

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
 факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
 (повне найменування інституту, назва факультету)
 кафедра електромеханіки та машинобудування
 (повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.В. Калиниченко
 (підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра

(освітній ступінь)

на тему: «Дослідження параметрів роботи електромеханічного обладнання транспорту гірничої маси для умов відокремленого підрозділу «Шахта «Котляревська» Державного підприємства «Селидіввугілля»» («The investigation of operation parameters of electromechanical equipment of rock mass transport for the conditions of separated subdivision «Mine «Kotliarevskia» of State enterprise «Selydivvugillia»»)

Виконав: студент 2 курсу, групи _____ ГЕММ-20
 (шифр групи)

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

_____ Патокін Р.В.

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник зав.каф. ЕМ, к.т.н., доц.Калиниченко В.В.

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

_____ (підпис)

Рецензент _____

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

_____ (підпис)

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

Студент _____
 (підпис)

Покровськ – 2021р.

АНОТАЦІЯ

Патокін Р.В. Дослідження параметрів роботи електромеханічного обладнання транспорту гірничої маси для умов відокремленого підрозділу «Шахта «Котляревська» Державного підприємства «Селидіввугілля» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021.

В роботі проведений аналіз режиму роботи існуючої схеми транспорту шахти, визначені найбільш навантажені конвеєри на магістральній лінії та залишковий ресурс потужності двигунів електроприводів, запропонована система плавного пуску асинхронних електродвигунів конвеєрів, надано техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень

Ключові слова: схема транспорту, стрічковий конвеєр, натяг, асинхронний електродвигун, потужність, плавний пуск.

ANNOTATION

R. Potokin. The investigation of operation parameters of electromechanical equipment of rock mass transport for the conditions of separated subdivision «Mine «Kotliarevsk» of State enterprise «Selydivvugillia» / Graduation qualification work for obtaining an educational degree «Master» in specialty 141 Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics. – SHEE «Donetsk National Technical University», Pokrovsk, 2021.

The analysis of the mode of operation of the existing scheme of mine transport is carried out, the most loaded conveyors on the main line and residual power resource of electric motors are determined, the system of smooth start of asynchronous electric motors of conveyors is offered, the feasibility study is given.

Keywords: transport scheme, belt conveyor, tension, asynchronous electric motor, power, smooth start.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДЗЕМНИЙ ТРАНСПОРТ ШАХТИ	8
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТУ ГІРНИЧОЇ МАСИ	12
2.1 Аналіз схеми вантажопотоків та вибір конвеєрів для перевірки	12
2.1.1 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 3Л-1000А.....	13
2.1.2 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 2Л-100У.....	19
2.1.3 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 2ЛТ-1000Д	26
2.2 Електроприводи стрічкових конвеєрів	33
2.2.1 Умови роботи та вимоги до стрічкових конвеєрів	33
2.2.2 Кінематичні схеми приводних блоків і основні типи конвеєрних установок.....	36
2.3 Системи електроприводу конвеєрних установок	38
2.3.1 Нерегульований електропривод конвеєрних установок	38
2.3.2 Вибір пристрою плавного пуску	42
2.3.3 Регульований електропривод конвеєрних установок	43
2.4 Розрахунок моментів інерції електроприводів конвеєрної установки	52
2.4.1 Методики розрахунку моментів інерції електроприводів конвеєрних установок.....	52
2.4.2 Розрахунок моменту інерції дводвигунного електроприводу.....	54
2.4.3 Математичний опис електромеханічної системи стрічкового конвеєра з розімкнутої системою управління	56
2.5 Обґрунтування вибору пристрою плавного пуску типу КУВПП-250 УХЛ5	62
2.5.1 Переваги використання системи плавного пуску.....	62
2.5.2 Результати розробки нового пристрою.....	63
2.6 Організація автоматизованого контролю інформації та управління конвеєрною лінією. Вимоги до системи управління	71
2.7 Економічне обґрунтування прийнятих рішень	74
ВИСНОВОК.....	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	79
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Підземний транспорт гірничодобувного підприємства є складовою ланкою загальшахтної транспортної системи, під якою розуміють керовану сукупність взаємозалежних технологічних схем і засобів основного і допоміжного вантажопотоків гірничими виробками і на поверхні. Він являє собою багатоланкову розгалужену систему, що складається з різнотипних транспортних установок циклічної і безперервної дії із взаємозалежними параметрами, що функціонує в складних гірничо-геологічних умовах. Щодобово підземними гірничими виробками перевозяться мільйони тонн вантажів.

Характерні риси підземного транспорту:

- 1) порівняно невеликі відстані транспортування в підземних умовах при значних обсягах перевезення основних і допоміжних вантажів і людей;
- 2) нерівномірність вантажопотоків;
- 3) широка розгалуженість транспортних магістралей, що змінюють свої параметри в просторі і у часі;
- 4) наявність в одній транспортній магістралі декількох ви-дів транспорту і необхідність перевантаження у вузлах сполу-чення;
- 5) стисненість робочого простору;
- 6) агресивність, газо-, вибухонебезпечність навколишнього середовища.

Зазначені характерні риси роботи підземного транспорту визначають основні вимоги до конструкцій транспортних пристроїв, а також до компонування системи у цілому.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ДКЗ – Державна комісія України по запасам корисних копалин

ПЛА – план ліквідації аварій

ЦПП – центральна понижувальна підстанція

КРУ – комплектний розподільний пристрій

УПП – дільнична понижувальна підстанція

АПВ – автоматичне повторне включення

ВП – відокремлений підрозділ

ККД – коефіцієнт корисної дії

УПП – пристрій плавного пуску

ТК – тиристорний комутатор

ТП – тиристорний перемикач

МБУ – мікропроцесорний блок управління

КЗ – коротке замикання

КРУВ – комплектний розподільчий пристрій вибухобезпечний

КТПВ – комплектна трансформаторна підстанція вибухобезпечна

МЕК – міжнародна електротехнічна комісія

ЕРС – електрорушійна сила

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція

ПІД - пропорційно-інтегрально-диференціальний

ЗАТ - закрите акціонерне товариство

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДЗЕМНИЙ ТРАНСПОРТ ШАХТИ

Транспортування вугілля на шахті від видобувних ділень південного і північного крила до завантажувального пристрою головного ствола здійснюється за допомогою системи повної конвейеризації. Схема конвеєрного транспорту представлена на рисунку 1.1.

Технічна характеристика магістральних стрічкових конвеєрів південного і північного крила ухилом полів пласта l_1 представлена в таблиці 1.1.

Для відкатки породи, перевезення матеріалів, обладнання, доставки людей до місця роботи прийнятий рейковий транспорт. Для доставки матеріалів по конвеєрним і вентиляційним штрекам в очисні вибої, а також для обслуговування обладнання і самих виробок прийняті надгрунтові доріжки.

