів і холостого пробігу, що підвищує продуктивність цієї транспортної машини. Стрічковий конвеєр транспортує вантаж на несучій стрічці, відносно якої вантаж є нерухомим.

Вперше термін «конвеєр» запропонував у 1907 році Р.Олдс, - саме так він позначав транспортні візки, що рухаються з однаковою швидкістю і певним кроком. В 1913 році Г.Форд терміном «конвеєр» позначив потокову технологію збирання технічних виробів, яка дозволила зменшити їхню собівартість. Однак слід зазначити, що одиничні екземпляри транспортних машин, які можна вважати прототипом сучасного конвеєра, зустрічалися набагато раніше за вказаний вище період в різних країнах [7; 8].

В очисних вибоях шахта Донецького басейну конвеєри почали впроваджуватися з кінця першої декади ХХ століття. Це були скребкові, гойдальні та стрічкові конвеєри, а точніше, - якщо зважати на тодішню довжину вибою до 30 м, - в сучасному розумінні це були скребкові, гойдальні і стрічкові живильники. З кінця 20-х років ХХ століття почалося впровадження стрічкових конвеєрів на протяжних ділянках транспортної системи, - у якості основного транспортного засобу для похилих капітальних виробок шахт. Цьому сприяли друковані праці Д.Воловика, О.Некоза, Г.Ганфштенгеля та ін. інженерів і дослідників. В середині – другій половині

30-х років стрічкові конвеєри було впроваджено в якості основного дільничного транспорту з очисних і підготовчих вибоїв. Слід також зазначити, що сучасні вимоги до систем внутрішньошахтного транспорту передбачають 100 % конвеєризацію основного транспорту на дільничних і капітальних виробках, однак на всіх сучасних продуктивних шахтах конвеєризовано транспорт корисної копалини також і на магістральних виробках на рівні основного горизонту [9; 10; 11; 12].

В 70-х роках для забезпечення взаємозамінності деталей і вузлів стрічкових конвеєрів, в СРСР було розроблено їхній типажний ряд для вугільних шахт. Окремо виготовлялися конвеєри для горизонтальних виробок – Л, похилих виробок із транспортуванням вниз (бремсбергів) – ЛБ і похилих виробок для транспортування вверх (уклонів) – ЛУ. Крім того, конструкція конвеєрів залежала від типорозміру приводу (1 – малопотужні, 2 – середньої потужності, 3 – потужні) і ширини стрічки, яка позначалася в сантиметрах. Наприклад, конвеєр 1ЛУ100 – типажний, малопотужний, уклонний із шириною стрічки 1 м [13].

У 80-х роках в СРСР було розроблено уніфікований ряд стрічкових конвеєрів для вугільних шахт, концепція створення якого передбачала збірку конвеєра із уніфікованих деталей і блоків, які відрізнялися одні від одних лише шириною стрічки і типорозміром приводу. Наприклад, уніфікований малопотужний конвеєр цього ряду на ширину стрічки 1 м позначався як 1Л100У. Із розвалом СРСР кожна держава, яка утворилася в результаті цього розвалу, почала розробляти власний уніфікований ряд шахтних стрічкових конвеєрів, концепція якого майже не відрізняється від концепції радянського уніфікованого ряду. Для України позначення шахтних уніфікованих конвеєрів містять 4 типорозміри приводу (до трьох вищезазначених додається типорозмір 4 – надпотужні конвеєри) і ширину стрічки в міліметрах, - наприклад, 1Л1000. У випадку наявності додаткового (третього) приводного блоку, який встановлюється в хвості конвеєра, позначення такого конвеєра містить цифри «01» після позначення ширини стрічки, - 1Л1000-01.

Сучасні уніфіковані конвеєри виготовляються українськими машинобудівними підприємствами на ширину стрічки 0,65, 0,8, 1,0, 1,2 і 1,4 м (перша і остання ширина – на замовлення підприємства, для іншої зазначеної ширини стрічки конвеєри серійно виготовляються) [13].

Перевагами стрічкових конвеєрів гірничих підприємств, які визначають область їхнього застосування, є: висока автоматичність і безперервність дії; висока продуктивність; велика довжина транспортування і порівняно невисока потужність одного агрегату; практично відсутнє додаткове подрібнення кускового вантажу при транспортуванні; плавність і безшумність ходу; можливість транспортування вантажу під відносно великими кутами (для вугілля – до 16° при транспортуванні вниз і до 18° при транспортуванні вгору); простота оперативного управління; можливість перевезення людей; можливість проміжного розвантаження; низька металоємність. Недоліки стрічкових конвеєрів гірничих підприємств, які обмежують їхню область застосування: значна інтенсивність зношення конвеєрної стрічки, низька надійність, малий термін служби і висока вартість стрічки, що обмежує можливості застосування стрічкових конвеєрів у важких і складних умовах; обмежена область застосування по куту транспортування; складність роботи при викривленій трасі в плані, що визначає застосування таких конвеєрів із строго прямолінійною трасою; необхідність профілювання і надточного встановлення елементів ставу конвеєра; необхідність попереднього дроблення крупнокускового матеріалу через низьку надійність роликів; збільшення витрат при транспортуванні вантажу на великі відстані через необхідність резервування протяжних конвеєрів [11; 12; 13].

Стрічковий конвеєр шахти складається з приводного і натяжного пристроїв, стрічки і лінійного ставу конвеєра, завантажувального і розвантажувального пристроїв, а також допоміжного технологічного обладнання й апаратури керування, які забезпечують надійну та безпечну експлуатацію транспортної машини. Структуру стрічкового конвеєра наведено у графічній частині роботи [11].

1.2 Системи конвеєрного транспорту гірничих підприємств

Системою конвеєрного транспорту гірничого підприємства є сукупність засобів конвеєрного транспорту корисної копалини, пустої породи, допоміжних вантажів і людей, вузлів сполучення конвеєрного транспорту з іншими видами транспорту, допоміжного транспортного обладнання, а також системи керування конвеєрами і навантажувальними пунктами гірничого підприємства. Генеральне місце в системах конвеєрного транспорту гірничих підприємств займають саме стрічкові конвеєри, що зумовлено перевагами останніх. Конвеєри інших типів використовуються у разі неможливості використання у відповідних умовах стрічкових конвеєрів [10; 14].

Основою системи конвеєрного транспорту гірничого підприємства є конвеєрна лінія, - транспортно-технологічна ланка, що складається із двох і більше конвеєрів, які розташовані послідовно. Конвеєрна лінія може бути розгалуженою (обслуговує кілька технологічних ділянок) і нерозгалуженою (обслуговується одна або дві суміжні ділянки). Сучасні конвеєрні лінії гірничих підприємств інтенсивного ведення робіт є здебільш розгалуженими, і характеризуються максимальною концентрацією вантажопотоків, відносно невеликою протяжністю транспортних магістралей, відсутністю проміжних транспортних горизонтів та передавальних ланок, високою питомою вагою стаціонарних конвеєрних установок в лінії, наявністю бункерів та іншого перспективного обладнання в ланцюжку транспортування [14].

Використання систем конвеєрного транспорту на сучасних гірничих підприємствах дозволяє оперування високими вантажопотоками на конвеєрних лініях, ліквідує проблему відсутності порожнього рухомого складу в місці навантаження в потрібний момент часу, а також формування, розформування і переформування потягів і транспортних одиниць інших видів рухомого складу під час транспортування вантажу. Однак конвеєрним системам притаманні високі питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу. Крім того, стрічкові конвеєри потребують більш ретельного догляду і відповідного технічного обслуговування [10].

1.3 Системи приводу стрічкових конвеєрів гірничих підприємств

На гірничих підприємствах використовуються стрічкові конвеєри і конвеєрні лінії з асинхронним, асинхронно-синхронним приводом і з двигунами постійного струму. В підземних умовах в якості приводних двигунів стрічкових конвеєрів використовуються асинхронні машини в рудниковому виконанні з фазним і короткозамкненим ротором [11; 13].

За наявністю засобів і систем автоматизації конвеєрних ліній гірничих підприємств, розрізняють автоматизовані та неавтоматизовані конвеєри і конвеєрні лінії. Вимоги до сучасних систем конвеєрного транспорту гірничих підприємств передбачають використання автоматизованих конвеєрних ліній. В розімкнених автоматизованих системах керування електроприводами конвеєрів лінії виконуються основні операції керування лінією: послідовний пуск і останів конвеєрів, вимірювання швидкості та сходження стрічки, аварійне вимикання конвеєра вручну, а також за відсутності сигналу з датчика швидкості, спрацьовування датчика сходження стрічки і т.д. Відома низка варіантів облаштування автоматизованого керування конвеєрними лініями за допомогою серійно виготовлюваної та розробленої апаратури АУК.1М, АУК.2М, ПРЛ, УКЛ на релейно-контактних елементах, БИСУК – на безконтактних елементах і т.д. В замкнених системах автоматизованого керування, окрім наведених вище операцій, апаратура забезпечує раціоналізацію робочого режиму конвеєра відповідно до значення вхідного вантажопотоку. Як апаратуру даного класу для автоматизації конвеєрних ліній слід згадати комплекс УКМ.1 [11; 13; 15].

Крім того, замкнені системи керування електроприводом конвеєрних ліній на сучасних гірничих підприємствах можуть бути побудовані на використанні частотного регулювання, двох- і багатошвидкісних двигунів у регульованому приводі стрічкових конвеєрів. Значення робочої швидкості стрічки (двигуна) при такому регулюванні обирається за значенням вхідного вантажопотоку, причому максимальному вантажопотоку відповідає значення номінальної швидкості. Зі зниженням вхідного вантажопотоку при

ідеальному регулюванні знижується швидкість стрічки (двигуна), і її відносне значення, нормоване номінальною швидкістю, дорівнюватиме відносному значенню вхідного вантажопотоку, нормованому максимальним розрахунковим вантажопотоком [16].

За допомогою частотних перетворювачів із векторними і скалярними алгоритмами регулювання можна реалізувати плавне і ступінчасте регулювання швидкості стрічки конвеєра у широкому діапазоні, що відкриває можливість максимального зниження значення питомих енерговитрат на транспортування вантажу конвеєром з регульованим приводом. Однак у більшості випадків використання таких регуляторів швидкості пов'язане із застосуванням складних алгоритмів регулювання, - особливо, якщо мова йде про роботу конвеєра з робочою швидкістю, яка на порядок відрізняється від номінальної [17; 18].

Застосування двох- і багатошвидкісних двигунів у приводі стрічкових конвеєрів суттєво спрощує алгоритми керування, хоча обмежує діапазон регулювання швидкості значеннями останньої, яка відповідає високим значенням коефіцієнту корисної дії двигуна (0,2...0,5 від швидкості номінального режиму). Однак у даному випадку мова йде лише про ступінчасте регулювання швидкості стрічки. Найчастіше використовуються дво- або тришвидкісні двигуни, оскільки у двигунів на більшу кількість робочих швидкостей ускладнюється схема електричних з'єднань, зокрема – комутаційний пристрій, що забезпечує перехід електроприводу з однієї робочої швидкості на іншу [5; 17; 18].

1.4 Висновки до розділу 1

На сучасних вугільних шахтах транспортування корисної копалини забезпечується за допомогою конвеєрних ліній, які включають переважно стрічкові конвеєри уніфікованого ряду. Регулювання швидкості стрічки сучасних конвеєрів забезпечується за допомогою частотних перетворювачів або двох- чи багатошвидкісних двигунів у приводі.

2 ВИМОГИ ДО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1 Вимоги до електроприводу

До електроприводу підземного стрічкового конвеєра висуваються такі загальні та специфічні вимоги [11; 19]:

- плавний пуск і останов конвеєра, мінімізація перевантажень, ривків у стрічці та інших елементах механічної та електричної частини;
- обмеження динамічних зусиль у тяговому органі, значень моментів на елементах електричної та механічної частини конвеєра і прискорень, що визначаються приводним двигуном, в перехідних режимах;
- забезпечення потрібного значення моменту двигуна в усталених і перехідних режимах роботи конвеєрів;
- надійне зчеплення стрічки з приводними і не приводними барабанами;
- підтримання заданої для відповідного вантажопотоку швидкості робочого органу в усталеному режимі конвеєра;
- забезпечення тривалого режиму роботи двигунів приводу конвеєра при змінному навантаженні;
- можливість роботи конвеєра як у руховому, так і в генераторному режимі;
- забезпечення задоволення вимог з електробезпеки і вибухобезпеки для даного типу рудникового електрообладнання;
- надійність та економічність роботи конвеєра; забезпечення високих обсягів енергозбереження при транспортуванні вантажу конвеєром.

2.2 Вимоги до системи керування

До системи керування стрічковим конвеєром висуваються вимоги [19]:

- забезпечення автоматизованого, дистанційного і місцевого керування конвеєром із перемиканням режиму керування;
- можливість регулювання швидкості стрічки при зміні вхідного вантажопотоку на конвеєрі;

- забезпечення пониженої швидкості стрічки при скачуванні вантажу без потрапляння останнього на завантажувальний пристрій, низькому вхідному вантажопотоці, а також при проведенні огляду стрічки, ремонтно-підготовчих робіт, ревізії, налагодження тощо;
- забезпечення ручного аварійного вимикання конвеєра;
- черговість запуску (зустрічно вантажопотоку) і зупинки (за напрямом вантажопотоку) конвеєрів у лінії; вимикання конвеєрів, які розташовані за конвеєром, який раптово зупинився;
- перерозподіл навантаження і швидкості обертання між барабанами багатобарабанного приводу конвеєра при зміні завантаженості стрічки;
- узгодження експлуатаційних показників роботи конвеєра із показниками інших конвеєрів, параметрами і режимом роботи бункерних ємностей, навантажувальних і сортувальних пристроїв транспортного ланцюжка підприємства;
- захист конвеєра від пробуксовки на приводних барабанах, сходження стрічки з роликкоопор і барабанів, надмірних динамічних зусиль у ставі конвеєра в результаті поперечних і подовжніх коливань стрічки, резонансу в механічній частині транспортної машини;
- швидкодію і плавнодію спрацювання робочого й аварійного гальм, плавнодію стопорних пристроїв;
- можливість програмного налаштування системи регулювання швидкості стрічки;
- аварійне вимикання конвеєра при порушенні необхідного рівня електробезпеки і вибухобезпеки.

2.3 Висновки до розділу 2

Виконання перелічених вище вимог забезпечить надійну, економічну і безпечну експлуатацію стрічкового конвеєра гірничого підприємства і високий технічний рівень конвеєра, що експлуатується на підприємстві.

3. РОЗРОБКА ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ

3.1 Вступні зауваження

Розрахунок конвеєрної лінії здійснюється за таким алгоритмом: обирається ширина стрічки за продуктивністю і перевіряється за кускуватістю вантажу; попередньо обирається тип конвеєра; визначаються опори на протяжних ділянках траси конвеєра й оцінюється окружне тягове зусилля; визначаються характерні натяги та натяги стрічки в характерних точках; будується діаграма натягу стрічки і визначається попередня кількість конвеєрів у лінії; визначається установлена потужність приводу і уточнюється кількість послідовно встановлених конвеєрів у лінії [14].