Значна протяжність крил (по простяганню до 3км), зумовлює застосування на шахті електровозної відкатки, призначеної для відкатки вугілля, породи, доставки матеріалів і людей по горизонтальним гірничим виробкам. Основні типи електровозів – К14, 14-КР-2, ЛМ-8Д, 4,5АРП. Вагон УГВ-3,3, ВГ-3,3. Ширина колії – 900мм. Основні типи стрічкових конвеєрів 1ЛУ-100, 2-ЛУ100, 2ЛУ100У, КЛА250, 1Л80, 2Л-80, 1Л-100К. Скребові конвеєра СП-63, СП-202, СПЦ163. Доставка матеріалів у очисні вибої проводиться по вентиляційних штреках за допомогою ДКН (дорога канатна нагрунтова) або, якщо дозволяє ухил вироблення, за допомогою акумуляторних електровозів. Доставка матеріалів і людей виконується по людських і вантажних хідниках за допомогою підземних підйомних установок типу БМ-3000, БМ-2000, БЛ-1600, ЦЗ-2,2-1.

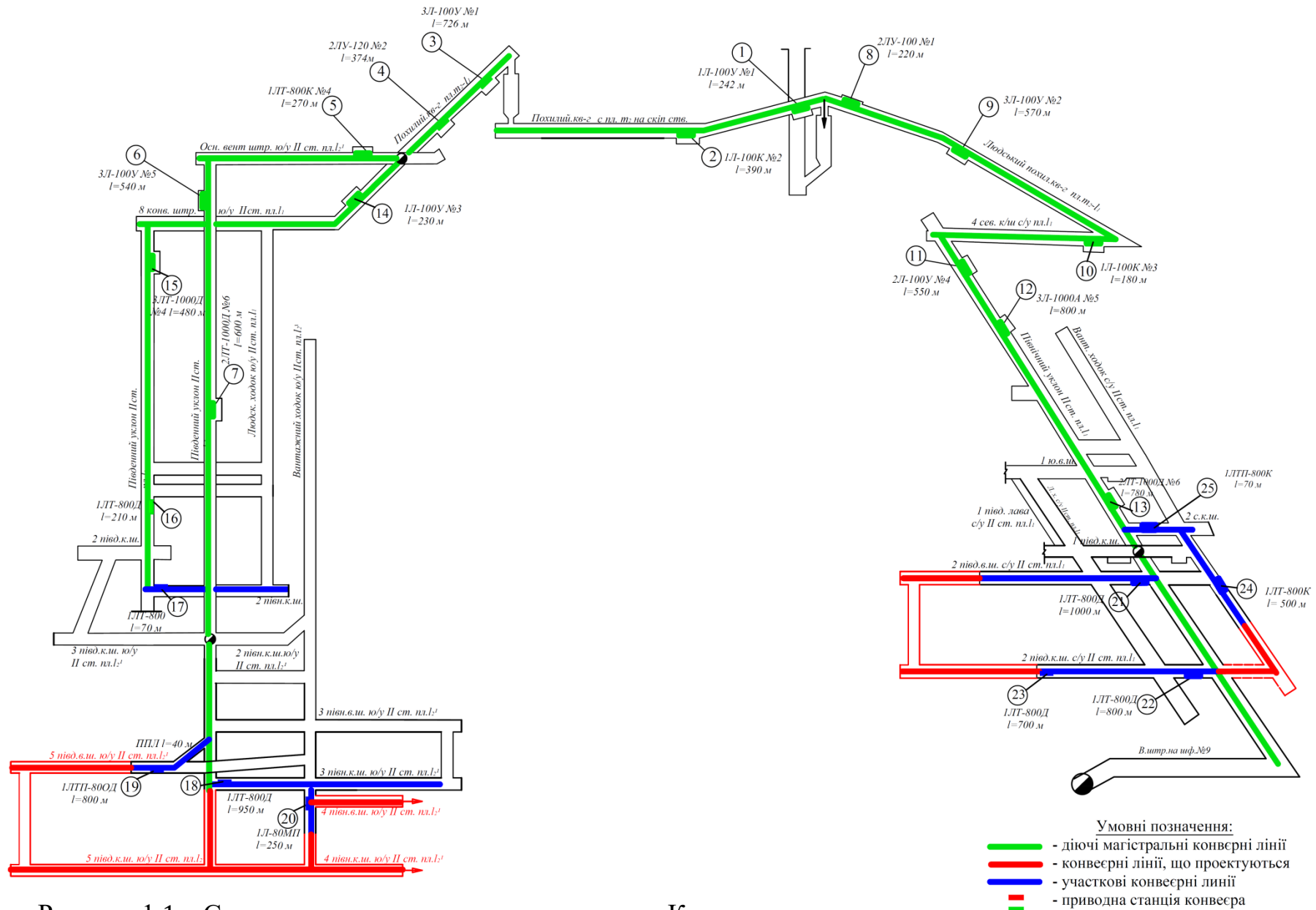


Рисунок 1.1 – Схема конвеєрного транспорту шахти «Котляревська»

Таблиця 1.1 – Характеристика стрічкових конвеєрів

Виробка	№ на схемі	Тип конвеєра	Дата вводу	Довжина конв., м	Тип редуктора	Тип двигуна	Дата навіски стрічки	Ширина ленти, м	Довжина ленти, м
Похилий квершлаг пласта m_2 -скіповий ствол	1	2Л-100У №1	1984	250	КЦН-100Д	2ВР-280 90 кВт	2003-2006	1000	500
	2	1Л-100К №2	1984	340	РЛКУ-250	2ВР-280 75 кВт	2002-2004	1000	680
Похилий квершлаг пласта m_2 - ℓ_1	3	3Л-100У №1	1995	740	Ц-630	МА-36 250 кВт	2008	1000	1480
	4	2ЛУ-120 №2	1995	480	Ц-730	МА-36 250 кВт	2004	1000	960
	14	1Л-80	2012	130	РС-800	2ВР-280 110 кВт	2012	800	260
Основний вентиляційний штрек пласта ℓ_2^1	5	1ЛТ-800К №4	2009	270	РС-1000	2ВР-280 100 кВт	2000-2002	1000	540
Південний ухил II ст. пл. ℓ_2^1	6	3Л-100У №5	2000	540	Ц-630	ВАО2-315L 200 кВт	2002-2005	1000	1080
	7	1ЛТП-800К	2010	245	РС-800	2ВР-250 110 кВт	2010	800	490
	7*	2ЛТ-1000	2012	1000	ЦДН-400	2ВР-280 132 кВт	2012	1000	2000
Людський ухил квершлаг пласта m_2 - ℓ_1	8	1Л-100У №1	2007	250	Ц-430	2ВР-280 110 кВт	2007	1000	500
	9	3Л-100У №2	2007	550	Ц-630	2ВР-350 250 кВт	2007	1000	1150
4 північний. конвеєрний. штрек пласта ℓ_1	10	1Л-100 №3	2007	170	РЛКУ-250	2ВР-280 75 кВт	2007	1000	340