3.2 Вибір ширини стрічки і типу конвеєра

Ширина стрічки за продуктивністю:

$$B = 1,1 \left(\sqrt{\frac{Q_p}{c v \rho \psi k_\beta}} + 0,05 \right), \quad (3.1)$$

де Q_p – розрахунковий годинний вантажопотік, т/год.,

$$Q_p = \frac{Q_{доб} k_H}{n_{зм} t_{зм} k_q}, \quad (3.2)$$

$Q_{доб}$ – добова продуктивність дільниці, т/добу; $Q_{доб}=2000$ т/добу;

k_H – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку; для конвеєра капітальної виробки приймаємо $k_H=1,5$;

$n_{зм}$ – кількість змін з роботи технологічного обладнання підприємства; приймається $n_{зм}=3$;

$t_{зм}$ – тривалість робочої зміни, год.; приймається $t_{зм}=6$ год.;

k_q – коефіцієнт машинного часу роботи транспортно-технологічного обладнання; для капітальної виробки приймається $k_q=0,8$,

$$Q_p = \frac{2000 \cdot 1,5}{3 \cdot 6 \cdot 0,8} = 208 \text{ т/год.};$$

c – коефіцієнт продуктивності, що залежить від жолобчастості стрічки, транспортованого матеріалу та умов роботи конвеєра; для уніфікованих гірничих конвеєрів приймається $c=550$;

v – швидкість стрічки, м/с; для капітального конвеєра попередньо приймається $v=2$ м/с;

ρ – насипна щільність вантажу, т/м³; для несортованого незбагаченого вугілля приймається $\rho=1,0$ т/м³;

ψ – коефіцієнт заповнення стрічки; приймається $\psi=0,7$;

k_β – коефіцієнт, що ураховує зміну продуктивності при зміні куту транспортування; для умов транспортування вверх при куті $\beta=8^\circ$ приймається $k_\beta=0,95$,

$$B = 1,1 \left(\sqrt{\frac{208}{550 \cdot 2 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 0,95}} + 0,05 \right) = 0,64 \text{ м,}$$

для умов капітальної виробки згідно із чинними галузевими стандартами попередньо приймається ширина стрічки $B=1,0$ м $> 0,64$ м, і перевіряється за кускуватістю вантажу за умовою:

$$B \geq 2a'_{\max} + 200, \text{ мм,} \quad (3.3)$$

де $a'_{\max}$ – максимальний розмір куску вантажу, мм; для умов комбайнового виймання приймається $a'_{\max}=250$ мм,

$$B \geq 2 \cdot 200 + 200 = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м} < 1,0 \text{ м},$$

остаточно приймається ширина стрічки $B=1,0 \text{ м}$.

Попередньо приймається конвеєр 2Л1000-01 із характеристикою [11]:

- ширина стрічки, $B=1 \text{ м}$;
- швидкість стрічки, $v=2 \text{ м/с}$;
- стрічка 2РШТК300ТГ, кількість прокладок, $i=3$;
- погонна маса стрічки, $q_0=12,0 \text{ кг/м}$;
- питоме розривне зусилля каркасу стрічки, $k_z=300 \text{ Н/мм}$;
- маса обертових частин верхньої роликоопори, $m'_p=20,7 \text{ кг}$;
- маса обертових частин нижньої роликоопори, $m''_p=21,6 \text{ кг}$;
- крок верхніх роликоопор, $l'_p=1,2 \text{ м}$;
- крок нижніх роликоопор, $l''_p=2,4 \text{ м}$;
- потужність приводних двигунів, $P=3 \times 110=330 \text{ кВт}$;
- сумарний кут обхвату приводних барабанів стрічкою, $\alpha=440^\circ=8,38 \text{ рад}$.

3.3 Визначення опорів руху та оцінка окружного тягового зусилля приводу

Опір руху стрічки на вантажній гілці:

$$W_{\epsilon} = gL \left[(q + q_0 + q'_p) \omega' \cos \beta + (q + q_0) \sin \beta \right], \text{ Н}, \quad (3.4)$$

де L – довжина транспортування, м; $L=1500 \text{ м}$;

q – погонна маса вантажу на стрічці, кг/м,

$$q = \frac{Q_p}{3,6v}, \text{ кг/м}, \quad (3.5)$$

$$q = \frac{208}{3,6 \cdot 2} = 28,9 \text{ кг/м};$$

q'_p – погонна маса обертових частин верхніх роlikоопор, кг/м,

$$q'_p = \frac{m'_p}{l'_p}, \text{ кг/м}, \quad (3.6)$$

$$q'_p = \frac{20,7}{1,2} = 17,3 \text{ кг/м};$$

ω' – коефіцієнт опору руху стрічки; приймається $\omega' = 0,035$;
 $\cos \beta = 0,99$; $\sin \beta = 0,14$,

$$W_6 = 9,8 \cdot 1500 \left[(28,9 + 12,0 + 17,3) 0,035 \cdot 0,99 + (28,9 + 12,0) 0,14 \right] = 113817 \text{ Н}.$$

Опір руху стрічки на порожній гілці:

$$W_n = gL \left[(q_0 + q''_p) \omega' \cos \beta - q_0 \sin \beta \right], \text{ Н}, \quad (3.7)$$

де q''_p – погонна маса обертових частин нижніх роlikоопор, кг/м,

$$q''_p = \frac{m''_p}{l''_p}, \text{ кг/м}, \quad (3.8)$$

$$q''_p = \frac{21,6}{2,4} = 9,0 \text{ кг/м},$$

$$W_n = 9,8 \cdot 1500 \left[(12,0 + 9,0) 0,035 \cdot 0,99 - 12,0 \cdot 0,14 \right] = -14000 \text{ Н.}$$

Орієнтовне значення окружного тягового зусилля:

$$W_0 = k(W_\epsilon + W_n), \text{ Н,} \quad (3.9)$$

де k – коефіцієнт, що ураховує місцеві опори; приймається $k=1,2$,

$$W_0 = 1,2[113817 + (-14000)] = 119780 \text{ Н} > 0,$$

тобто, привод стрічкового конвеєра працюватиме у руховому режимі.

3.4 Визначення натягів стрічки. Побудова діаграми натягів

Мінімальний допустимий натяг стрічки в точці збігання з останнього приводного барабану:

$$S_{зб}^{\min} = \frac{k_m W_0}{e^{\mu\alpha} - 1}, \text{ Н,} \quad (3.10)$$

де k_m – коефіцієнт запасу сил тертя; приймається $k_m=1,4$;

μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з барабаном; для футерованого барабану і умов вологої навколишньої атмосфери приймається $\mu=0,25$,

$$S_{зб}^{\min} = \frac{1,4 \cdot 119780}{2,72^{0,25 \cdot 8,38} - 1} = 23499 \text{ Н.}$$

Мінімальний допустимий натяг на вантажній гілці:

$$S_\epsilon^{\min} = 5gl'_p(q + q_0), \text{ Н,} \quad (3.11)$$

$$S_{\sigma}^{\min}=5 \cdot 9,8 \cdot 1,2(28,9+12,0)=2405 \text{ Н.}$$

Мінімальний допустимий натяг на порожній гілці:

$$S_n^{\min}=5gl'_p q_0, \text{ Н,} \quad (3.12)$$

$$S_n^{\min}=5 \cdot 9,8 \cdot 1,2 \cdot 12,0=706 \text{ Н.}$$

Максимальний допустимий натяг стрічки:

$$S_{np} = \frac{1000k_z iB}{m}, \text{ Н,} \quad (3.13)$$

де m – запас міцності стрічки; для вантажного конвеєра з гумотканевою стрічкою і малим кутом транспортування приймається $m=8,5$,

$$S_{np} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 1,0}{8,5} = 105882 \text{ Н.}$$

Визначаються натяги стрічки в характерних точках траси конвеєра:

- в точці збігання стрічки з останнього приводного барабана

$$S_1=S_{\sigma}^{\min}, \text{ Н,} \quad (3.14)$$

$$S_1=23499 \text{ Н;}$$

- в точці набігання стрічки на хвостовий барабан

$$S_2=S_1+W_n, \text{ Н,} \quad (3.15)$$

$$S_2=23499+(-14000)=9499 \text{ Н} > S_n^{\min}=706 \text{ Н;}$$

- в точці збігання стрічки з хвостового барабана

$$S_3 \approx 1,05 S_2, \text{ Н}, \quad (3.16)$$

$$S_3 \approx 1,05 \cdot 9499 = 9974 \text{ Н} > S_e^{\min} = 2405 \text{ Н};$$

- в точці набігання на перший приводний барабан

$$S_4 = S_3 + W_e, \text{ Н}, \quad (3.17)$$

$$S_4 = 9974 + 113817 = 123791 \text{ Н}.$$

Максимальний натяг: $S_{\max} = S_4 = 123791 \text{ Н} > S_{np} = 105882 \text{ Н}$, і оскільки відносна різниця між значеннями $S_{\max}$ і S_{np} не перевищує характерну позначку $(S_{\max} - S_{np}) / S_{\max} = (123791 - 105882) / 123791 = 0,145 = 14,5 \% < 20 \%$, то приймаємо за фактором міцністю стрічки збільшуємо кількість прокладок до $i=4$, і тому максимальний допустимий натяг стрічки зростає до

$$S_{np} = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 1,0}{8,5} = 141176 \text{ Н} > S_{\max} = 123791 \text{ Н},$$

і в цьому випадку міцність стрічки витримується.

Будується діаграма натягу стрічки, яку наведено на рисунку 3.1.

З рисунку 3.1 видно, що перевірочна вісь міцності стрічки лежить нижче за вісь відліку, якою, згідно із даними розрахунку є вісь пробуксовки. То ж із діаграми натягу випливає, що за фактором міцності стрічки в лінії достатньо одного конвеєра.

3.5 Визначення потужності приводу, вибір приводного двигуна і встановлення кількості конвеєрів у лінії

Уточнене значення окружного тягового зусилля приводу конвеєра:

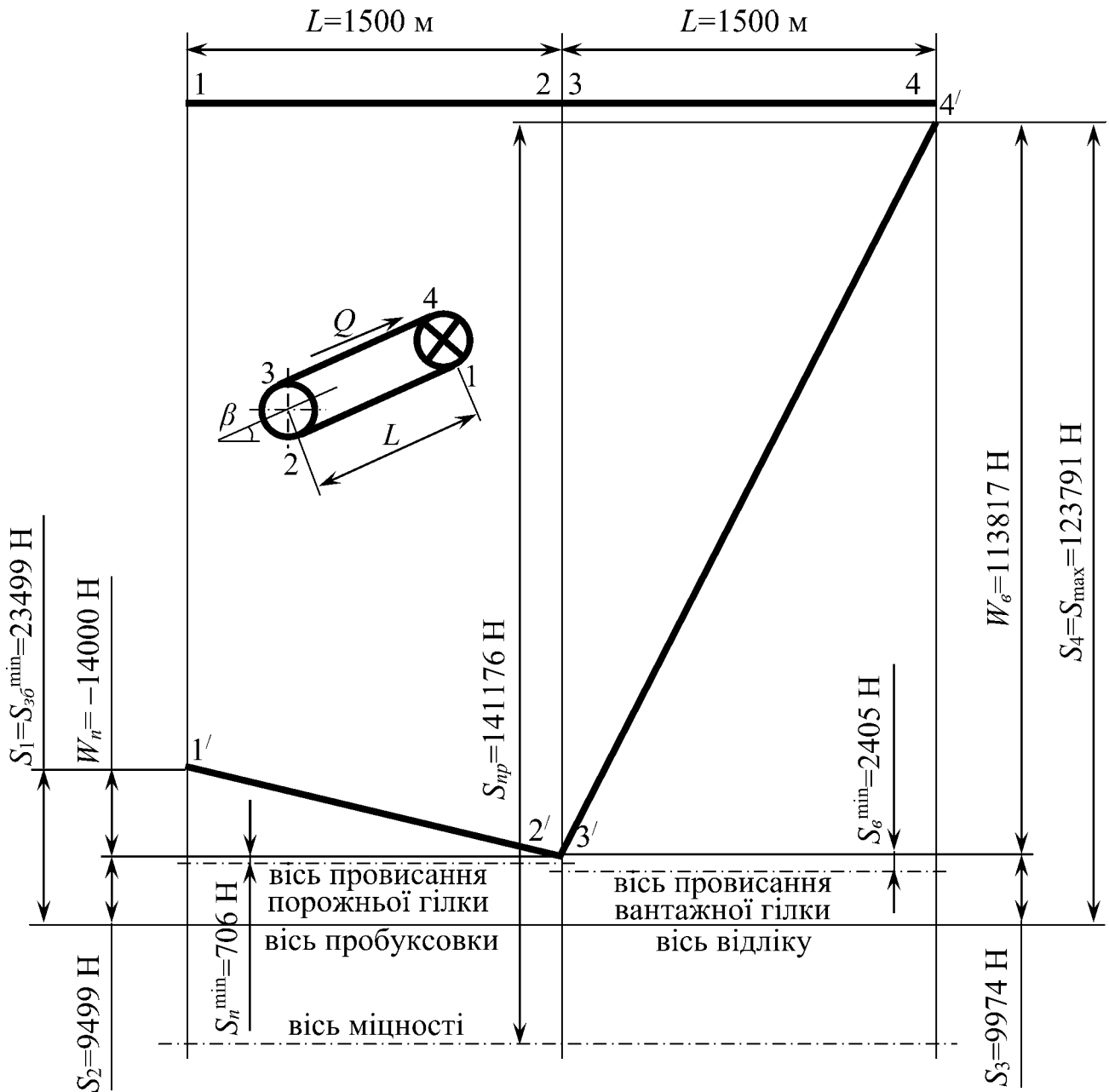


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема і діаграма натягу стрічки конвеєра з розрахунковим вантажопотоком 208 т/год. довжиною 1500 м, установленого під кутом 8° (транспортування вверх)

$$W_0 = S_4 - S_1 + 0,05(S_4 + S_1), \text{ Н}, \quad (3.18)$$

$$W_0 = 123791 - 23499 + 0,05(123791 + 23499) = 107657 \text{ Н}.$$

Потрібна потужність приводу

$$N_0 = \frac{W_0 v}{1000 \eta_p}, \text{ кВт}, \quad (3.19)$$

де η_p – коефіцієнт корисної дії редуктора; приймається $\eta_p = 0,95$,

$$N_0 = \frac{107657 \cdot 2}{1000 \cdot 0,95} = 227 \text{ кВт}.$$

Установлена потужність приводних двигунів:

$$N_y = k_M N_0, \text{ кВт}, \quad (3.20)$$

де k_M – коефіцієнт запасу потужності; приймається $k_M = 1,2$,

$$N_y = 1,2 \cdot 227 = 272 \text{ кВт} < P = 330 \text{ кВт},$$

за фактором потужності приводу достатньо одного конвеєра в лінії.

Остаточно приймається 1 конвеєр в лінії, що відповідає умовам міцності стрічки і потужності приводу.

Остаточно приймається 3 двигуни 2BP-280S-4 із характеристикою [11]:

- номінальна потужність, $P_n = 110 \text{ кВт}$;
- синхронна частота обертання, $n_0 = 1500 \text{ хв.}^{-1}$;
- ковзання номінального режиму, $s_n = 1 \%$;
- коефіцієнт корисної дії номінального режиму, $\eta_{\text{дв.н}} = 93,8 \%$;
- коефіцієнт потужності номінального режиму, $\cos \varphi_n = 0,9$;

- кратність пускового моменту, $k_n=2,1$;
- кратність пускового струму, $k_I=6,6$;
- перевантажувальна здатність, $\lambda=3,0$;
- маховий момент ротора, $GD_p^2=115 \text{ Н}\cdot\text{м}^2$;
- маса, $m=892 \text{ кг}$.

3.6 Висновки до розділу 3

За результатами технологічного розрахунку стрічкового конвеєра прийнято 1 конвеєр 2Л1000-01, встановлений у похилій виробці із потужністю приводних двигунів $P=3\times 110=330 \text{ кВт}$. Обрано двигуни серії 2BP-280S-2.

4 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДУ. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ. СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

4.1 Вступні зауваження

Здійснюється розрахунок і вибір елементів електроприводу конвеєра: редуктор, приводний барабан, гальмівний пристрій, натяжний пристрій. Після компоновки електроприводу конвеєра здійснюється вибір способу керування швидкості транспортування і синтез системи керування стрічковим конвеєром.

4.2 Розрахунок елементів механічної частини електроприводу

Для розрахунку електроприводу і вибору обладнання для приводу обраного стрічкового конвеєра застосовуються такі вихідні дані [14].

Діаметр барабану:

$$D \geq i k_H + 2\delta, \text{ мм}, \quad (4.1)$$

де k_H – коефіцієнт, що ураховує режим роботи конвеєра; $k_H=150$;

δ – товщина шару футерівки, мм; $\delta=25$ мм,

$$D \geq 4 \cdot 150 + 2 \cdot 25 = 650 \text{ мм},$$

приймаємо барабан діаметром $D=850$ мм=0,85 м.

Обертний момент на валу приводного барабана:

$$M = 0,5 W_0 D, \quad (4.2)$$

$$M = 0,5 \cdot 119780 \cdot 0,85 = 50907 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частота обертання приводного барабану:

$$n_{\delta}=60v/(\pi D), \text{ хв.}^{-1}, \quad (4.3)$$

$$n_{\delta}=60 \cdot 2 / (3,14 \cdot 0,85) = 45,0 \text{ хв.}^{-1}.$$

Розрахункове передавальне число редуктора:

$$i=n_s(1-0,01s_n)/n_{\delta}, \quad (4.4)$$

$$i=1500(1-0,01 \cdot 1)/45,0=33,$$

приймаємо редуктор ЦДН-630 із навантаженням на тихохідному валу $M_{\delta on}=71000 \text{ Н} > M=50907 \text{ Н}$ і передавальним числом $i=31,5$ [13].