Продовження таблиці 1.1

Виробка	№ на схемі	Тип конвеєра	Дата вводу	Довжина конвеєра, м	Тип редуктора	Тип двигуна	Дата навіски стрічки	Ширин а ленти, м	Довжин а ленти, м
Південний ухил пласта ℓ_1	11	2Л-100У №4	2001	550	Ц-630	2ВР-280 110 кВт	2006	1000	1140
	12	3Л-1000А	2011	680	Ц-630	ВАО-250	2011	1000	1160
	13	2Л-100У	2011	330	Ц-630	2ВР-280 110 кВт	2011	1000	840
	16*	1ЛТ-800	2012	700	РС-1000	2ВР-280 100 кВт	2012	800	1400
8 південний конвеєрний штрєк південного ухилу пласта ℓ_1	14*	1Л-100К	2012	220	Ц2-630	2ВР-280 110 кВт	2012	1000	480
Південний ухил II ст. пласта ℓ_1	15	1ЛТ-800Д	2012	480	РС-1000	2ВР-280 110 кВт	2012	800	960
	15*	3Л-1000Д	2012	680	Ц2-630	2ВР-280 250 кВт	2012	1000	1360
2 південний конвеєрний штрєк північного ухилу II ст. пласта ℓ_1	17*	2ЛТ-1000	2012	800	ЦДН-400	2ВР-280 132 кВт	2012	1000	1600
2 північний конвеєрний штрєк північного ухилу II ст. пласта ℓ_1	18*	1ЛТ-800К	2012	1050	РС-1000	2ВР-280 110 кВт	2012	800	1800
2 північний вентиляційний штрєк південного ухилу II ст. пласта ℓ_1	19*	1ЛТ-800	2012	900	РС-1000	2ВР-280 110 кВт	2012	800	1600
2 північний конвеєрний штрєк південного ухилу II ст. пласта ℓ_1	20*	1ЛТ-800	2012	800	РС-1000	2ВР-280 110 кВт	2012	800	960

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТУ ГІРНИЧОЇ МАСИ

2.1 Аналіз схеми вантажопотоків та вибір конвеєрів для перевірки

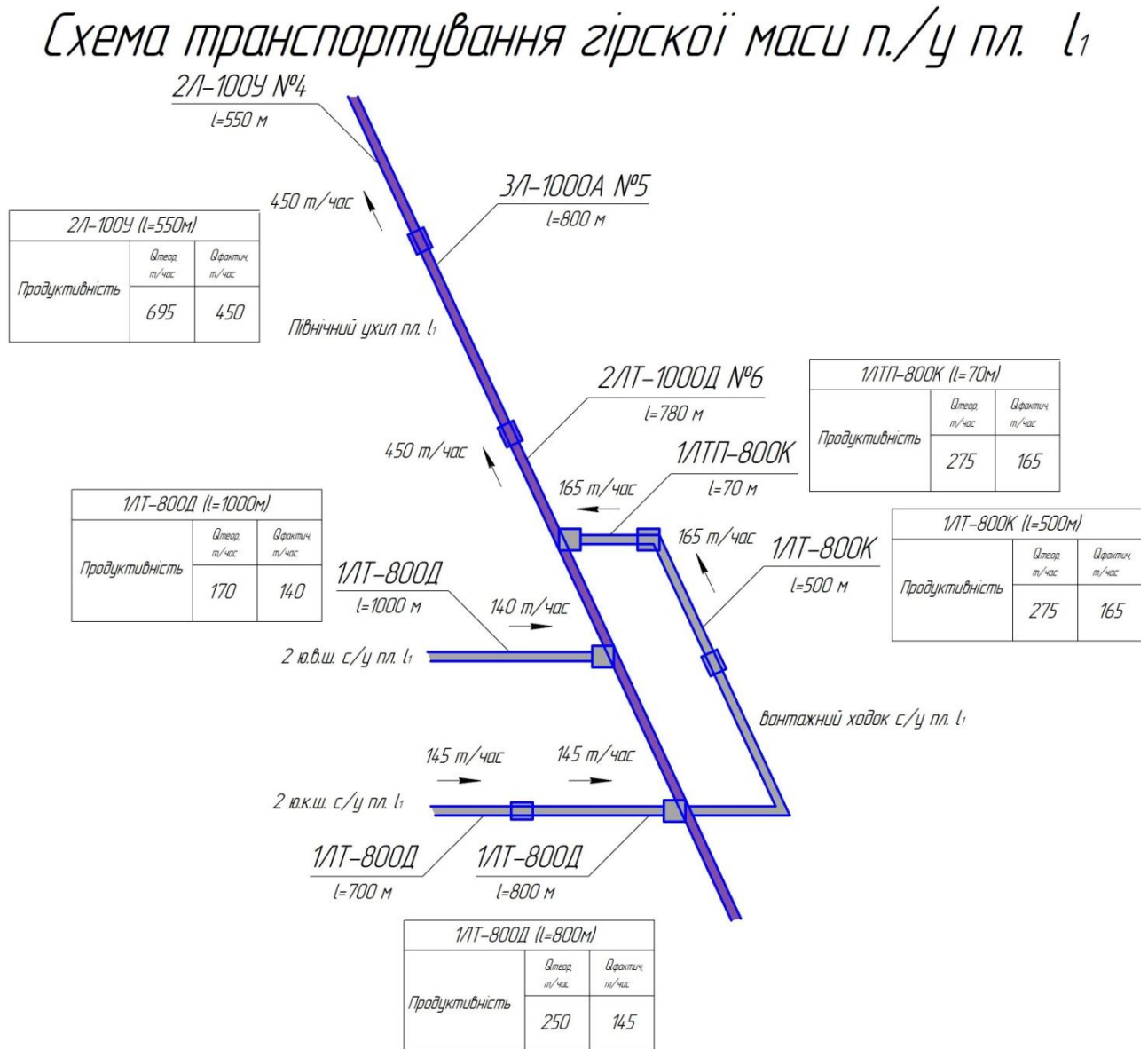


Рисунок 2.1 – Схема вантажопотоків північного ухилу пласту l_1 шахти «Котляревська»

Дивлячись на схему можна зрозуміти, що вантажопотік, який прямує з 2-го південного вентиляційного штреку, 2-го південного конвеєрного штреку та з вантажного ходку південного ухилу пласту l_1 потрапляє на магістральну конвеєрну лінію, яка обладнана конвеєрами: 2ЛТ-1000Д, 3Л-1000А, 2Л-100У.

Розрахуємо фактичну продуктивність магістральної лінії складанням фактичних продуктивностей допоміжних виробок та дільничих конвеєрних ліній:

$$Q_{\text{факт.м.}} = Q_{\text{факт.1}} + Q_{\text{факт.2}} + Q_{\text{факт.3}} = 145 + 140 + 165 = 450 \text{ т/год.}$$

Для перевірного розрахунку оберемо конвеєри, які знаходяться на магістральній лінії – 2Л-100У, 3Л-1000А, 2ЛТ-1000Д, з продуктивністю відповідно $Q_{\text{факт.м.}} = 450 \text{ т/год.}$

2.1.1 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 3Л-1000А

Виконаємо тяговий розрахунок стрічкового конвеєру 3Л-1000А, що був обраний як транспортний пристрій вантажопотоку північного похилу пласта l_1 ВП «Шахта «Котляревська».

Вихідні дані до розрахунку:

Q_e – експлуатаційна продуктивність, $Q_e = 450 \text{ т/година}$;

L – довжина транспортування, $L = 800 \text{ м}$;

β – середній кут нахилу виробки, $\beta = 3^\circ$.