Фактична швидкість обертання приводного барабана:

$$n_{\delta}=n_s(1-0,01s_n)/i, \text{ хв.}^{-1}, \quad (4.5)$$

$$n_{\delta}=1500(1-0,01 \cdot 1)/31,5=47,1 \text{ хв.}^{-1}.$$

Гальмівне зусилля на стопорному пристрої:

$$W_{\varepsilon}=2gqL\sin\beta-W_0, \text{ Н}, \quad (4.6)$$

$$W_{\varepsilon}=2 \cdot 9,8 \cdot 28,9 \cdot 1500 \cdot 0,14 - 119780 = -828 \text{ Н} < 0,$$

стопорний пристрій не потрібен.

Зусилля на гальмівному пристрої:

$$W_{\varepsilon}=gqL\sin\beta-c_{\varepsilon}[W_0-gqL(\omega'\cos\beta+\sin\beta)], \text{ Н}, \quad (4.7)$$

де c_z – коефіцієнт, що ураховує можливість зниження гальмівного зусилля; $c_z=0,6$,

$$W_z=9,8 \cdot 28,9 \cdot 1500 \cdot 0,14 - 0,6[119780 - 9,8 \cdot 28,9 \cdot 1500(0,035 \cdot 0,99 + 0,14)] = 45583 \text{ Н.}$$

Гальмівний момент:

$$M_z = 0,5 W_z D (i \eta_z)^{-1}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.8)$$

де η_z – коефіцієнт корисної дії гальмівного пристрою; приймається $\eta_z=0,95$,

$$M_z = 0,5 \cdot 45583 \cdot 0,85 (31,5 \cdot 0,95)^{-1} = 647 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

приймаємо колодкове гальмо ТКГ-300 із номінальним гальмівним моментом $M_z=800 \text{ Н} \cdot \text{м} > 647 \text{ Н} \cdot \text{м}$ [13].

Статичний натяг канату натяжного пристрою [20]:

$$S_n = 2 \zeta S_1, \text{ Н}, \quad (4.9)$$

де ζ – коефіцієнт запасу; $\zeta=1,1$,

$$S_n = 2 \cdot 1,1 \cdot 23499 = 51698 \text{ Н.}$$

Розрахунковий натяг канату натяжного пристрою при пуску конвеєра:

$$S_{1n} = 2 \zeta S_n, \text{ Н}, \quad (4.10)$$

$$S_{1n} = 2 \cdot 1,1 \cdot 51698 = 113735 \text{ Н.}$$

Розрахункове зусилля натяжної лебідки:

$$F_n = S_{1n} (i_n \eta_n)^{-1}, \text{ Н}, \quad (4.11)$$

де i_n – кратність поліспасту, $i_n=4$;

η_n – коефіцієнт корисної дії поліспасту, $\eta_n=0,98$,

$$F_n = 113735 (4 \cdot 0,98)^{-1} = 29014 \text{ Н},$$

приймаємо натяжну лебідку ШВА-18000 із паспортним тяговим зусиллям $F_n = 39000 \text{ Н} > 29014 \text{ Н}$ [21].

Для швидкохідного валу обираємо пальцеву муфту на обертовий момент

$$M_n = 1,5 W_0 D / (2 i \eta_p), \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.12)$$

$$M_n = 1,5 \cdot 119780 \cdot 0,85 / (2 \cdot 31,5 \cdot 0,95) = 3402 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

приймаємо муфту УТ000021636 із номінальним моментом $M_n = 4552 \text{ Н} \cdot \text{м} > 3402 \text{ Н} \cdot \text{м}$ [22].

Для тихохідного валу приймаємо зубчасту муфту на обертовий момент

$$M_z = 1,5 W_0 D / 2, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.13)$$

$$M_z = 1,5 \cdot 119780 \cdot 0,85 / 2 = 52104 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

приймаємо муфту МЗ-10 із номінальним крутним моментом $M_z = 63000 \text{ Н} \cdot \text{м} > 52104 \text{ Н} \cdot \text{м}$ [23].

4.3 Перевірка двигунів стрічкового конвеєра за нагріванням та умовою пуску

Статичний момент стрічкового конвеєра визначиться по формулі:

$$M_c = 9550 N_y i [n_s (1 - 0,01 s_n)]^{-1}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.14)$$

$$M_c = 9550 \cdot 272 \cdot 31,5 [1500 (1 - 0,01 \cdot 1)]^{-1} = 55094 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент конвеєра, приведений до валу приводного двигуна:

$$M_c' = M_c (i \eta_p)^{-1}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.15)$$

$$M_c' = 55094 (31,5 \cdot 0,95)^{-1} = 1841 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приймаємо тривалий режим роботи двигунів конвеєра. Оскільки конвеєр встановлено після бункера, то вважаємо навантаження двигунів конвеєра умовно постійним. Завдяки забезпечення плавності пуску і перерозподілу кутової швидкості приводних двигунів вважаємо перерозподіл навантаження між двигунами рівномірним. Отже, конвеєрні двигуна працюють у тривалому режимі із умовно постійним навантаженням [19].

Статичний момент на валу кожного з двигунів у режимі повного завантаження конвеєра:

$$M_{c1}' = M_c' / 3, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.16)$$

$$M_{c1}' = 1841 / 3 = 610 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент на валу кожного з двигунів у режимі неробочого ходу конвеєра:

$$M_{c1x}' = M_{c1}' W_x W_0^{-1}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.17)$$

де W_x – окружне тягове зусилля неробочого ходу конвеєра, Н,

$$W_x = gL(2q_0 + q_p' + q_p'')\omega' \cos\beta, \text{ Н}, \quad (4.18)$$

$$W_x = 9,8 \cdot 1500(2 \cdot 12,0 + 17,3 + 9,0)0,035 \cdot 0,99 = 20527 \text{ Н},$$

$$M_{c1x}' = 610 \cdot 20527 / 119780 = 105 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Двигуни приводу конвеєра запускаються лише за незавантаженої стрічки, тобто конвеєр під час запуску знаходиться в режимі холостого ходу.

Час пуску двигуна визначимо шляхом графо-аналітичного інтегрування основного рівняння електроприводу [17] із розбиттям електромеханічної характеристики обраного асинхронного двигуна на $n=100$ ділянок, $i=(1 \dots n)$, а саме:

- момент двигуна в i -й проміжок часу перехідного процесу

$$M_i = 2\lambda M_n / (s_{кр} s_i^{-1} + s_i s_{кр}^{-1}), \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.17)$$

де M_n – номінальний момент двигуна, Н·м,

$$M_n = 9550P / [n_s(1 - 0,01s_n)], \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.18)$$

$$M_n = 9550 \cdot 110 / [1500(1 - 0,01 \cdot 1)] = 708 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$s_{кр}$ – критичне ковзання двигуна, $s_{кр} = 0,03$;

- динамічний момент на i -й ділянці механічної характеристики двигуна:

$$M_{di} = M_i - M_{c1x}', \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4.19)$$

- прирощення частоти обертання двигуна на i -й ділянці його характеристики оцінюється як

$$\Delta n_i = -n_s(s_i - s_{i-1}), \text{ хв.}^{-1}, \quad (4.20)$$

- частота обертання двигуна:

$$n_i = \sum \Delta n_i, \text{ хв.}^{-1}, \quad (4.21)$$

- час знаходження на i -й ділянці характеристики:

$$\Delta t_i = J_{\partial\partial} \pi \Delta n_i / (30 M_{\partial i}), \text{ с}, \quad (4.22)$$

де $J_{\partial\partial}$ – момент інерції конвеєра, приведений до валу ротора двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, без урахування інерції роликів,

$$J_{\partial\partial} \approx G D_p^2 / (4g) + 2J_{\partial} / i^2 + 600 g L q_0 v^2 / [\pi^2 n_s^2 (1 - 0,01 s_n)^2], \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (4.33)$$

де J_{∂} – момент інерції барабана, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{\partial} = 40 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$,

$$\begin{aligned} J_{\partial\partial} &= 115 / (4 \cdot 9,8) + 2 \cdot 40 / 31,5^2 + 600 \cdot 9,8 \cdot 1500 \cdot 12,0 \cdot 2^2 / [3,14^2 \cdot 1500^2 (1 - 0,01 \cdot 1)^2] = \\ &= 22,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \end{aligned}$$

- загальний час перехідного процесу:

$$t_i = \sum \Delta t_i, \text{ с}. \quad (4.34)$$

На рисунку 4.1 наведено електромеханічну характеристику конвеєрного двигуна, статичного і динамічного моменту під час запуску стрічкового

конвеєра (рис. 4.1-а), а також графік зміни моменту двигуна і частоти його обертання під час пуску конвеєра без вантажу на стрічці.

З рисунку 4.1-б випливає, що загальний очікуваний час пуску двигуна при незавантаженому конвеєрі складає $t_n=22,5$ с.

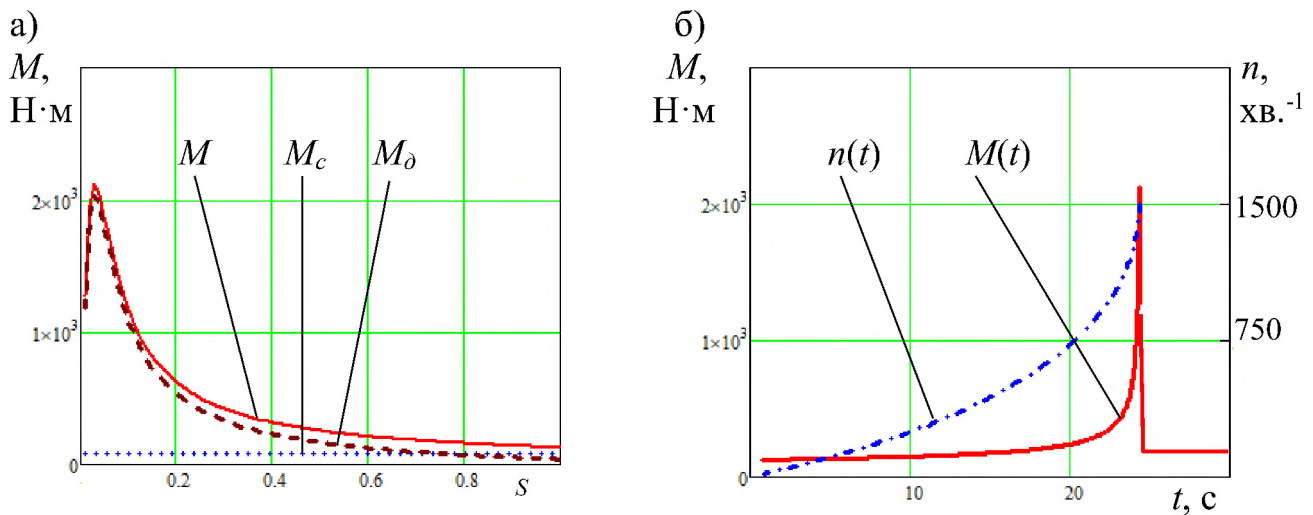


Рисунок 4.1 – Механічні характеристики двигуна, конвеєра і динамічного моменту (а), графік зміни частоти обертання двигуна і моменту останнього під час пуску конвеєра

Середнє значення динамічного моменту двигуна за час пуску конвеєра становитиме

$$M_{d.cp} = M_{cp} - M_{clx}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.35)$$

де M_{cp} – середній момент двигуна, Н·м, в програмному середовищі MathCAD 15 визначається $M_{cp}=442$ Н·м,

$$M_{d.cp} = 442 - 105 = 337 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_n = 9550P / [n_s(1 - 0,01s_n)], \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (4.36)$$

$$M_n = 9550 \cdot 110 / [1500(1 - 0,01 \cdot 1)] = 708 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент двигуна при зниженій на 20 % напрузі

$$M_n' = 0,8^2 k_n M_n, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.36)$$

$$M_n' = 0,8^2 \cdot 2,1 \cdot 708 = 952 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оскільки $M_n' = 952 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{cp} = 442 \text{ Н} \cdot \text{м}$, двигуни конвеєра запускатимуться.

Перевірка конвеєрних двигунів за нагріванням не виконується, оскільки навантаження на стрічці підбункерного конвеєра вважається умовно постійним і таким, що визначається розрахунковим вхідним вантажопотоком. Нерівномірність вантажопотоку визначатиметься зсувом циклів виймання вугілля у вибоях, які вантажать вугілля в бункер [19].

4.4. Концептуальні засади вибору системи регулювання швидкості стрічки

Регулювання швидкості стрічки здійснюється в сторону її зменшення з метою максимального заповнення робочого перерізу тягового органу, максимального збільшення завантаженості конвеєра і як наслідок – підвищення коефіцієнту корисної дії конвеєра і зниження питомих енерговитрат на транспортування вантажу за низького вантажопотоку.

Система регулювання швидкості конвеєра має забезпечувати надійну та економічну роботу магістрального стрічкового конвеєра, на який потрапляє сипкий вантаж з бункера (див також розділ 2).

Згідно із завданням, на підбункерний конвеєр працюють два аналогічні очисні вибої інтенсивного вуглевидобутку, продуктивністю 1000 т/добу кожний. Цикли роботи очисних вибоїв та потрапляння вугілля на конвеєр з двох вибоїв у загальному випадку не співпадають у часі. На етапі концептуального проектування підбункерного конвеєра вплив режимів виймання вугілля у вибоях не ураховується.

Між надбункерними і підбункерними конвеєрами розташовано гірничий бункер, який розраховано на 1 год. безперервної роботи двох очисних вибоїв, тобто ємність бункера складає

$$V_{\text{б}} = 2Q_{\text{доб}}, \text{ т}, \quad (4.37)$$

$$V_{\text{б}} = 1 \cdot 2000 = 2000 \text{ т.}$$

Орієнтовний час наповнення бункера – 1 год.

Бункер, з якого вугілля потрапляє безпосередньо на стрічковий конвеєр, має випускний отвір, не регульований за продуктивністю, і продуктивність його розвантаження, яка визначається швидкістю витікання вантажу з бункера, в першому наближенні співпадає із розрахунковим вантажопотоком на конвеєрі. Тому укрупнено можливі дві ситуації функціонування бункера: випускний отвір закритий (наповнення) і випускний отвір відкритий (завантаження конвеєра). В останньому випадку режим роботи підбункерного стрічкового конвеєра буде продуктивним, - тобто, на ньому буде розташований сипкий вантаж. Крім того, продуктивним режимом роботи конвеєра вважатимемо режим скачування вантажу, коли на конвеєр з бункера не потрапляє вантаж (бункер закритий).

Із урахуванням вищесказаного, укрупнено можна визначити чотири можливі продуктивні режими роботи підбункерного конвеєра:

- бункер завантажений і відкритий, незалежно від кількості працюючих вибоїв і поточного потрапляння вугілля в бункер – здійснюється розвантаження бункера із розрахунковим вхідним вантажопотоком;
- бункер порожній і відкритий, у бункер і на конвеєр потрапляє вугілля з двох очисних вибоїв, вхідний вантажопотік конвеєра – розрахунковий;
- бункер порожній і відкритий, у бункер і на конвеєр потрапляє вугілля з одного очисного вибою, вантажопотік конвеєра – половина від значення розрахункового вантажопотоку;

- бункер закритий, конвеєр скачує вантаж, вхідний вантажопотік відсутній.

Перші два варіанти функціонування підбункерного конвеєра передбачають наявність максимальної (номінальної) швидкості стрічки, останні два – передбачають можливість зниження її швидкості. Оскільки очисні вибої, що видають вугілля на транспортний ланцюжок підприємства, ідентичні один одному, то раціонально низьку швидкість конвеєра встановити на позначці $0,5v=0,5\cdot 2=1$ м/с. Її слід застосовувати у разі скачування вантажу та відкритого бункера і роботі одного вибою на бункер.

Ступінчасте регулювання швидкості стрічки конвеєра є набагато простішим, аніж її безперервне регулювання частотними регуляторами, і з використанням економічних способів регулювання електроприводу може дати суттєву економію за витратами електроенергії.

Таким чином, виходячи із гірничо-технічних умов, обирається ступінчасте регулювання швидкості стрічки конвеєра із забезпеченням низької (1 м/с) і високої (2 м/с) швидкості із їхнім співвідношенням як 1:2. Низька швидкість стрічки конвеєра забезпечуватиметься при відкритому бункері та роботі одного вибою на бункер, висока – при розвантаженні бункера і відкритому бункері та роботі двох вибоїв на бункер.

Здійснювати таке регулювання можливо у два способи, які вважаються економічними та виключають використання додаткових електричних машин в електроприводі: використання двошвидкісних двигунів зі співвідношенням низької і високої швидкостей як 1:2, а також двоступінчастого регулювання швидкості двигуна за допомогою частотного перетворювача. Другий спосіб забезпечуватиме можливість як ступінчастого зниження швидкості стрічки, так і плавного пуску конвеєра в перехідних режимах, в т.ч. пуск завантаженого конвеєра [5; 17].

Таким чином, обирається частотне регулювання приводними двигунами для забезпечення плавного пуску стрічкового конвеєра, а також ступінчастого регулювання швидкості стрічки із співвідношенням низької та високої швидкостей стрічки як 1:2.

4.5 Розробка функціональної схеми системи керування електроприводом стрічкового конвеєра

Система керування електроприводом конвеєра має забезпечувати зворотній зв'язок зі швидкістю обертання ротора приводного двигуна. Оскільки між двигуном і приводним барабаном при нормальній роботі конвеєра існує жорсткий зв'язок (з'єднувальні муфти, зубчасті колеса), то враховуючи пропорційність кутових швидкостей двигуна і барабана, вимірюватиметься швидкість обертання приводного барабану за допомогою тахогенераторного датчика УПДС, який притискатиметься до барабана. Другий датчик УПДС, який притискатиметься до стрічки на неробочій гілці приводної станції конвеєра, буде використовуватися в комплексі із попереднім датчиком для контролю пробуксовки стрічки [11; 13; 19].

Оскільки система керування має забезпечувати можливість пуску як незавантаженого, так і завантаженого конвеєра, то має передбачатися зворотній зв'язок і за струмом двигунів, який вимірюється датчиками струму. Це потрібно для забезпечення плавності запуску конвеєра, унеможливлення хибного спрацювання струмових захистів під час пуску. Таким чином, система керування повинна мати два зворотні зв'язки: за струмом і за швидкістю обертання двигуна. Оскільки передбачена стабілізація швидкості та струму на рівні заданих значень, обидва зворотні зв'язки системи керування мають бути від'ємними [19].

На рисунку 4.2 наведена структура електроприводу стрічкового конвеєра, на якій представлені основні елементи електричної, механічної, електронної та інформаційної підсистем приводу.

З рисунку 4.2 випливає, що загальний коефіцієнт корисної дії блоку регульованого електроприводу стрічкового конвеєра визначатиметься добутком коефіцієнтів корисної дії електричної мережі, регулятора швидкості, приводного двигуна, редуктора, механічної частини конвеєра, а система керування має забезпечувати високі значення коефіцієнтів корисної дії складових елементів приводу і електроприводу в цілому.

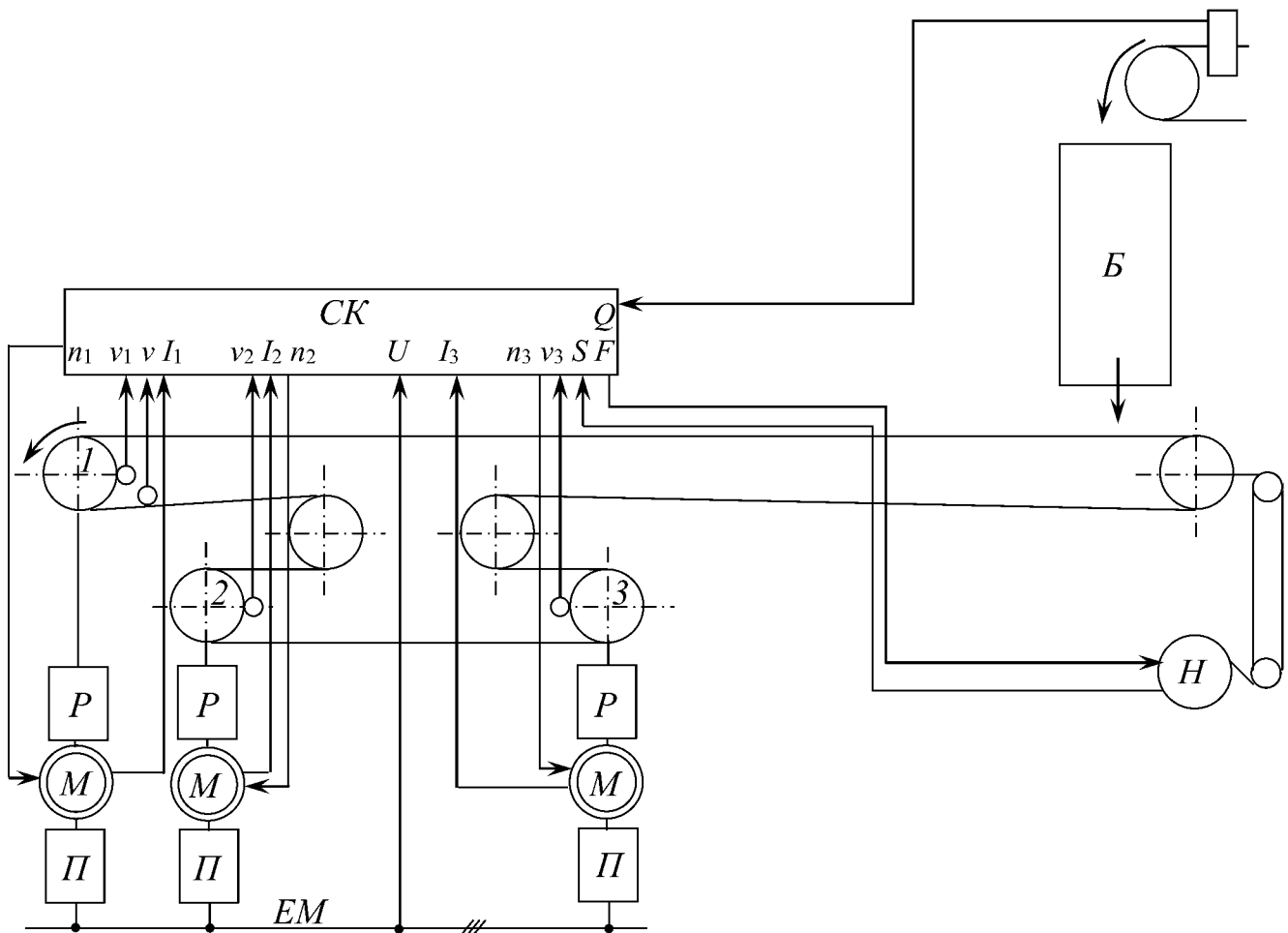


Рисунок 4.2 – Структура регульованого приводу стрічкового конвеєра: елементи: 1, 2, 3 – номери приводних барабанів, ЕМ – електрична мережа, Π – перетворювач, М – асинхронний двигун, Р – редуктор, Н – натяжний пристрій, Б – бункер; параметри: v – швидкість стрічки, v_i – лінійна швидкість i -го барабана, I_i – струм i -го двигуна, n_i – частота обертання i -го барабана, Q – вантажопотік, S – натяг стрічки, F – зусилля лебідки

На рисунку 4.3 наведено структуру системи керування одного приводного блоку стрічкового конвеєра [19]. Слід мати на увазі, що система керування узгоджує роботу трьох приводних блоків конвеєра.

Реалізується роздільне керування: на інвертор і випрямляч перетворювача частоти подаються сигнали різної інтенсивності, співвідношення яких регулюється системою керування [19].

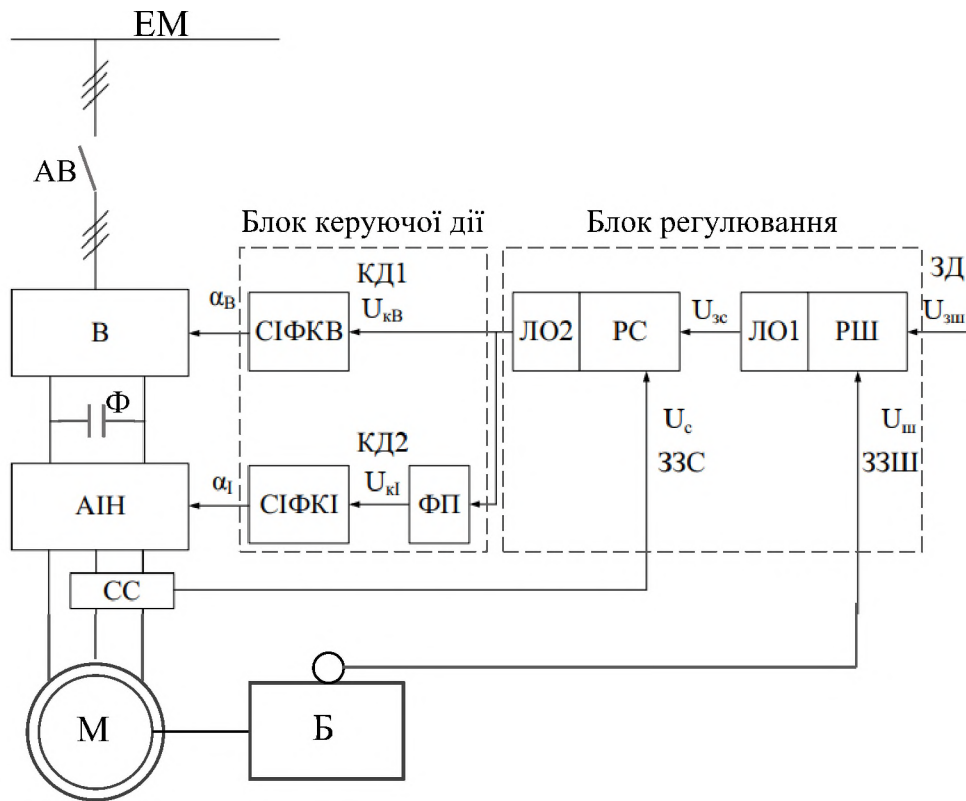


Рисунок 4.3 – Структурна схема системи керування приводного блоку стрічкового конвеєра [19]

На структурній схемі системи керування позначені: ЕМ – електрична мережа, АВ – автоматичний вимикач, В – регульований вентиль, Ф – фільтр, АІН – автономний інвертор напруги, СС – сенсор струму, СІФКВ, СІФКІ – система імпульсно-фазового керування випрямлячем і інвертором відповідно, КД1, КД2 – керуюча дія випрямляча й інвертора відповідно, ФП – фазовий перетворювач, ЛО1, ЛО2 – ланки обмеження сигналів на виході регуляторів швидкості та струму, відповідно, РШ, РС – регулятори швидкості і струму відповідно, ЗД – задаюча дія, ЗЗШ, ЗЗС – зворотній зв'язок по швидкості та струму відповідно, М – асинхронний двигун, Б – барабан конвеєра із датчиком швидкості. Параметри: α_B – кут керування випрямителя, α_I – кут керування інвертора, $U_{зм}$ – напруга задання швидкості; $U_{ш}$ – напруга зворотного зв'язку від датчика швидкості; $U_{зс}$ – напруга задання струму; U_c – напруга зворотного зв'язку від сенсора струму; $U_{кв}$ – напруга керування випрямлячем; $U_{кІ}$ – напруга керування інвертором [19].

Функціональний перетворювач, застосований у структурній схемі системи керування, формує керуючий сигнал на інвертор у відповідності із прийнятим законом керування [17; 19].

4.6 Розрахунок випрямляча

Регульований випрямляч призначений для формування величини амплітуди напруги живлення і будується за трифазною мостовою схемою. Обирається за допустимою зворотною напругою і максимально допустимим середнім струмом [17; 19].

Максимальна амплітуда напруги на тиристорах, В,

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{з.н}} \cdot U_{\text{л}}, \quad (4.38)$$

де $k_{\text{з.н}}$ – коефіцієнт запасу по напрузі, $k_{\text{з.н}}=1,3$;

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга мережі, $U_{\text{л}}=660$ В,

$$U_{\max}=1,44 \cdot 1,3 \cdot 660=1236 \text{ В.}$$

Середня сила струму тиристора

$$I_{\text{cp}}=k_{\text{з.с}}k_{\text{н}}I_{\text{н}}, \text{ А}, \quad (4.39)$$

де $k_{\text{з.с}}$ – коефіцієнт запасу по струму, $k_{\text{з.с}}=1,5$;

$I_{\text{н}}$ – номінальний струм двигуна, А,

$$I_{\text{н}}=1000P/(1,73U_{\text{л}}), \text{ А}, \quad (4.40)$$

$$I_{\text{н}}=110000/(1,73 \cdot 660)=96,3 \text{ А},$$

$$I_{\text{cp}}=1,5 \cdot 2,1 \cdot 96,3=303 \text{ А.}$$

Обирається тиристор Т-181-100-13 на зворотну напругу $U_{\max}=1300 \text{ В} > 1236 \text{ В}$, струм $I_{cp}=100 \text{ А} > 96,3 \text{ А}$ [24].

4.7 Розрахунок ємнісного фільтру

Ємність конденсатора згладжувального фільтру [19]

$$C_{\phi}=I_H/(2,214U_Hk_n\omega_0), \text{ Ф}, \quad (4.41)$$

де k_n – коефіцієнт пульсації, $k_n=0,1$;

ω_0 – колова частота напруги живлення, $\omega_0=104,3 \text{ с}^{-1}$,

$$C_{\phi}=96,3/(2,214 \cdot 660 \cdot 0,1 \cdot 104,3)=6,32 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}.$$

Приймаємо батарею з конденсаторів В32776G1126K000, номінальна напруга – 1300 В [25].

4.8 Розрахунок інвертора

Вибір транзисторів інвертора напруги здійснюється за максимальною силою струму через перехід емітер-колектор у відкритому стані транзистора і максимальною напругою для даного переходу [19].

Максимальна сила струму через перехід:

$$I_{\max}=k_{з.с}k_{o.x}k_nI_H, \text{ А}, \quad (4.2)$$

де $k_{o.x}$ – коефіцієнт, який ураховує охолодження тиристора, $k_{o.x}=1,5$,

$$I_{\max}=1,5 \cdot 1,5 \cdot 2,1 \cdot 96,3=445 \text{ А}.$$

Максимальна напруга переходу $U_{\max}=1236 \text{ В}$.

Застосовуємо транзистори FGH30S130P на напругу переходу емітер-колектор $U_{\max}=1300\text{ В}>1236\text{ В}$ [26].

4.9 Висновки до розділу 4

Для приводу стрічкового конвеєра обрано редуктор ЦДН-630 на передавальне число 31,5, колодкове гальмо ТКГ-300, з'єднувальні муфти швидкохідного і тихохідного валів, а також лебідку натяжного пристрою ШВА-18000 із поліспастом кратністю 4.

Розроблено структуру системи керування приводом конвеєра із частотним регулюванням швидкості стрічки, яка може використовуватися в комплексі із серійною апаратурою автоматизації АУК.1М і дозволяє двоступінчасте регулювання швидкості конвеєра в усталеному режимі його роботи, а також забезпечує плавний пуск і гальмування конвеєра в перехідних режимах.

Обрано силові тиристори випрямляча частотного перетворювача (Т-181-100-13), конденсатори згладжувального фільтру ланки постійного струму (В32776G1126K000) та тиристори інвертора напруги (FGH30S130P).

5 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КОНВЕЄРА НА БАЗІ САПР

5.1 Вступні зауваження

Моделювання електромеханічної системи підземного підйому здійснюється в програмному середовищі MathCAD 15 з метою визначення очікуваного економічного ефекту від впровадження частотного регулювання асинхронного електроприводу стрічкового конвеєра. Передбачене ступінчасте регулювання швидкості стрічки (співвідношення низької та високої швидкостей як 1:2) в усталеному режимі та забезпечення плавного запуску конвеєра за допомогою частотного перетворювача.