Спрощена кінематична схема конвеєра наведена на рис. 2.2.

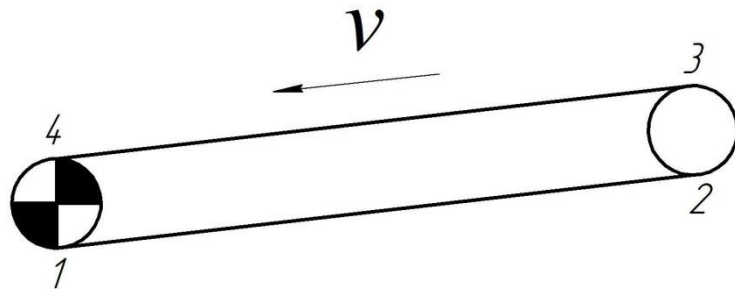


Рисунок 2.2 – Кінематична схема стрічкового конвеєру 3Л-1000А

Схема реального конвейєру має два приводних барабани, тому спрощена розрахункова схема обумовлює, що вся потужність приводу зосереджена на одному приводному барабані.

Погонна маса вантажу на стрічці конвеєра розраховується за формулою:

$$q = \frac{Q_e}{3,6 \cdot v} = \frac{450}{3,6 \cdot 2,5} = 50 \text{ кг/м}, \quad (2.1)$$

де v – швидкість руху стрічки конвеєра, $v = 2,5$ м/с.

Погонна маса роlikоопор навантаженої вітки конвеєра знаходиться за формулою:

$$q'_p = \frac{G'_p}{l'_p} = \frac{25}{1,2} = 20,8 \text{ кг/м};$$

Погонна маса роlikоопор навантаженої вітки конвеєра знаходиться за формулою:

$$q''_p = \frac{G''_p}{l''_p} = \frac{21,5}{2,4} = 9 \text{ кг/м}.$$

де G'_p і G''_p – маса обертових частин роlikоопор на вантажній та порожній вітках конвеєрної стрічки відповідно, при діаметрі роликів 127 мм:

$$G'_p = 25 \text{ кг}, \quad G''_p = 21,5 \text{ кг};$$

l'_p і l''_p – відстань між роlikоопорами на навантажєній та порожній вітках стрічкового конвеєра:

$$l'_p = 1,2 \text{ м}, \quad l''_p = 2,4 \text{ м}.$$

Визначимо за застосованою потужністю електродвигунів стрічкового конвеєру максимальне можливе зусилля при транспортуванні гірничої маси:

$$W_{om} = 708 \cdot \frac{N_y}{v} = 708 \cdot \frac{2 \times 250}{2,5} = 141600 \text{ Н},$$

де N_y – застосована потужність електродвигунів, $N_y = 2 \times 250$ кВт.

Максимальний натяг конвеєрної стрічки для даного випадку буде:

$$S'_{max} = W_{om} \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} = 141600 \cdot \frac{7,77}{7,77 - 1} = 162516 \text{ Н},$$

де α – кут обхвату приводних барабанів, $\alpha = 470^\circ$ або 8,2 рад;

μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном (вогнестійка обкладка, футерований барабан, виробка примикає до очисного вибою), $\mu = 0,25$;

$e^{\mu\alpha}$ – тяговий фактор, $e^{\mu\alpha} = 7,77$.

За величиною S_{max} обираємо тип конвеєрної стрічки:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max} \cdot m}{B} = \frac{162516 \cdot 7}{100} = 11376 \text{ Н/см},$$

де $i \cdot \sigma$ – розривне зусилля конвеєрної стрічки з урахуванням всіх прокладок, Н/см;

i – число прокладок;

σ – розривне зусилля однієї прокладки, Н/см;

B – ширина конвеєрної стрічки, $B = 100$ см;

m – запас міцності конвеєрної стрічки похилового конвеєру, $m = 7$.

За цими даними обираємо конвеєрну стрічку типу 2РШТЛК-200 з шістьма тканинними прокладками ТК-200, для якої $\sigma = 1960 \text{ Н/см}$, а

$$i \cdot \sigma = 6 \cdot 1960 = 11760 \text{ Н/см.}$$

Погонна маса конвеєрної стрічки типу 2РШТЛК-200 становить:

$$q_{\text{л}} = 17,6 \text{ кг/м.}$$

Опір руху навантаженої і порожньої вітки конвеєрної стрічки:

$$\begin{aligned} W_{\text{н}} &= [(q_{\text{л}} + q'_p + q) \cdot \omega \cdot \cos\beta + (q_{\text{л}} + q) \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{н}} = \\ &= [(17,6 + 20,8 + 50) \cdot 0,04 \cdot \cos 3^\circ + (17,6 + 50) \cdot \sin 3^\circ] \cdot 9,81 \\ &\times 800 = 55478 \text{ Н,} \end{aligned}$$

де ω – коефіцієнт опору руху стрічки, $\omega = 0,04$;

$L_{\text{н}}$ – довжина навантаженої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{н}} = 800 \text{ м}$.

$$\begin{aligned} W_{\text{пор}} &= [(q_{\text{л}} + q''_p) \cdot \omega \cdot \cos\beta - q_{\text{л}} \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{п}} = \\ &= [(17,6 + 9) \cdot 0,04 \cdot \cos 3^\circ - 17,6 \cdot \sin 3^\circ] \cdot 9,81 \cdot 750 = 1052 \text{ Н,} \end{aligned}$$

де $L_{\text{п}}$ – довжина порожньої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{п}} = 750 \text{ м}$.

Максимальне тягове зусилля, яке може розвинути електропривод стрічкового конвеєра 3Л-1000А буде:

$$W'_0 = k \cdot (W_{\text{н}} + W_{\text{пор}}) = 1,3 \cdot (55478 + 1052) = 73489 \text{ Н,}$$

де k – коефіцієнт, що враховує місцеві опори при руху стрічки, $k = 1,3$.

Натяг конвеєрної стрічки типу 2РШТЛК-200 завантаженої вітки для уникнення її провисання повинен бути не менше:

$$S_{\text{н}}^{\text{min}} \geq 5 \cdot (q + q_{\text{л}}) \cdot g \cdot l_p' = 5 \cdot (50 + 17,6) \cdot 9,81 \cdot 1,2 = 3979 \text{ Н.}$$

Натяг конвеєрної стрічки типу 2РШТЛК-200 в точці її збігання з приводного барабану для уникнення пробуксування повинен бути не менше:

$$S_{\text{сб}}^{\text{min}} \geq \frac{k_m \cdot W_0'}{e^{\mu\alpha} - 1} = \frac{1,2 \cdot 73489}{7,77 - 1} = 13026 \text{ Н,}$$

де k_m – коефіцієнт запасу сил зчеплення, $k_m = 1,2$.

Визначимо тягові зусилля конвеєрної стрічки типу 2РШТЛК-200 методом обходу за контуром. Для уникнення пробуксування конвеєрної стрічки на приводному барабані повинен бути створений початковий натяг:

$$S_1 \geq S_{\text{сб}}^{\text{min}}.$$

За розрахунками $S_{\text{сб}}^{\text{min}} = 13026 \text{ Н}$. Прийmemo натяг $S_1 = 13500 \text{ Н}$.