Основні гіпотези розробки математичної моделі [27]:

- 1) на енергоспоживання при транспортуванні сипкого вантажу стрічковим конвеєром впливають технологічні та конструктивні параметри транспортної установки;
- 2) доцільність регулювання швидкості стрічки за фактором мінімізації енергоспоживання визначається заповненістю стрічки, зі зростанням завантаженості стрічки зростає енергоефективність функціонування конвеєра.

5.2 Основні припущення, що застосовані в математичній моделі

Під час розробки математичної моделі застосовані такі припущення:

- конвеєр працює із мінімальною кількістю вмикань-вимикань, тривалість його роботи визначається розрахунковим машинним часом роботи за робочу зміну;
- тривалість перехідних процесів є нескінченно малою порівняно із тривалістю періодів усталеної роботи, і на енергоспоживання при транспортуванні перехідні процеси істотно не впливають; оцінка доцільності частотного регулювання швидкості здійснюється за усталеними режимами роботи конвеєра [27];

- залежністю опору руху стрічки від її натягу нехтується, а коефіцієнт опору руху стрічки приймається умовно постійним [27];
- характеристики асинхронних двигунів у зоні їх стійкої роботи мають високу жорсткість, тому на природній та штучних характеристиках двигуна при частотному регулюванні припускаємо відсутність залежності частоти обертання роторів приводних двигунів конвеєра від моменту навантаження [27];
- кут транспортування конвеєра вважається умовно постійним і таким, що дорівнює середньому куту установки конвеєра;
- передбачається електрична мережа нескінченної потужності, коефіцієнти корисної дії електричної мережі та редуктора вважаються такими, що істотно не залежать від навантаження конвеєра;
- за рахунок поточного коригування швидкості обертання двигунів вирівнюється навантаження між приводними барабанами конвеєра;
- вантажопотік в першому наближенні вважається умовно постійним через наявність збірного конвеєра і бункера перед конвеєром, який представлено в моделі; коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку 1,5 зумовлений не співпадінням у часі циклів виймання вугілля в двох вибоях, що подають сипкий вантаж на конвеєр, а також переважно відкритим станом бункера;
- регулювання швидкості стрічки конвеєра істотно не впливає на вихідний вантажопотік на ньому, який є вхідним вантажопотоком на наступні конвеєри у напрямі вантажопотоку [28].

5.3 Моделювання вантажопотоку

Результат моделювання витрат енергії на транспортування сипкого вантажу конвеєром залежить від передбаченого характеру вантажопотоку, який у свою чергу визначається швидкістю подачі виймальних механізмів технологічних ланок підприємства. Із урахуванням припущень, вважаємо поточний вантажопотік на конвеєрі Q_i результатом суперпозиції вихідного вантажопотоку двох очисних вибоїв q_{1i} , q_{2i} , а саме:

$$Q_i = q_{1i} + q_{2i}, \quad (5.1)$$

де i – індекс поточної часової координати t_i .

Машинний час роботи конвеєра:

$$t_M = t_{3M} k_u, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

$$t_M = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ год.} = 17280 \text{ с.}$$

Формуємо масив із $n=17280$ точок, щоби створити вісь часу із дискретизацією $\Delta t=1$ с.

Приймаємо часовий зсув між циклами виймання вугілля в очисному вибої $\Delta t_3=1$ год.=3600 с, тривалість циклу виймання вугілля $T=2$ год.=7200 с [29], паузу на маневрові та кінцеві операції у вибої $t_n=30$ хв.=1800 с, а час скачування вантажу конвеєром

$$t_c = L/v, \text{ с}, \quad (5.3)$$

$$t_c = 1500/2 = 750 \text{ с.}$$

Загальний час роботи конвеєра

$$t_\Sigma = T + t_c, \text{ с}, \quad (5.4)$$

$$t_\Sigma = 17280 + 750 = 18030 \text{ с.}$$

Завантаженість стрічки конвеєра масою вантажу [27]

$$m_j = \sum_{i=j}^{j+\text{floor}\left(\frac{L}{v_{cp}}\right)} Q_i, \text{ T} \quad (5.5)$$

де v_{cp} – середня швидкість стрічки, м/с; за відсутності регулювання $v_{cp}=v=2$ м/с.

Результат моделювання вхідного вантажопотоку і маси вантажу на конвеєрі за відсутності регулювання швидкості наведено на рисунку 5.1.

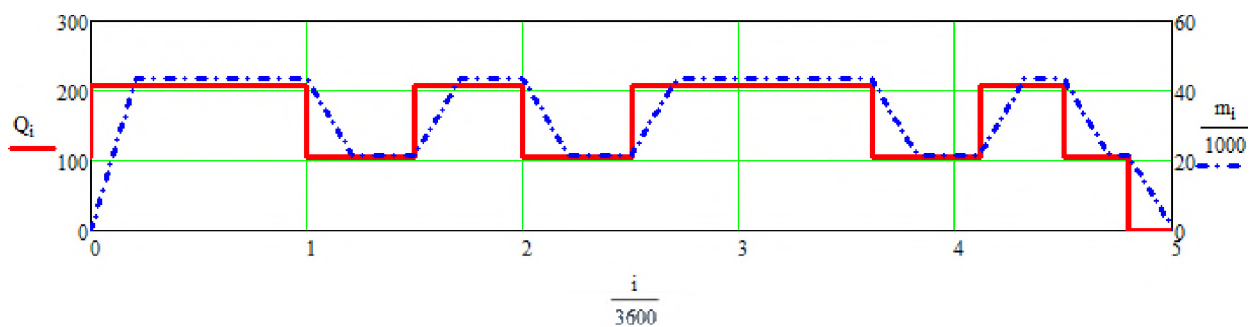


Рисунок 5.1 – Зміна вхідного вантажопотоку на конвеєрі та завантаженості стрічки конвеєра масою вантажу за відсутності регулювання швидкості (вантажопотік – червона суцільна, т/год., маса вантажу – синій штрих-пунктир, т, поточний час – години)

5.4 Моделювання швидкості стрічки

Швидкість стрічки регулюється зміною швидкості обертання ротора двигуна. За прийнятого способу регулювання швидкості стрічки маємо дві робочі швидкості: номінальну (високу), $v=2$ м/с, і низьку (удвічі нижчу, аніж номінальну), $v_1=1$ м/с.

За відсутності регулювання швидкістю транспортування є $v=2$ м/с.

При зниженні швидкості збільшується завантаженість стрічки конвеєра масою вантажу, оскільки при регулюванні призначатиметься швидкість

$$v_i=v, Q_i>0,5Q_{\max}, \text{ м/с}, \quad (5.6)$$

$$v_i=0,5v, Q_i \leq 0,5Q_{\max}, \text{ м/с}, \quad (5.7)$$

Результати моделювання завантаженості конвеєра за регулювання швидкості наведені на рисунку 5.2.

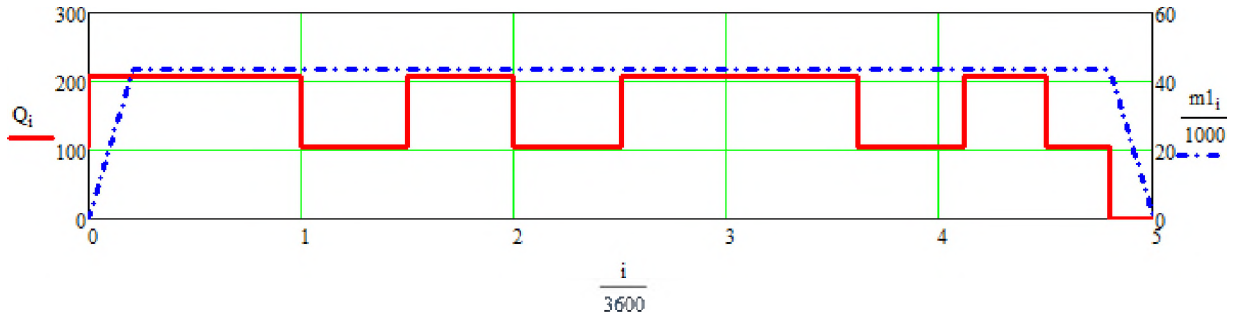


Рисунок 5.2 – Зміна вхідного вантажопотоку на конвеєрі та завантаженості стрічки конвеєра масою вантажу за регулювання швидкості (вантажопотік – червона суцільна, т/год., маса вантажу – синій штрих-пунктир, т, поточний час – години)

5.4 Моделювання коефіцієнту корисної дії електроприводу

Коефіцієнт корисної дії електроприводу конвеєра 2Л1000-01 визначиться таким чином [17]:

$$\eta_i = (k_{e1i} \eta_{ed1i} \eta_{p1} + k_{e2i} \eta_{ed2i} \eta_{p2} + k_{e3i} \eta_{ed3i} \eta_{p3}) \eta_{em} \eta_{конв.i}, \quad (5.8)$$

де k_{e1i} , k_{e2i} , k_{e3i} – енергетичні коефіцієнти розподілу навантаження між приводами №№ 1, 2, 3, $k_{e1i} + k_{e2i} + k_{e3i} = 1$; згідно із припущеннями, $k_{e1i} = k_{e2i} = k_{e3i} = 0,333$;

η_{ed1i} , η_{ed2i} , η_{ed3i} – коефіцієнти корисної дії електродвигунів приводних блоків №№ 1, 2, 3 конвеєра;

η_{p1} , η_{p2} , η_{p3} – коефіцієнти корисної дії редукторів приводних блоків №№ 1, 2, 3; $\eta_{p1} = \eta_{p2} = \eta_{p3} = 0,95$;

η_{em} – коефіцієнт корисної дії електричної мережі; $\eta_{em} = 0,95$;

$\eta_{\text{конв.}i}$ – коефіцієнт корисної дії механічної частини конвеєра в режимі роботи, який відповідає i -му моменту часу.

Завдання визначення коефіцієнту корисної дії електроприводу стрічкового конвеєра зводиться до визначення коефіцієнтів корисної дії електродвигунів приводних блоків конвеєра у відповідному режимі роботи, а також коефіцієнтів корисної дії механічної частини конвеєра. Методика визначення коефіцієнтів корисної дії двигунів залежить від виду електроприводу.

У випадку нерегульованого електроприводу, коефіцієнт корисної дії двигуна змінюється у зв'язку зі зміною навантаження на приводі. Цей коефіцієнт можна визначити таким чином [30]:

$$\eta_{li} = \frac{M_{ci} \omega_i}{0,95 \eta_p \cdot \int_0^{1/f} U_m \cos(2\pi f_i t) \cdot I_{mi} \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) dt}, \quad (5.9)$$

де M_{ci} – статичний момент опору на приводі, Н·м;

ω_i – кутова швидкість двигуна, с⁻¹;

U_m – амплітуда напруги мережі, В;

f – лінійна частота напруги живлення, Гц, $f=50$ Гц;

I_{mi} – амплітуда струму в обмотці статора, А,

$$I_{mi} = \sqrt{\frac{P_x^2}{3U_H^2} + \left(\frac{M_{ci} \omega_i s}{m_1 p r_2} \right)^2} + 2 \frac{P_x}{\sqrt{3} U_H} \frac{M_{ci} \omega_i s}{m_1 p r_2} \cos \varphi_i, \text{ А}, \quad (5.10)$$

P_x – потужність холостого ходу двигуна, Вт;

U_H – номінальна напруга мережі, В;

s – номінальне ковзання ротора;

m_1 – кількість фаз; $m_1=3$;

p – кількість пар полюсів обмотки статора;

r_2 – опір фази кола ротора, Ом;

φ_i – кут зсуву фаз між коливаннями напруги і струму в мережі;

$$\varphi_i = \arccos \frac{r}{\sqrt{r^2 + x_i^2}}, \quad (5.11)$$

r – еквівалентний активний опір фази схеми заміщення електродвигуна, Ом;

x_i – еквівалентний реактивний опір фази схеми заміщення електродвигуна, Ом.

Коефіцієнт корисної дії блоку електроприводу, регульованого в системі «частотний перетворювач – двигун» η_{2i} залежатиме від швидкості обертання двигуна [17; 19; 31; 32; 33; 34], і може визначитись по формулі

$$\eta_{2i} = 0,995 - \frac{m_1 U_H^2 r^2 K_{1i} + \sqrt{\alpha_i^3} P_{mp} \cdot idem_i^2}{m_1 U_H^2 r^2 K_{2i}} \quad (5.12)$$

де K_{1i}, K_{2i} – раціональні співмножники,

$$K_{1i} = r_1 (1 + \tau_{2i})^2 + r_1 d_{1i}^2 + r_1 d_{1i} \frac{2r_2' \tau_{1i}}{\delta_i x_{1i}} + (r_1 + r_0) \left(\frac{r_2' \tau_{1i}}{\delta_i x_{1i}} \right)^2 + r_2' (1 + d_{1i}^2) + \frac{x_{2i}' r_0}{x_{0i}^2}, \quad (5.13)$$

$$K_{2i} = \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} \left\{ \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} - \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} - \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} - \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} \right\} + \frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} \left(\frac{r_2'}{x_{0i} \delta_i} \right); \quad (5.14)$$

$r_1, r_2', r_0, x_{1i}, x_{2i}', x_{0i}$ – активні та реактивні опори схеми заміщення фази електродвигуна (індекс «1» стосується статора, «2» – ротора, параметр зі штрихом є прведеним), Ом;

$\tau_{1i}, \tau_{2i}, b_i, c_i, d_i, d_{1i}, e_i, m_i$ – коефіцієнти співвідношення активних і реактивних опорів схеми заміщення фази електродвигуна,

$$\tau_{1i} = \frac{x_{1i}}{x_{0i}}, \quad (5.15)$$

$$\tau_{2i} = \frac{x'_{2i}}{x_{0i}}, \quad (5.16)$$

$$b_i = r_1(1 + \tau_{2i}), \quad (5.17)$$

$$c_i = x_{1i} + x'_{2i}(1 + \tau_{1i}) = x'_{2i} + x_{1i}(1 + \tau_{2i}), \quad (5.18)$$

$$d_i = \frac{r_1}{x_{0i}}, \quad (5.19)$$

$$d_{1i} = \frac{r_0}{x_{0i}}, \quad (5.20)$$

$$e_i = 1 + \tau_{1i}, \quad (5.21)$$

$$m_i = x_{1i} + x'_{2i}; \quad (5.22)$$

α_i, δ_i – коефіцієнти співвідношення частот,

$$\alpha = f_i f_H^{-1}, \quad (5.23)$$

$$\delta_i = f_{2i} f_{2H}^{-1}; \quad (5.24)$$

f_{2i}, f_{2H} – відповідно, поточна і номінальна частоти електромагнітного поля ротора, Гц;

$\gamma_i = U_i U_H^{-1}$ – відносна напруга мережі при частотному регулюванні;

U_i – поточна напруга на частоті ω_i , В;

$P_{mрн}$ – механічні втрати потужності при номінальному навантаженні, Вт;

$idem_i$ – ірраціональний співмножник,

$$idem_i = \sqrt{\left[b_i^2 + d_i^2 r_0^2 + 2\alpha_i r_1 r_0 \tau_{2i}^2 + \alpha_i^2 (c_i^2 + d_{li}^2 m_i^2) \right] + \left[d_i^2 + 2\alpha_i d_i d_{li} + \alpha_i^2 (e_i^2 + d_{li}^2) \right] \frac{(r_2')^2}{\delta_i^2} + \left[2d_i^2 r_0 + 2\alpha_i r_1 (1 + d_{li}^2) + 2\alpha_i^2 \tau_{li} d_{li} x_{li} \right] \frac{r_2'}{\delta_i}}. \quad (5.25)$$

Коефіцієнт корисної дії механічної частини конвеєра урахує негативний вплив потужності холостого ходу конвеєра [35] у відповідному режимі роботи визначиться як

$$\eta_{конв.i} = (W_{0i} - W_x) / W_{0i}. \quad (5.26)$$

На рисунку 5.3 наведено графік залежності коефіцієнту корисної дії двигуна нерегульованого приводу від навантаження на валу електродвигуна. З рисунку 5.3 видно, що і при номінальному навантаженні, і при зниженому внаслідок зниження вантажопотоку навантаженні коефіцієнт корисної дії двигуна нерегульованого приводу залишається достатньо високим.

На рисунку 5.4 наведено графік залежності коефіцієнту корисної дії частотно регульованого двигуна від швидкості обертання ротора під час регулювання. З рисунку 5.4 видно, що при глибині регулювання 1:2 спостерігається несуттєвий спад значення коефіцієнту корисної дії двигуна.

На рисунку 5.5 наведено графік залежності коефіцієнту корисної дії механічної частини конвеєра від окружного тягового зусилля, що розвивається приводом. З рисунку 5.5 видно, що при зниженні окружного

тягового зусилля робочого режиму конвеєра удвічі суттєво падає коефіцієнт корисної дії механічної частини конвеєра, оскільки спостерігається більший негативний вплив потужності холостого ходу конвеєра через більшу відносну частку потужності холостого ходу в сумарній потужності транспортної установки.

Таким чином, при застосуванні частотного регулювання швидкості асинхронного електроприводу буде спостерігатися підвищення коефіцієнту корисної дії останнього через зростання зусиль в робочих елементах виробничого механізму, порівняно із малопродуктивними режимами роботи механізмів із нерегульованим приводом. Завантаженість робочих органів виробничого механізму за глибини регулювання швидкості 1:2 буде найбільш істотно впливати на загальний коефіцієнт корисної дії електроприводу.

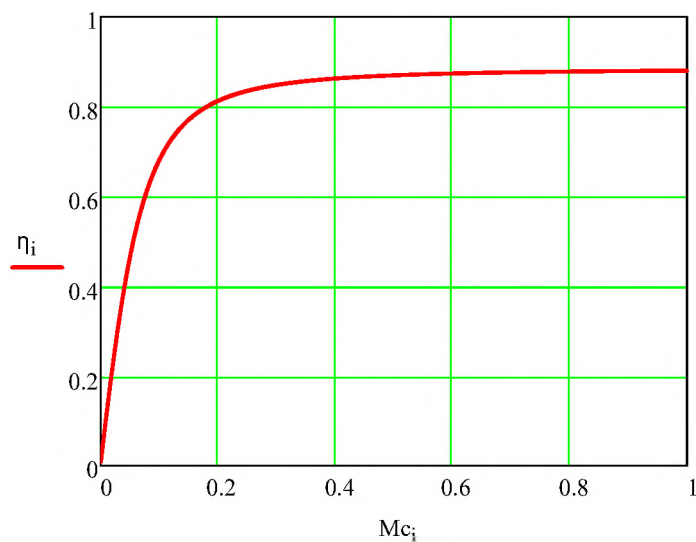


Рисунок 5.3 – Залежність коефіцієнту корисної дії двигуна в нерегульованому електроприводі від відносного значення статичного моменту опоры

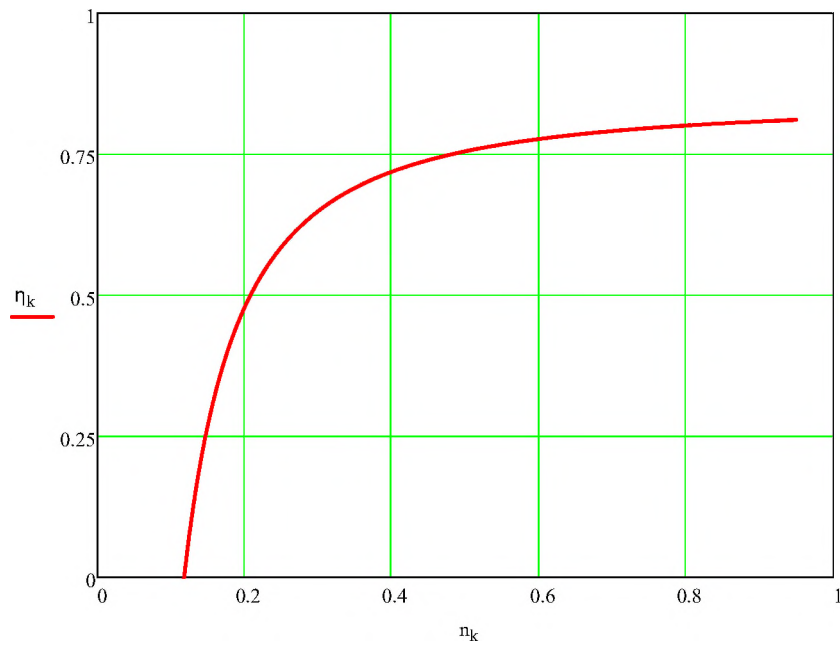


Рисунок 5.4 – Залежність коефіцієнту корисної дії двигуна частотно регульованого електроприводу від відносного значення частоти обертання ротора двигуна

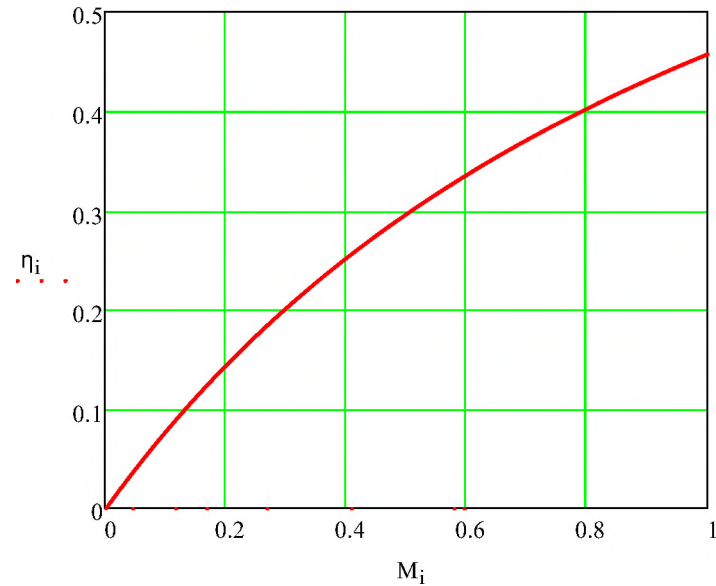


Рисунок 5.5 – Залежність коефіцієнту корисної дії механічної частини конвеєра від відносного значення завантаженості стрічки вантажем

За результатами моделювання, середньозважені значення коефіцієнтів корисної дії будуть такими:

- двигуна приводного блоку нерегульованого приводу, $\eta_{\text{дв1}}=0,87$;
- двигуна приводного блоку регульованого приводу, $\eta_{\text{дв2}}=0,81$;
- механічної частини конвеєра з нерегульованим приводом, $\eta_{\text{конв1}}=0,34$;
- механічної частини конвеєра з регульованим приводом, $\eta_{\text{конв2}}=0,46$.

5.6 Моделювання питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром

Питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром визначають витрати енергії, перераховані на 1 т·км транспортної роботи. За питомими енерговитратами на транспортування можна порівнювати енергоефективність транспортних засобів різної протяжності, продуктивності, принципу дії, оскільки вони є об'єктивним показником енергоспоживання при транспортуванні [27].

При визначенні питомих енерговитрат користуються їхнім середньозваженим значенням, оскільки кожному режиму транспортування відповідають власні питомі енерговитрати на транспортування [27; 28].

В загальному випадку, з урахуванням формул (5.1) – (5.26), питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу конвеєром визначаються таким чином [27; 28; 29; 34]:

$$E_t = 3,6 \cdot (Q_i L)^{-1} \cdot W_{0i} v_i \eta_i^{-1}, \text{ кВт} \cdot \text{год.} / (\text{т} \cdot \text{км}) \quad (5.27)$$

На рисунку 5.6 наведено графік зміни питомих енерговитрат на транспортування вантажу нерегульованого приводу конвеєра протягом робочої зміни. На рисунку видно, що періодам спаду вантажопотоку, як наслідок – зменшення завантаженості стрічки, відповідають періоди збільшення питомих енерговитрат на транспортування. Можна також визначити середнє значення питомих енерговитрат на транспортування $E_1(T) = 3,72 \text{ кВт} \cdot \text{год.} / (\text{т} \cdot \text{км})$

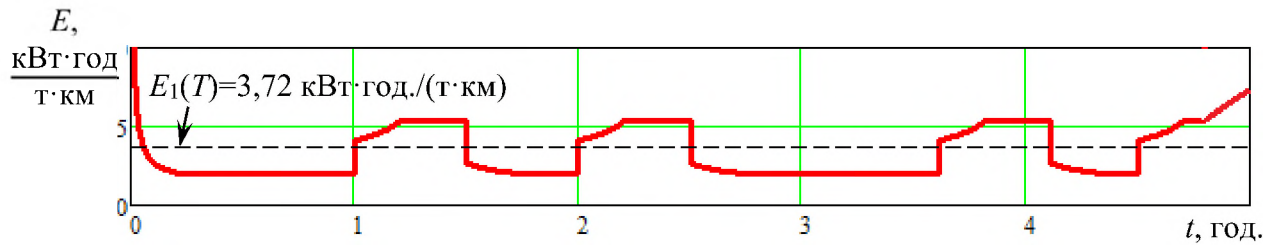


Рисунок 5.6 – Зміна питомих енерговитрат на транспортування вугілля стрічковим конвеєром з нерегульованим приводом

На рисунку 5.7 наведено графік зміни питомих енерговитрат на транспортування вугілля стрічковим конвеєром із регульованим приводом протягом робочої зміни. Регулювання швидкості стрічки здійснюється двоступінчасто (співвідношення низької і високої швидкостей 1:2) частотним регулятором. На рисунку видно суттєве зниження питомих енерговитрат та їх середнього значення у разі впровадження регульованого приводу конвеєра.

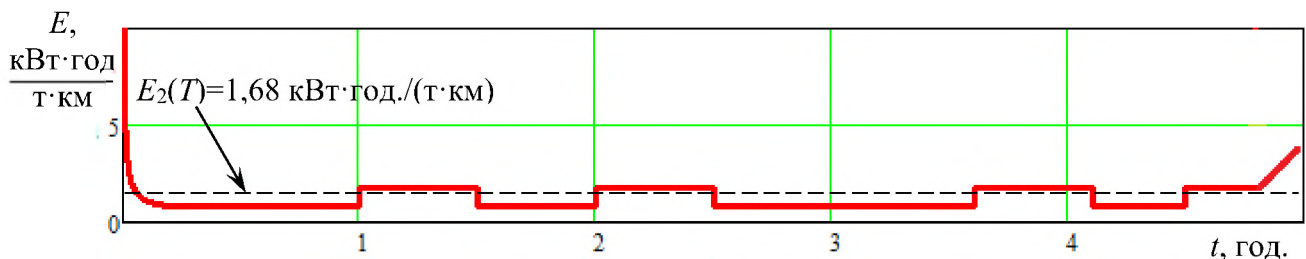


Рисунок 5.6 – Зміна питомих енерговитрат на транспортування вугілля конвеєром із регульованим приводом протягом робочої зміни

Таким чином, в результаті моделювання утворення середньозважених питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу в програмному 2середовищі MathCAD 15 встановлено:

- середні питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром з нерегульованим приводом, $E_1(T)=3,72$ кВт·год./((т·км));
- середні питомі енерговитрати на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром з регульованим приводом (ступінчасте частотне

регулювання із співвідношенням низької і високої швидкостей 1:2),
 $E_2(T)=1,68 \text{ кВт} \cdot \text{год.}/(\text{т} \cdot \text{км})$

З результатів моделювання процесу утворення питомих енерговитрат на транспортування вугілля стрічковим конвеєром капітальної виробки випливає, що застосування ступінчастого частотного регулювання швидкості асинхронного електроприводу стрічкового конвеєра дає зниження середнього значення питомих енерговитрат на транспортування вантажу на величину

$$\Delta E = E_1(T) - E_2(T), \text{ кВт} \cdot \text{год.}/(\text{т} \cdot \text{км}), \quad (5.28)$$

$$\Delta E = 3,72 - 1,68 = 2,04 \text{ кВт} \cdot \text{год.}/(\text{т} \cdot \text{км});$$

а в процентному відношенні це складатиме

$$\Delta E' = 100[E_1(T) - E_2(T)]/E_1(T), \quad (5.29)$$

$$\Delta E' = 100(3,72 - 1,68)/3,72 = 54,8 \text{ } \%$$

Отже, для отримання економічного ефекту від енергозбереження за рахунок впровадження регульованого приводу стрічкового конвеєра рекомендується застосовувати ступінчасте регулювання швидкості стрічки із співвідношенням низької та високої швидкостей 1:2 за допомогою частотного регулятора.

5.7 Оцінка економічної ефективності регулювання швидкості електроприводу стрічкового конвеєра

Якщо конвеєр працює за робочу зміну протягом часу тривалістю T , кількість робочих змін на добу $n_{зм}=3$, кількість робочих днів на рік $n_{дн}=300$, то оцінка прибутків від впровадження регульованого приводу може бути представлена як

$$K=3,6 \cdot 10^{-3} n_{зм} n_{дн} c_e m_{\Sigma} L T^{-1} \cdot \Delta E, \text{ грн.}, \quad (5.30)$$

де c_e – тарифна ставка на оплату 1 МВт·год. спожитої електроенергії для підприємств, грн.; $c_e=528,57$ грн./МВт,

$$K=3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 300 \cdot 528,57 \cdot 811 \cdot 1500 \cdot 17280^{-1} \cdot 2,04=245949 \text{ грн.}$$

Таким чином, прибутки від впровадження регульованого приводу стрічкового конвеєра із вантажопотоком з коефіцієнтом нерівномірності 1,5 із застосуванням ступінчастого частотного регулювання швидкості стрічки із співвідношенням низької і високої швидкостей 1:2 становитиме 245,9 тис. грн./рік з одного конвеєра.

Подальша оцінка економічної ефективності від впровадження регульованого приводу пов'язана із оцінкою вартості частотних регуляторів і терміну окупності витрат, що не входить у дану роботу.

5.8 Напрями подальшої роботи

Напрями роботи, які доцільно освоювати в подальшому в рамках виконання кваліфікаційної роботи магістра, є такими:

- уточнена оцінка реального вантажопотоку при його моделюванні, обґрунтування закону розподілу вхідного вантажопотоку та його параметрів;
- оцінка ефективності інших способів регулювання швидкості стрічки конвеєра, вибір раціонального способу регулювання швидкості стрічки;
- уточнена оцінка економічної ефективності впровадження раціонального регульованого приводу конвеєра при обраному законі розподілу вхідного вантажопотоку;
- моделювання плавного пуску порожнього і завантаженого конвеєра із регульованим приводом обраної раціональної структури;
- синтез раціональної структури системи керування.

5.9 Висновки до розділу 5

Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку 1,5 забезпечується переважно відкритим станом випускного отвору бункера, встановленого перед конвеєром, а також роботою на бункер 2 очисних вибоїв із тривалістю циклу виймання корисної копалини 2 год., зсувом циклів виймання 1 год., тривалістю маневрових і кінцевих операцій в очисному вибої 30 хв.

За зміну конвеєр транспортує 811 т корисної копалини. При цьому, у випадку застосування нерегульованого приводу середній коефіцієнт корисної дії електричної частини конвеєра складає 0,87, регульованого – 0,81, з урахуванням завантаженості коефіцієнт корисної дії механічної частини конвеєра з нерегульованим приводом – 0,34, з регульованим – 0,47. Середньозважені енерговитрати на транспортування вугілля конвеєром з нерегульованим приводом складають 3,72 кВт·год./(т·км), при двоступінчастому регулювання зі співвідношенням низької і високої швидкостей 1:2 – 1,68 кВт·год./(т·км).

Розроблена математична модель формування середньозважених питомих енерговитрат на транспортування сипкого вантажу стрічковим конвеєром придатна для використання із осцилограмою вантажопотоку, отриманою емпірично у представницьких умовах, а також теоретично за допомогою генерації випадкового процесу із визначеними параметрами у відповідному програмному середовищі.

Ефективність впровадження регульованого приводу, оцінена за виручкою від економії електроенергії, складає 245,9 тис. грн./рік для одного конвеєра.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вимоги з охорони праці під час експлуатації шахтного підземного стрічкового конвеєра наведені у додатку А.

Під час експлуатації конвеєра обов'язковим є виконання Правил безпеки у вугільних шахтах, правил технічної експлуатації вугільних шахт, інструкцій з технічного обслуговування і ремонту відповідного типу конвеєра, розроблених заводом-виробником і профільними НДІ, норм виробничої санітарії на підприємстві тощо [36; 37; 38; 39; 40].

Задля надійної і безпечної роботи конвеєра слід дотримуватися графіку планово-попереджувального ремонту, проводити регулярні технічні та ремонтні огляди.