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = S_1 + W_{\text{пор}} = 13500 + 1052 = 14552 \text{ Н;}$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_2 + 0,05 \cdot S_2 = 14552 + 728 = 15280 \text{ Н.}$$

Точка 3 має мінімальний натяг конвеєрної стрічки типу 2РШТЛК-200 на навантаженій вітці $S_3 = 15280 \text{ Н}$, а $S_{\text{н}}^{\text{min}} = 3979 \text{ Н}$, то умова відсутності надмірного провисання стрічки на навантаженій вітці $S_3 \geq S_{\text{н}}^{\text{min}}$ виконується.

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_3 + W_{\text{н}} = 15280 + 55478 = 70758 \text{ Н;}$$

Отже, натяг конвеєрної стрічки в точці набігання на приводний барабан складе $S_{нб} = S_4 = 70758 \text{ Н}$.

Сумарне тягове зусилля електроприводу конвеєру 3Л-1000А складе:

$$W_0 = S_{нб} - S_{сб} + k_{пр}(S_{нб} + S_{сб}) = 70758 - 13500 + 0,04 \cdot (70758 + 13500) = 60628 \text{ Н},$$

де $k_{пр}$ – коефіцієнт опору руху стрічки на приводному барабані, $k_{пр} = 0,04$.

Для остаточного вибору типу конвеєрної стрічки дійсний максимальний натяг, який визначили вище, буде $S_{max_d} = S_4 = 70758 \text{ Н}$, а допустиме максимальне зусилля конвеєрної стрічки $S_d \geq S_{max_d}$.

Отже, з урахуванням максимального натягу та кількості тканинних прокладок:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max_d} \cdot m}{B} = \frac{70758 \cdot 7}{100} = 4953 \text{ Н}.$$

Остаточно обираємо конвеєрну стрічку типу 2ШБКНЛ-100 із шістьма тканинними прокладками БКНЛ-100, міцність на розрив якої становить:

$$S_d = \frac{i \cdot \sigma \cdot B}{m} = \frac{6 \cdot 980 \cdot 100}{7} = 84000 \text{ Н}.$$

Необхідна загальна потужність електродвигунів приводу стрічкового конвеєра 3Л-1000А повинна бути:

$$N_{п} = \frac{k_3 \cdot W_0 \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1,2 \cdot 60628 \cdot 2,5}{1000 \cdot 0,8} = 227,4 \text{ кВт}.$$

Діаграма натягу конвеєрної стрічки представлена на рисунку 2.3.

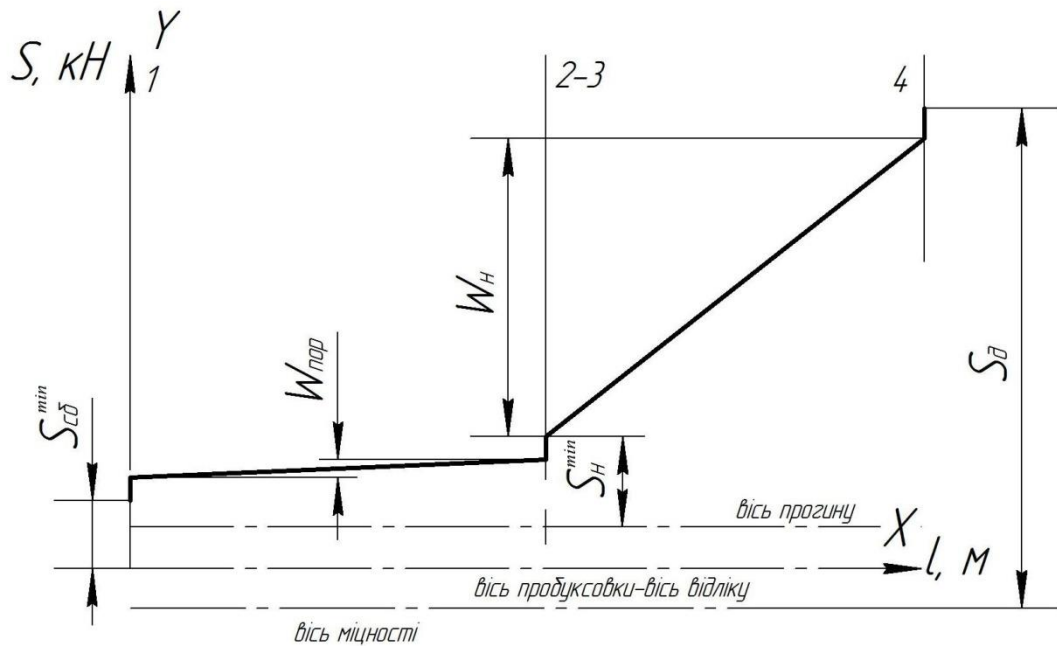


Рисунок 2.3 – Діаграма натягу тягового органу конвеєра 3Л-1000А

2.1.2 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 2Л-100У

Виконаємо тяговий розрахунок стрічкового конвеєра типу 2Л-100У, що був обраний як транспортний засіб гірничої маси північного похилу пласта l_1 Відокремленого підрозділу «Шахта «Котляревська».

Вихідні дані до розрахунку:

Q_e – експлуатаційна продуктивність, $Q_e = 450$ т/година;

L – довжина транспортування, $L = 550$ м;

β – середній кут нахилу виробки, $\beta = 3^\circ$.

Кінематична схема конвеєра наведена на рисунку 2.4.

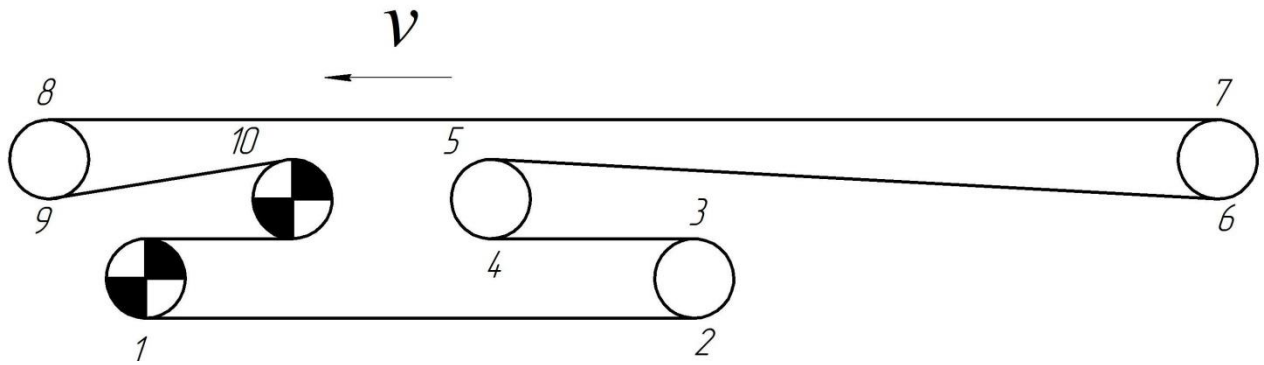


Рисунок 2.4 – Кінематична схема стрічкового конвеєру 2Л-100У

Погонна маса вугілля на стрічці конвеєра 2Л-100У розраховується за формулою:

$$q = \frac{Q_e}{3,6 \cdot v} = \frac{450}{3,6 \cdot 2,5} = 50 \text{ кг/м},$$

де v – швидкість руху стрічки конвеєра, $v = 2,5$ м/с.

Погонна маса роlikоопор навантаженої вітки стрічкового конвеєра знаходиться за формулою:

$$q'_p = \frac{G'_p}{l'_p} = \frac{25}{1,2} = 20,8 \text{ кг/м};$$

Погонна маса роlikоопор порожньої вітки конвеєра знаходиться за формулою:

$$q''_p = \frac{G''_p}{l''_p} = \frac{21,5}{2,4} = 9 \text{ кг/м}.$$

де G'_p і G''_p – маса обертових частин роlikоопор на вантажній та порожній вітках конвеєрної стрічки відповідно, при діаметрі роликів 127 мм:

$$G'_p = 25 \text{ кг}, \quad G''_p = 21,5 \text{ кг};$$

l'_p і l''_p – відстань між роlikоопорами на навантаженій та порожній вітках стрічкового конвеєра:

$$l'_p = 1,2 \text{ м}, \quad l''_p = 2,4 \text{ м}.$$

Визначимо за застосованою потужністю електродвигунів стрічкового конвеєру максимальне можливе зусилля при транспортуванні гірничої маси:

$$W_{om} = 708 \cdot \frac{N_y}{v} = 708 \cdot \frac{110 \cdot 2}{2,5} = 62304 \text{ Н},$$

де N_y – встановлена потужність електродвигунів приводу стрічкового конвеєру 2Л-100У, $N_y = 2 \times 110 \text{ кВт}$.

Максимальний натяг конвеєрної стрічки, який може створити електропривод стрічкового конвеєру 2Л-100У:

$$S'_{max} = W_{om} \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} = 62304 \cdot \frac{10,1}{10,1 - 1} = 69151 \text{ Н},$$

де α – кут обхвату приводних барабанів, $\alpha = 470^\circ$ або 8,2 рад;

μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном (вогнестійка обкладка, футерований барабан, виробка не примикає до очисного вибою), $\mu = 0,3$;

$e^{\mu\alpha}$ – тяговий фактор, $e^{\mu\alpha} = 10,1$.

За величиною S_{max} обираємо тип конвеєрної стрічки:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max} \cdot m}{B} = \frac{69151 \cdot 8,5}{100} = 5878 \text{ Н/см},$$

де $i \cdot \sigma$ – зусилля на розрив конвеєрної стрічки з урахуванням всіх прокладок, Н/см;

i – кількість прокладок;

σ – зусилля на розрив однієї прокладки, Н/см;

B – ширина стрічки, $B = 100$ см;

m – прийнятий запас міцності конвеєрної стрічки, $m = 8,5$.

Приймаємо попередньо конвеєрну стрічку 2ШТК-150 з чотирма тканинними прокладками ТК-150, для якої $\sigma = 1470$ Н/см:

$$i \cdot \sigma = 4 \cdot 1470 = 5880 \text{ Н/см}.$$

Погонна маса конвеєрної стрічки 2ШТК-150 становить $q_{\text{л}} = 13,1$ кг/м.

Опір руху навантаженої і порожньої вітки конвеєрної стрічки

$$\begin{aligned} W_{\text{н}} &= [(q_{\text{л}} + q'_p + q) \cdot \omega \cdot \cos\beta + (q_{\text{л}} + q) \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{н}} = \\ &= [(13,1 + 20,8 + 50) \cdot 0,035 \cdot \cos 5^\circ + (13,1 + 50) \cdot \sin 5^\circ] \cdot 9,81 \cdot \\ &\cdot 550 = 45470 \text{ Н}, \end{aligned}$$

де ω – коефіцієнт опору при руху конвеєрної стрічки типу 2ШТК-150, $\omega = 0,035$;

$L_{\text{н}}$ – довжина навантаженої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{н}} = 550$ м.

$$W_{\text{пор}} = [(q_{\text{л}} + q_{\text{п}}'') \cdot \omega \cdot \cos\beta - q_{\text{л}} \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{п}} =$$

$$= [(13,1 + 9) \cdot 0,035 \cdot \cos 5^\circ - 13,1 \cdot \sin 5^\circ] \cdot 9,81 \cdot 500 = -1808 \text{ Н},$$

де $L_{\text{п}}$ – довжина порожньої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{п}} = 500 \text{ м}$.

Тягове зусилля, яке може створити електропривод конвеєра 2Л-100У:

$$W'_0 = k \cdot (W_{\text{н}} + W_{\text{пор}}) = 1,3 \cdot (45470 - 1808) = 43662 \text{ Н},$$

де k – коефіцієнт, що враховує місцеві опори руху стрічки, $k = 1,3$.

Натяг конвеєрної стрічки типу 2ШТК-150 завантаженої вітки для уникнення її провисання повинен бути не менше:

$$S_{\text{н}}^{\text{min}} \geq 5 \cdot (q + q_{\text{л}}) \cdot g \cdot l'_p = 5 \cdot (50 + 13,1) \cdot 9,81 \cdot 1,2 = 3714 \text{ Н}.$$

Натяг конвеєрної стрічки типу 2ШТК-150 в точці її збігання з приводного барабану для уникнення пробуксування повинен бути не менше:

$$S_{\text{сб}}^{\text{min}} \geq \frac{k_m \cdot W'_0}{e^{\mu\alpha} - 1} = \frac{1,2 \cdot 43662}{10,1 - 1} = 5758 \text{ Н}.$$

Визначимо тягові зусилля конвеєрної стрічки типу 2ШТК-150 методом обходу за контуром (рисунок 2.4). Для уникнення пробуксування конвеєрної стрічки на приводному барабані повинен бути створений початковий натяг:

$$S_1 \geq S_{\text{сб}}^{\text{min}}.$$

За розрахунками $S_{\text{сб}}^{\text{min}} = 5758 \text{ Н}$, тому приймаємо $S_1 = 5800 \text{ Н}$.

Через те, що довжина ділянки 1-2 мала в порівнянні з довжиною конвеєра, вважаємо, що:

$$S_2 = S_1 = 5800 \text{ Н};$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_2 + 0,05 \cdot S_2 = 5800 + 290 = 6090 \text{ Н};$$

Через те, що довжина ділянки 3-4 мала в порівнянні з довжиною конвеєра, вважаємо, що:

$$S_4 = S_3 = 6090 \text{ Н};$$

$$S_5 = S_4 + W_{4-5} = S_4 + 0,05 \cdot S_4 = 6090 + 305 = 6395 \text{ Н};$$

$$S_6 = S_5 + W_{5-6} = S_5 + W_{\text{пор}} = 6395 - 2707 = 3688 \text{ Н};$$

$$S_7 = S_6 + W_{6-7} = S_6 + 0,05 \cdot S_6 = 3688 + 184 = 3872 \text{ Н}.$$

Точка 7 має мінімальний натяг стрічки на навантаженій вітці, тому що $S_7 = 3872 \text{ Н}$, а $S_{\text{н}}^{\text{min}} = 3714 \text{ Н}$, та провисання конвеєрної стрічки 2ШТК-150 на навантаженій вітці не буде ($S_7 \geq S_{\text{н}}^{\text{min}}$ – умова виконується).

$$S_8 = S_7 + W_{7-8} = S_7 + W_{\text{н}} = 3872 + 45470 = 49342 \text{ Н};$$

$$S_9 = S_8 + W_{8-9} = S_8 + 0,05 \cdot S_8 = 49342 + 2467 = 51809 \text{ Н};$$

Через те, що довжина ділянки 9-10 мала в порівнянні з довжиною конвеєра, вважаємо, що:

$$S_{10} = S_9;$$

$$S_{10} = 51809 \text{ Н}.$$

Натяг стрічки типу 2ШТК-150 в точці набігання на приводний барабан стрічкового конвеєру 2Л-100У буде найбільшим $S_{\text{н6}} = S_{10} = 51809 \text{ Н}$.