Відповідальним за виконання норм охорони праці під час експлуатації конвеєра є начальник дільниці конвеєрного транспорту підприємства, а у разі його відсутності – заступник начальника дільниці або особа, яка призначена виконувачем обов'язки начальника дільниці.

ВИСНОВКИ

В результаті розрахунків електроприводу стрічкового конвеєра і математичного моделювання процесу утворення питомих енерговитрат на транспортування вугілля встановлено:

1. Для зазначених у завданні умов рекомендується використання стрічкового конвеєра 2Л1000-01 із сумарною потужністю двигунів 330 кВт. В якості приводних двигунів застосовуються машини 2BP-280S-2, 3 одиниці.
2. Для приводу конвеєра обрано редуктор ЦДН-630 з передавальним числом 31,5, колодкове гальмо ТКГ-300. Розроблено структуру системи керування приводом конвеєра із частотним двоступінчастим регулюванням швидкості, співвідношення низької і високої швидкості 1:2. Обрано силові тиристори випрямляча частотного перетворювача, конденсатори згладжувального фільтру ланки постійного струму та транзистори інвертора напруги на напругу 1300 В.
3. Коефіцієнт корисної дії електричної частини конвеєра з нерегульованим приводом – 0,87, з регульованим – 0,81, коефіцієнт корисної дії конвеєра з нерегульованим приводом – 0,34, з регульованим – 0,47. Середньозважені питомі енерговитрати на транспортування вугілля конвеєром з нерегульованим приводом складають 3,72 кВт·год./($t \cdot km$), з регульованим – 1,68 кВт·год./($t \cdot km$). Виручку від економії електроенергії за рахунок впровадження регульованого приводу оцінено в 245,9 тис. грн./рік для одного конвеєра.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оновлення енергетичної стратегії України на період до 2030 року. – К., 2012. – 156 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=222032>.
2. Стрелина Е.Н. Современные проблемы развития угольной промышленности Украины в контексте энергетической независимости страны / Е.Н.Стрелина, А.И.Йоненко // Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка", ДонНУ, 2014. - № 4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2950>.
3. Рухлов А.В. Энергетические характеристики магистрального конвейерного транспорта угольных шахт / А.В.Рухлов, Е.Д.Герман [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Geta/2010_84/7.pdf.
4. Заика В.Т. Влияние регулируемого привода на грузопотоки и энергоэффективность системы шахтного конвейерного транспорта [Текст] / Заика В.Т., Разумный Ю.Т., Прокуда В.Н. // Науковий вісник НГУ, № 3. 2015. – с. 82-88.
5. Заклика М. Ленточные конвейеры с регулируемой скоростью / М.Заклика, М.Колек, С.Титко. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bartec.kz/files/mining/for-conveyance.pdf>.
6. Лаухофф Х. Действительно ли регулирование скорости ленточных конвейеров способствует экономии энергии? [Текст] // Глюкауф, № 1 (март) 2006. – Эссен-М., 2006. – с. 9-16.
7. П'ять винаходів для конвеєра Генрі Форда [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rikauto.com.ua/stati/istoriya-avtomobiley/pyat-vinahodiv-dlya-konveiera-genri-forda/>
8. Білозьоров А.В. Рудниковий транспорт [Текст]/ А.В.Білозьоров, Л.С.Парфененко. – К., 2004. – 256 с.

9. Геронтьев В.И. Рудничный транспорт [Текст] / В.И.Геронтьев, Н.Т.Карелин. – М., 1957. – 334 с.
10. Проектування транспортних систем енергоємних виробництв [Текст]. / В.О.Будішевський, В.О.Гутаревич, О.О.Пуханов, А.О.Суліма, Я.О.Ляшок. Під ред. В.О.Будішевського, А.О.Суліми,– Донецьк, 2008.– 439 с.
11. Проектування та конструювання транспортних і підйомних машин та комплексів [Текст] : навч. посіб. / В.О.Будішевський, В.І.Дворніков, В.М.Маценко та ін.; заг. ред. В.О.Будішевський. - Донецьк, 2009. – 600 с.
12. Транспорт на гірничих підприємствах [Текст] : Підручник для вузів / М.Я.Біліченко, Г.Г.Півняк, О.О.Ренгевич та ін.; заг. ред. М.Я.Біліченка – Дніпропетровськ, 2005. – 636 с.
13. Барышев А.И. Расчёт и проектирование транспортных средств непрерывного принципа действия [Текст] / А.И.Барышев, В.А.Будишевский, А.А.Сулима, А.Н.Ткачук // Под общ. ред. В.А.Будишевского. – Донецк, 2005. – 689 с.
14. Ададуров В.И. Теоретические основы и расчёты транспорта энергоёмких производств: учеб. пособие [Текст] / В.В.Ададуров, В.В.Ариненков, Ф.С.Воюш и др. – Под ред. В.А.Будишевского, А.А.Сулимы. – Донецк, 1999. – 217 с.
15. Мухопад М.Д. Транспортні машини [Текст] : Підручник для вузів. – Харків, 1993. – 192 с.
16. Прокуда В.М. Энергоэффективность магистрального конвейерного транспорта угольных шахт с учётом динамики грузопотоков [Текст] // Дисс. канд. техн. наук, спец. 05.05.06 «Горные машины». – Днепропетровск, 2015. – 140 с.
17. Колб А.А. Теорія електроприводу [Текст] : Навчальний посібник / Ант.А.Колб, А.А.Колб. – Дніпропетровськ, 2011. – 540 с.
18. Стаднік М.І. Вплив технології транспортування вугілля на енергоефективність конвеєрного транспорту шахти [Текст] / М.І.Стаднік,

- Д.А.Семенченко, А.К.Семенченко, П.В.Белицький // Геотехнічна механіка, вип. 143. – Дніпро, 2018. – С. 190-205.
19. Подупейко С.В. Обґрунтування і розробка електропривода приводної станції стрічкового конвеєра в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» : Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спец. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Вінниця, 2019. – 114 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/22127.pdf>.
 20. Натяжные устройства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9753037/page:10/>
 21. Лебідка шахтна допоміжна ШВА-18000Х-0,25П / Лебедки в Украине [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lebedki.com.ua/ua/p2645855-lebedka-shahtnaya-vspomogatelnaya.html>.
 22. Муфти втулочно-пальцевые В-FLEX. Типорозмір муфти 285 [Електронний ресурс]: режим доступу: https://unitech.com.ua/ua/mufty-vtulочно-palcevy-e-b-flex/tiporazmer-mufti_285.
 23. Муфта зубчаста МЗ-10 – Муфти зубчасті МЗ-1 до МЗ-15 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kzpto.com.ua/zapchasti-dlya-kranov/?gad_source_1&gclid=CjwKCAjwmYCzBhA6EiwAxFwfgKXXI9rt9PhQCrlxbfk0-Uz-uJdtYUzG6uFhuYUv-kLgMGFG2AqiixOC7dgQAD_BwE.
 24. Тиристори силові [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=STGW38IH130D>.
 25. Конденсатор В32776G1126K000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zapadpribor.com/b32776g1126k000-12-mkf-1300-v-10-kondensator/>
 26. Транзистори FGH30S130P [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://help-master.com.ua/ua/p278588000-tranzistor-fgh30s130p-274.html>.
 27. Семенченко А.К. Повышение энергоэффективности использования ленточных конвейеров при интенсивной угледобыче [Текст] / А.К.Семенченко, Н.И.Стадник, П.В.Белицкий, Д.А.Семенченко // Вісті Донецького гірничого інституту, № 2,2018. – Покровськ, 2018. – с. 91-106.

28. Стаднік М.І. Вплив узгодження швидкостей вибійного конвеєра і комбайна на вихідний вантажопотік з лави [Текст] / М.І.Стаднік, А.К.Семенченко, П.В.Белицький, Д.А.Семенченко // Международные научно-практические конференции, посвящённые 85-летию НКМЗ. – Краматорск: 2019. – с. 79-84.
29. Semenchenko A. The impact of an uneven loading of a belt conveyor on the loading of drive motors and energy consumption in transportation / A.Semenchenko, M.Stadnik, P.Belitsky, D.Semenchenko, O.Stepanenko. – Восточно-Европейский журнал передовых технологий, т. 4, № 1`2016. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/75936/72366>.
30. Електричні машини [Текст]: навчальний посібник / Г.Г.Півняк, Ф.П.Шкрабець, В.П.Довгань. – Дніпропетровськ, 2003. – 331 с.
31. Голодний І.М. Моделювання регульованого електропривода [Текст] : Підручник / І.М.Голодний, Л.С.Червінський, А.В.Жильцов, О.В.Санченко, О.І.Романенко. – К., 2019. – 266 с.
32. Голодний І.М. Регульований електропривод [Текст] : підручник / І.М.Голодний, Ю.М.Лавріненко, В.В.Козирський, Л.С.Червінський, Д.А.Абдурманов, А.В.Торопов, О.В.Санченко. – За ред. І.М.Голодного. – К., 2015. – 509 с.
33. Енергетика електроприводу. Лекція № 5. Запорізький національний університет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=571321>.
34. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электроприводами [Текст]. – М., 1982. – 216 с.
35. Тарасов В.И. Оценка совершенства ленточного конвейера по энергетическому показателю [Текст] // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2015. – Т. 9. – с. 155-161.
36. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ, 2001. – 495 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://softabccomua.wordpress.com/>

37. Збірник інструкцій до Правил безпеки у вугільних шахтах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://budinfo.org.ua/doc/1812783/Zbirnik-instruktsii-do-pravil-bezpeki-u-vugilnikh-shakhtakh>.
38. Стандарт Мінвуглепрому України. Правила технічної експлуатації вугільних шахт. – К., 2006. – 353 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://docs.google.com/file/d/0B_BUo7vi_67mazB5WnA0bXZ5NFE/edit?resourcekey=0-81y64o1I0X_BCyGEh5BQaQ.
39. ДСТУ 8394:2015 Конвеєри шахтні стрічкові. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=75410.
40. Руководство по эксплуатации. Конвейер шахтный ленточный 2Л1000У-01 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://e.eruditor.link/file/589649/>

ДОДАТОК А

ВИМОГИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНОГО
СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

До експлуатації та безпосереднього керування стрічковими конвеєрами і конвеєрними лініями допускається особа, яка пройшла спеціальне навчання та отримала посвідчення, яке допускає її роботу із конвеєрами. Особам, які не мають такого посвідчення, знаходитися в робочій зоні стрічкового конвеєра задля виконання допоміжних робіт можна лише за безпосереднього керівництва інженерно-технічного робітника дільниці конвеєрного транспорту, або робочого-інструктора, який має відповідне посвідчення.

Стрічкові конвеєри мають бути обладнані:

- датчиками бокового сходження стрічки, що вимикають привод конвеєра у разі сходження стрічки вбік більше ніж на 10% її ширини;
- засобами знепильовання в місцях перевантаження;
- пристроями для очищення стрічок і барабанів;
- у виробках з кутом нахилу більше ніж 10° – пристроями, що вловлюють вантажну вітку стрічки вантажно-людського конвеєра при її розриві, або пристроями, які контролюють цілісність тросів і стикових з'єднань гумотросових стрічок. Нові вантажно-людські стрічкові конвеєри, встановлені у виробках з кутами нахилу понад 10°, обладнують пристроями, що вловлюють обидві вітки стрічки при її розриві незалежно від типу застосованої стрічки;
- засобами захисту, що забезпечують відключення приводу конвеєра при перевищенні допустимого рівня матеріалу, який транспортується, в місцях перевантаження, зниженні швидкості стрічки до 75 % номінальної (пробуксовки), перевищенні номінальної швидкості стрічки бремсбергових конвеєрів на 8%;
- пристроєм для відключення приводу конвеєра з будь-якої точки його довжини;
- гальмівними пристроями;

- засобами автоматичного і ручного пожежогасіння.

Апаратура автоматичного або дистанційного автоматизованого керування шахтними стрічковими конвеєрами і конвеєрними лініями має забезпечувати:

- вмикання кожного наступного конвеєра в лінії тільки після встановлення номінальної швидкості руху тягового органу попереднього конвеєра в напрямі, зворотному вантажопотоку;
- автоматичне вимикання всіх конвеєрів, що транспортують вантаж на конвеєр, який зупинився, а в лінії, що складається зі скребкових конвеєрів, за несправності одного з них – вимикання також того, що стоїть попереду;
- неможливість дистанційного повторного вмикання несправного конвеєра в разі спрацьовування електричних захистів електродвигуна, несправності механічної частини конвеєра (обрив або заклинювання робочого або тягового органу), спрацьовування захистів через затяжний пуск конвеєра, зниження швидкості стрічки до 75 % номінальної (пробуксовування) та перевищення номінальної швидкості стрічки бремсбергових конвеєрів на 8 %;
- місцеве блокування, що запобігає пуску даного конвеєра з пульта управління;
- вимикання електропривода за тривалого пуску;
- двосторонній телефонний або гучномовний зв'язок між пунктами встановлення приводів конвеєра та пультом управління;
- блокування запуску конвеєра за відсутності або невідповідності нормативним вимогам тиску води в пожежозрошувальному трубопроводі;
- блокування запуску конвеєра при знятій огорожі;
- автоматичне вимикання навантажувального пристрою (живильника), що транспортує вантаж на конвеєр, який зупинився.

У похилих виробках, обладнаних конвеєрами, дозволяється настилення рейкової колії і встановлення допоміжних засобів транспорту, призначених для перевезення матеріалів і обладнання. Робота конвеєра і засобів

допоміжного транспорту має бути поділена у часі. Виконання цієї вимоги має забезпечуватися відповідними електричними блокуваннями. У горизонтальних виробках, обладнаних конвеєрним транспортом, допускається суміщення локомотивної відкатки для доставки вантажів, необхідних для обслуговування і ремонту цих виробок, і конвеєрів за умови зупинки конвеєра.

У місцях переходу через конвеєр мають бути встановлені перехідні містки, що мають ширину не меншу ніж 0,6 м, з поручнями. Зазор між стрічкою і нижньою частиною містка має бути не менше ніж 0,4 м, а висота для проходу працівників над містком – не менше ніж 0,8 м.

Дозволяється:

- ремонт, змащування деталей та очищення конвеєра тільки на конвеєрі, який не працює;
- робота конвеєра, очищеного від гірничої маси, що розсипалась, за повної укомплектованості справними роликами, а також за умови, що стрічка не торкається до нерухомих елементів конвеєрного ставу або кріплення;
- перевезення працівників, лісу, довгомірних матеріалів і обладнання на пристосованих для цього конвеєрах.

Огляд конвеєра, апаратури управління, роликів, натяжних і завантажувальних пристроїв, стрічки та її стиків, а також пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію конвеєра (гальмівних пристроїв, засобів уловлювання стрічки), повинен проводити щозміни гірничий майстер дільниці.

Огляд і перевірка роботи апаратури управління та захисту (датчиків сходження та пробуксовування стрічки, рівня навантаження, екстреної зупинки), пристроїв, що забезпечують безпеку експлуатації конвеєрів (гальм, уловлювачів стрічки, блокування огорожі тощо), засобів протипожежного захисту і засобів контролю тиску води в протипожежному трубопроводі мають провадитися один раз на добу механіком дільниці або призначеною особою.

Щомісяця стаціонарні конвеєри мають оглядатися головним механіком шахти із записом у журналі огляду.

Перед введенням в експлуатацію та надалі один раз на рік має проводитися ревзія і налагодження магістральних конвеєрних ліній суб'єктом господарювання, що має дозвіл Держпраці на виконання робіт підвищеної небезпеки.

Конвеєризації шахти, крила, дільниць має передувати розробка раціональної схеми гірничих виробок, у яких підлягають розміщенню конвеєрні установки з урахуванням конкретних гірничотехнічних умов, перспективних планів розташування шахтних полів і в ув'язці із загальною схемою підземного транспорту, в т.ч. допоміжного.

На кожному підприємстві має бути схема конвеєрного транспорту із зазначенням типу конвеєрів, їхньої довжини, розрахункової і фактичної пропускної здатності, типу стрічки і потужності приводу.

Виробки, призначені для обладнання стрічковими конвеєрами, мають бути прямолінійними по всій довжині конвеєра.

Прямолінійність установки конвеєрів, співвісність барабанів, редукторів і електродвигунів мають перевірятися маркшейдерською службою шахти не рідше одного разу на рік.