Уточнюємо тягове зусилля електроприводу конвеєру 2Л-100У:

$$W_0 = S_{нб} - S_{сб} + k_{пр}(S_{нб} + S_{сб}) = 51809 - 5800 + 0,035 \cdot (51809 + 5800) = 43993 \text{ Н},$$

де $k_{пр}$ – коефіцієнт опору руху стрічки 2ШТК-150 на приводному барабані конвеєру 2Л-100У, $k_{пр} = 0,035$.

Для остаточного вибору типу конвеєрної стрічки дійсний максимальний натяг, який визначили вище, буде $S_{max_d} = S_{10} = 51809 \text{ Н}$, а допустиме максимальне зусилля конвеєрної стрічки $S_d \geq S_{max_d}$.

Отже, з урахуванням максимального натягу та кількості тканинних прокладок:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max_d} \cdot m}{B} = \frac{51809 \cdot 8,5}{100} = 4404 \text{ Н}.$$

Остаточно обираємо конвеєрну стрічку 2ШТК-100 із п'ятьма прокладками ТК-100, міцність на розрив якої становить:

$$S_d = \frac{i \cdot \sigma \cdot B}{m} = \frac{5 \cdot 980 \cdot 100}{8,5} = 57647 \text{ Н}.$$

Необхідна загальна потужність електродвигунів приводу стрічкового конвеєра 2Л-100У повинна бути:

$$N_{п} = \frac{k_3 \cdot W_0 \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1,2 \cdot 43993 \cdot 2,5}{1000 \cdot 0,8} = 165 \text{ кВт}.$$

Діаграма натягу конвеєрної стрічки представлена на рисунку 2.5.

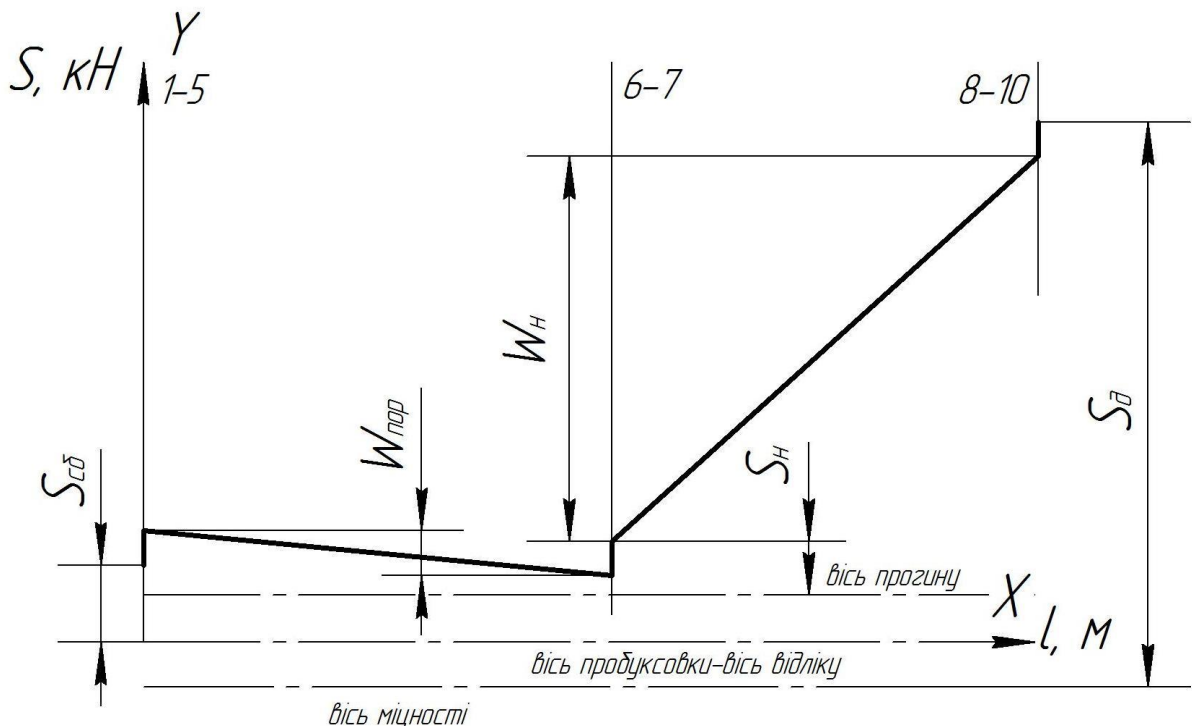


Рисунок 2.5 – Діаграма натягу тягового органу конвеєра 2Л-100У

2.1.3 Перевірочний розрахунок стрічкового конвеєру 2ЛТ-1000Д

Виконаємо тяговий розрахунок стрічкового конвеєра 2ЛТ-1000Д, що був застосований як транспортний засіб гірничої маси на північному похилі пласта l_1 ВП «Шахта «Котляревська».

Вихідні дані до розрахунку:

Q_e – експлуатаційна продуктивність, $Q_e = 450$ т/година;

L – довжина транспортування, $L = 780$ м;

β – середній кут нахилу виробки, $\beta = 3^\circ$.

Кінематична схема конвеєра наведена на рисунку 2.6.

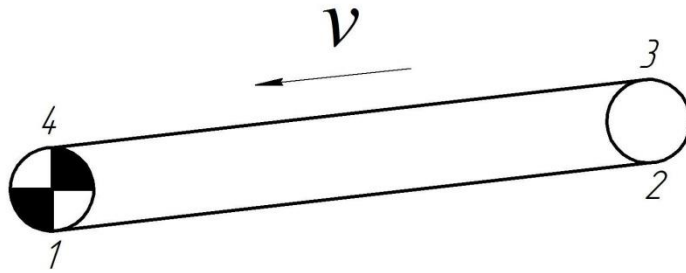


Рисунок 2.6 – Кінематична схема стрічкового конвеєру 2ЛТ-1000Д

Погонна маса вугілля на стрічці конвеєра 2ЛТ-1000Д розраховується за формулою:

$$q = \frac{Q_e}{3,6 \cdot v} = \frac{450}{3,6 \cdot 2,0} = 62,5 \text{ кг/м},$$

де v – швидкість руху стрічки конвеєра, $v = 2,0$ м/с.