Стрічкові конвеєри мають експлуатуватися за своїм призначенням, відповідно до Державного стандарту та інструкцій заводу-виробника. Дозволено, як виняток, у горизонтальних і слабопохилих виробках (від -3^0 до $+6^0$) застосовувати уклонні конвеєри. Застосування стрічкових конвеєрів в умовах, що відрізняються від паспортних, дозволено лише по узгодженні із заводом-виробником.

Конвеєри із шириною стрічки 800 мм застосовуються у виробках, що мають кут нахилу від -10^0 до $+10^0$, 1000 мм і більше – від -16^0 до $+18^0$. У капітальних і магістральних виробках мають встановлюватися стрічкові конвеєри із шириною стрічки не менше 1000 мм.

Засоби і апаратура автоматизація окремих конвеєрів і конвеєрних ліній, що наново монтуються і модернізуються, незалежно від їх призначення, типу і місця установки перед введенням в експлуатацію повинні бути піддані налагодженню на спеціальному стенді на поверхні шахти, а також в місці установки конвеєра після монтажу.

Монтаж, стикування і заміна конвеєрної стрічки, обслуговування стрічкових конвеєрів мають здійснюватися у відповідності до відповідних норм і правил НПАОП, Державного стандарту, стандартів підприємств і установ, експлуатаційної документації на конкретний конвеєр і стрічку.

Наказом по шахті призначається відповідальний працівник за проведення щоквартальних ревізій і налагоджень засобів керування, автоматичного захисту та пускорегулюючої електроапаратури для стаціонарних і напівстаціонарних стрічкових конвеєрів. Результати ревізій і налагоджень оформлюються протоколом.

Перевезення людей конвеєрами має здійснюватися згідно із проектом, розробленим на підставі норм і вимог відповідних НПАОП, стандартів підприємств і установ, а також погодженим із органами Держпромгірнагляду.

Для перевезення людей мають застосовуватися спеціальні вантажопасажирські стрічкові конвеєри зі швидкістю руху конвеєрної стрічки не більше 2 м/с або переоблаштовані вантажні із кутом нахилу до 10^0 та швидкістю 1,6 м/с.

Кожної зміни перед початком перевезення людей відповідальна особа має робити огляд конвеєра та випробування запобіжних і сигнальних пристроїв. Раз на місяць має проводитись детальний огляд і технічний контроль всього конвеєра. Статичні випробування мають на меті перевірити міцність конвеєра і його стійкість. Динамічні випробування конвеєра мають на меті перевірку дії механізмів з максимальними навантаженнями.

Огляду і перевірки в роботі підлягають всі механізми, електрообладнання, прилади безпеки, гальма, апарати управління, освітлення, сигналізація, заземлення, а також стан металоконструкцій.

У похилих виробках огляд конвеєрної стрічки і вантажних конвеєрів має проводитись кожної зміни. Результати огляду мають заноситися до спеціальної книги або шахтної електронної бази даних (за її наявності):

- відповідальним електрослюсарем підземним з ремонту – 1 раз на добу;
- механіком ділянки конвеєрного транспорту – 1 раз на тиждень;
- начальником ділянки конвеєрного транспорту – 2 рази на місяць;
- головним механіком шахти – раз на квартал.

Перед вмиканням кожного стрічкового конвеєра має подаватися безперервний звуковий сигнал із гучністю, що сприймається людиною, яка знаходиться в робочій зоні відповідного конвеєра, тривалістю не менше 6 с.

Система керування стрічковим конвеєром має передбачати робоче та екстрене вимикання конвеєрної лінії. Останнє має здійснюватися як з пульта, так і з будь-якої точки уздовж конвеєрної лінії.

Простір, в якому проводиться робота рухомих частин конвеєра, і в якому вважається неприпустимим для знаходження сторонніх осіб, інших машин, споруд, ліній електропостачання і т.д., називається зоною роботи конвеєра. Небезпечною зоною вважається простір в габаритах зони роботи машини при відсутності огороження або інших запобіжних засобів. До небезпечних зон відносяться ділянки руху стрічки, завантажувальна та розвантажувальна станції, підбирачі просипу і т.п. Ці ділянки огорожують щитами, збірно-розбірними інвентарними огорожами або ж встановлюють попереджувальні написи та вмикають червоне світло.

При виконанні робіт з ремонту та налагодження електрообладнання на конвеєрі слід строго виконувати вимоги правил безпеки, по зняттю напруги огорожі місць роботи слід вивішувати попереджувальні плакати з написами «Не вмикати – працюють люди», «Стій – висока напруга», «Стій – небезпечно для життя», «Працювати тут» та ін.

На конвеєрі завжди повинні бути наявні справні і такі що пройшли випробування в установлені терміни ізолюючі захисні засоби, діелектричні боти, рукавички, гумові килимки, покажчики напруги штанги, переносні захисні заземлення та ін.

Забороняється проводити зчленування і розчленування штепсельних роз'ємів кабелів, що перебувають під напругою. Перенесення кабелю живлення, який знаходиться під напругою, можна робити тільки в діелектричних рукавичках або за допомогою спеціальних пристроїв з ізольованими рукоятками.

Забороняється користуватися світильниками на напругу вище передбаченого на конвеєрі для кіл місцевого освітлення 12 В.

Експлуатуючому персоналу забороняється:

- приступати до роботи при виявленні перед початком роботи несправностей електрообладнання, заземлення, кабелю живлення, а також за відсутності сигналізації і захисних засобів;
- продовжувати роботу при виявленні в процесі роботи несправностей електрообладнання, заземлення, кабелю живлення;
- здійснювати огляди, чистку, мащення, регулювання і ремонт механізмів при працюючих електродвигунах. Електрообладнання повинно бути відключеним від мережі із забезпеченням подвійного розриву з боку живлення;
- переїжджати через лежачий кабель, а також кидати на нього важкі предмети (труби; дошки і т. п.);
- гальмувати руками обертові деталі механізмів;
- пролазити через рухомі деталі та механізми;
- здійснювати чистку низьковольтних клем, контактів і електроапаратури що знаходиться під напругою, і т. д.;
- їздити конвеєрами, не призначеними для перевезення людей.

Всі роботи, пов'язані з вимірюванням переносними приладами проводиться в установках з напругою понад 1000 В, здійснюються двома

особами: одна з яких повинна мати кваліфікацію не нижче VI розряду, а в установках нижче 1000 В - однією особою, з кваліфікацією не нижче III розряду.

При роботах зі зняттям напруги з конвеєра або ділянок схем для виконання робіт слід:

- відключити напругу, при цьому повинні бути знеструмлені струмопровідні частини, на яких будуть проводитися роботи.
- вивісити плакати на всіх рукоятках приводів розподільних пристроїв з написами «Не вмикати – працюють люди» і т.д. Знімати плакати може тільки та особа, яка їх встановила;
- перевірити відсутність напруги справним і перевіреним покажчиком напруги.
- розрядити кабель від ємнісних струмів;
- накласти переносні заземлення.

Гасіння пожежі, що виникла на стрічковому конвеєрі, повинно здійснюватися бійцями загону ДАРС, членами допоміжної гірничо-рятувальної команди підприємства та ін. робітниками, які пройшли відповідне навчання.

При виявленні ознак пожежі в дію вводиться план ліквідації аварії, відповідно до якого має бути встановлений режим вентиляції шахти. Якщо аварія не ліквідована після виконання заходів оперативної частини плану, відповідальний керівник робіт з ліквідації аварії разом з командиром ДАРС, який прибув за викликом на аварію, розробляють оперативний план ліквідації аварії.

У тих випадках, коли пожежу не вдається ліквідувати відповідно до оперативних планів і вона набуває затяжного характеру (більше 3-х діб), головним інженером шахти спільно з ДАРС, розробляється та затверджується директором шахти (уповноваженою особою) проєкт локалізації та гасіння пожежі.

На приводній станції кожного стрічкового конвеєра має бути в наявності запас первинних засобів пожежогасіння: не менше 2 порошкових вогнегасників або 0,2 м³ піску чи інертного пилю. Уздовж конвеєра, конвеєрної лінії має бути протягнутий протипожежний став із тиском води в ньому, що регламентується Правилами безпеки у вугільних шахтах, а також відводами із гідравлічними засувками, що розташовані на ставі із визначеним кроком. Конвеєр або конвеєрна лінія має облаштовуватися апаратурою, що ідентифікує місце виникнення пожежі, вимикає напругу на аварійному конвеєрі та всіх, що знаходяться за ним у напрямі вантажопотоку, а також керує протипожежними засувками, гідрантами тощо.

У разі загоряння електрообладнання забороняється гасити його водою, пінними вогнегасниками або іншими рідинами. Слід в першу чергу відключити пошкоджену ділянку, гасіння пожежі здійснювати порошковими вогнегасниками або піском, не торкаючись електроустановки.

При гасінні електроустановок напругою понад 1000 В, з метою запобігання ураження електричним струмом, людям, які працюють із пожежним обладнанням, слід надягати поверх електротехнічних рукавичок рукавички з латунної сітки, заземленими проводом під спецодягом з підошвами з міді.

Для живлення електричних машин та апаратів у підземних виробках має застосовуватися напруга:

- для стаціонарних споживачів електричної енергії, пересувних підстанцій і трансформаторів, а також під час проходження стволів – не більша за 10000 В;
- для пересувних електроприймачів – не більша за 1140 В. В окремих випадках дозволяється застосування підвищеної напруги (понад 1140 В);
- для ручних машин та інструментів – не більша за 220 В;
- для іскробезпечних кіл дистанційного управління та сигналізації – не більша за 60 В, якщо жоден із провідників цього кола не приєднується до заземлення;

- для іскробезпечних кіл дистанційного управління стаціонарними і пересувними машинами – не більша за 42 В.

Потужність короткого замикання в підземній мережі шахти має бути обмежена величиною, що відповідає номінальним характеристикам встановленого в шахті електрообладнання та перерізові кабелів, але має не перевищувати 100 МВ·А. Потужність відключення вимикача загального призначення при установці їх у шахтах має бути удвічі більшою від потужності короткого замикання мережі.

Кабельні вводи електрообладнання мають бути надійно ущільнені. Невикористані кабельні вводи повинні мати заглушки, що відповідають рівню вибухозахисту електрообладнання.

Приєднання жил кабелів до затискачів електрообладнання має проводитися за допомогою наконечників, шайб або інших рівноцінних пристроїв, що унеможливають наявність проводів жил кабелю поза затискачем.

Допускається приєднання більше однієї жили кабелів до одного затискача, якщо це передбачено конструкцією затискача.

Електрообладнання дозволяється відкривати та ремонтувати тільки особам, які мають відповідну кваліфікацію та право на виконання таких робіт. Під час роботи з електричним обладнанням мають вживатися особливі заходи безпеки щодо запобігання подачі до них напруги.

Перевірка знань електротехнічного персоналу на відповідність кваліфікаційній групі з електробезпеки проводиться за участю представника Держпраці.

Усі електричні машини, апарати, трансформатори та інше електрообладнання, їх вибухобезпечні оболонки, кабелі, заземлення повинні періодично оглядати:

- особи, які працюють на машинах і механізмах, а також чергові електрослюсарі дільниці – щозміни перед початком роботи;

- механік дільниці або його заступник – щотижня з занесенням результатів до оперативного журналу;
- головний енергетик (головний механік) шахти або посадова особа – не рідше одного разу на 3 місяці із занесенням результатів до Книги реєстрації стану електрообладнання та заземлення;
- перед опусканням у шахту – група електрослюсарів шахти під контролем головного енергетика (головного механіка) шахти або особи, ним призначеної, проводять ревізію та перевіряють вибухобезпеку електрообладнання та записують результати до Книги реєстрації стану електрообладнання та заземлення.

Роботи з монтажу, налагодження, випробування, ремонту, ревізії та демонтажу діючих електроустановок виконують відповідно до вимог законодавства та документації з їх експлуатації.

Оперативні переключення під час ремонтних і налагоджувальних робіт, що виконуються на живильних лініях і комплектних розподільних пристроях центральних підземних підстанцій та розподільних пунктів напругою понад 1140 В, здійснюють з дозволу головного енергетика (головного механіка).

Всі оперативні переключення в електроустановках шахти здійснюють за погодженням з гірничим диспетчером (або енергодиспетчером) шахти із записом до оперативного журналу.

Налагоджувальні та інші спеціальні роботи, коли виключена можливість їх виконання зі знятою напругою, дозволяється робити поблизу та на струмопровідних частинах, що перебувають під напругою, з дозволу головного енергетика шахти за умов:

- наявності наряду на проведення робіт із зазначенням заходів щодо техніки безпеки, а також заходів, що унеможливають безпосередній дотик до
- струмопровідних частин іскробезпечних кіл напругою понад 42 В;
- забезпечення безперервного нагляду за працівниками;
- наявності в посвідченнях осіб, що виконують роботи, запису про допуск на
- проведення спеціальних робіт відповідно до кваліфікаційної групи з

- електробезпеки.
- Виконання таких робіт у шахтах, небезпечних за газом, допускається
- тільки у виробках із свіжим струменем повітря, що провітрюються за рахунок
- загальношахтної депресії. При цьому має бути забезпечений контроль
 - концентрації метану, а наряд – погоджений з керівництвом дільниці Керівник налагоджувальних та інших спеціальних робіт повинен мати V кваліфікаційну групу щодо електробезпеки, а члени бригади – не нижче IV групи.

Максимальний струмовий захист і захист від перевантаження у всіх апаратах до приєднання їх до мережі та під час експлуатації перевіряють відповідно до графіка, затвердженого головним інженером шахти.

Апарат захисту від витікання струму перевіряють на спрацьовування перед початком кожної зміни особи, призначені наказом по шахті. Апарат захисту із самоконтролем справності перевіряють один раз на добу в ремонтну зміну.

Допускається дистанційна перевірка апаратури захисту від витоків струму за умови, що вимикальний апарат має пристрій попереднього контролю ізоляції та здатен відтворити АПВ лінії, яку захищає після перевірки. Результати перевірки записують на дошки, що знаходяться в місцях встановлення апарата захисту, а у випадку несправності – повідомлятися гірничому диспетчеру для запису в журналі та вживання заходів.

Загальний час відключення мережі напругою 380 В, 660 В і 1140 В у разі спрацьовування апарата захисту від витікання струму має перевірятися не рідше одного разу на 6 місяців. Результати перевірки апарата захисту записують до Книги реєстрації стану електрообладнання та заземлення.

Опір ізоляції відносно землі електричних установок і кабелів на номінальні напруги 127–1140 В змінного струму, що знаходяться у шахті, має бути не нижче таких:

- електродвигунів вуглевидобувних і прохідницьких машин – 0,5 МОм;
- електродвигунів інших шахтних машин, освітлювальних трансформаторів,
- пускових агрегатів і ручних електросвердел – 1,0 МОм;
- пускової та розподільної апаратури, броньованих і гнучких кабелів будьякої довжини – 1,0 МОм на фазу.

Вимірювання опору ізоляції електрообладнання та кабелів перед вмиканням виконують після монтажу та перенесення, після аварійного відключення захистом, після тривалої бездіяльності, якщо апарат захисту від витікань струму не дає змоги увімкнути мережу, а для стаціонарного електрообладнання – також періодично, не рідше одного разу на рік.

Електрообладнання та кабелі, опір ізоляції яких не відповідає нормам і викликає спрацьовування апарата захисту від витікання струму, від'єднують від мережі для проведення заходів щодо підвищення опору їх ізоляції або ремонту.

Капітальний ремонт рудникового електрообладнання, виконують суб'єкти господарювання, що мають дозвіл Держпраці на виконання робіт підвищеної небезпеки.

У разі поточного та профілактичного ремонтів, що проводяться в шахтах, з числа деталей, що забезпечують вибухобезпеку, допускається заміна прохідних затискачів, штепсельних контактів, ізоляційних колодок, ущільнювальних кілець, натискних пристроїв, заглушок кабельних вводів, кабельних муфт у цілому, а також кріпильних болтів оболонок електрообладнання.

На шахті не рідше одного разу на 3 місяці призначені навчені особи повинні вимірювати загальний опір заземлювальної системи. Опір заземлень необхідно вимірювати також перед вмиканням наново змонтованої або перенесеної установки. Результати огляду та виміру заземлень електрообладнання, а також інших об'єктів, що не є електроустановками, але підлягають заземленню відповідно до цих Правил, мають заноситися до Книги реєстрації стану електрообладнання та заземлення.