Погонна маса роlikоопор навантаженої вітки конвеєра 2ЛТ-1000Д знаходиться за формулою:

$$q'_p = \frac{G'_p}{l'_p} = \frac{25}{1,2} = 20,8 \text{ кг/м};$$

Погонна маса роlikоопор порожньої вітки конвеєра 2ЛТ-1000Д знаходиться за формулою:

$$q''_p = \frac{G''_p}{l''_p} = \frac{21,5}{2,4} = 9 \text{ кг/м}.$$

де G'_p і G''_p – маса обертових частин роlikоопор на вантажній та порожній вітках конвеєрної стрічки відповідно, при діаметрі роликів 127 мм:

$$G'_p = 25 \text{ кг}, \quad G''_p = 21,5 \text{ кг};$$

l'_p і l''_p – відстань між роликоопорами на навантаженій та порожній вітках стрічкового конвеєра:

$$l'_p = 1,2 \text{ м}, \quad l''_p = 2,4 \text{ м}.$$

Визначимо за застосованою потужністю електродвигунів стрічкового конвеєру 2ЛТ-1000Д максимальне можливе зусилля при транспортуванні гірничої маси:

$$W_{om} = 708 \cdot \frac{N_y}{v} = 708 \cdot \frac{110 \times 2}{2} = 77880 \text{ Н},$$

де N_y – встановлена потужність електродвигунів стрічкового конвеєру типу 2ЛТ-1000Д, $N_y = 2 \times 110 \text{ кВт}$.

Максимальний натяг конвеєрної стрічки для даного випадку буде:

$$S'_{max} = W_{om} \cdot \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} = 77880 \cdot \frac{10,1}{10,1 - 1} = 86438 \text{ Н},$$

де α – кут обхвату приводних барабанів, $\alpha = 470^\circ$ або 8,2 рад;

μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном (вогнестійка обкладка, футерований барабан, виробка не примикає до очисного вибою), $\mu = 0,3$;

$e^{\mu\alpha}$ – тяговий фактор, $e^{\mu\alpha} = 10,1$.

За максимальним натягом S_{max} попередньо обираємо тип конвеєрної стрічки:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max} \cdot m}{B} = \frac{86438 \cdot 7}{100} = 6050 \text{ Н/см},$$

де $i \cdot \sigma$ – розривне зусилля конвеєрної стрічки з урахуванням всіх прокладок, Н/см;

i – кількість прокладок;

σ – зусилля на розрив однієї прокладки, Н/см;

B – ширина стрічки, $B = 100$ см;

m – прийнятий запас міцності конвеєрної стрічки, $m = 7$.

Попередньо приймаємо конвеєрну стрічку типу 2ШБКНЛ-100 з сімома тканинними прокладками БКНЛ-100, для якої $\sigma = 980$ Н/см:

$$i \cdot \sigma = 7 \cdot 980 = 6860 \text{ Н/см.}$$

Погонна маса конвеєрної стрічки 2ШБКНЛ-100 становить $q_{\text{л}} = 15,2$ кг/м.

Опір руху навантаженої і порожньої вітки конвеєрної стрічки буде:

$$\begin{aligned} W_{\text{н}} &= [(q_{\text{л}} + q'_p + q) \cdot \omega \cdot \cos\beta + (q_{\text{л}} + q) \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{н}} = \\ &= [(15,2 + 20,8 + 62,5) \cdot 0,035 \cdot \cos 3^\circ + (15,2 + 62,5) \cdot \sin 3^\circ] \cdot 9,81 \\ &\times 780 = 57461 \text{ Н,} \end{aligned}$$

де ω – коефіцієнт опору руху стрічки, $\omega = 0,035$;

$L_{\text{н}}$ – довжина навантаженої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{н}} = 780$ м;

$$\begin{aligned} W_{\text{пор}} &= [(q_{\text{л}} + q''_p) \cdot \omega \cdot \cos\beta - q_{\text{л}} \cdot \sin\beta] \cdot g \cdot L_{\text{п}} = \\ &= [(15,2 + 9) \cdot 0,035 \cdot \cos 3^\circ - 15,2 \cdot \sin 3^\circ] \cdot 9,81 \cdot 730 = 358 \text{ Н,} \end{aligned}$$

де $L_{\text{п}}$ – довжина порожньої вітки конвеєрної стрічки, $L_{\text{п}} = 730$ м.

Тягове зусилля, яке може створити електропривод конвеєра 2ЛТ-1000Д:

$$W'_0 = k \cdot (W_{\text{н}} + W_{\text{пор}}) = 1,3 \cdot (57461 + 358) = 75165 \text{ Н},$$

Натяг конвеєрної стрічки типу 2ШБКНЛ-100 завантаженої вітки для уникнення її провисання повинен бути не менше:

$$S_{\text{н}}^{\text{min}} \geq 5 \cdot (q + q_{\text{л}}) \cdot g \cdot l'_p = 5 \cdot (62,5 + 15,5) \cdot 9,81 \cdot 1,2 = 4591 \text{ Н}.$$

Натяг конвеєрної стрічки типу 2ШБКНЛ-100 в точці її збігання з приводного барабану для уникнення пробуксування повинен бути не менше:

$$S_{\text{сб}}^{\text{min}} \geq \frac{k_m \cdot W'_0}{e^{\mu\alpha} - 1} = \frac{1,2 \cdot 75165}{10,1 - 1} = 9912 \text{ Н}.$$

Визначимо тягові зусилля конвеєрної стрічки типу 2ШБКНЛ-100 методом обходу за контуром. Для уникнення пробуксування конвеєрної стрічки на приводному барабані повинен бути створений початковий натяг:

$$S_1 \geq S_{\text{сб}}^{\text{min}}.$$

За нашими розрахунками $S_{\text{сб}}^{\text{min}} = 9912 \text{ Н}$, тому прийmemo $S_1 = 10500 \text{ Н}$.

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = S_1 + W_{\text{пор}} = 10500 + 358 = 10858 \text{ Н};$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_2 + 0,05 \cdot S_2 = 10858 + 543 = 11401 \text{ Н}.$$

Точка 3 має мінімальний натяг стрічки на навантаженій вітці з величиною $S_3 = 11401 \text{ Н}$, а так як $S_{\text{н}}^{\text{min}} = 4591 \text{ Н}$, то провисання конвеєрної стрічки 2ШБКНЛ-100 на навантаженій вітці не буде ($S_3 \geq S_{\text{н}}^{\text{min}}$ – умова виконується).

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_3 + W_H = 11401 + 57461 = 68862 \text{ Н.}$$

Натяг стрічки в точці набігання на приводний барабан буде найбільшим $S_{нб} = S_4 = 68862 \text{ Н.}$

Уточнюємо тягове зусилля електроприводу конвеєру 2ЛТ-1000Д:

$$W_0 = S_{нб} - S_{сб} + k_{пр}(S_{нб} + S_{сб}) = 68862 - 10500 + 0,035 \cdot (68862 + 10500) = 55584 \text{ Н,}$$

де $k_{пр}$ – коефіцієнт опору руху стрічки 2ШБКНЛ-100 на приводному барабані конвеєру 2ЛТ-1000Д, $k_{пр} = 0,035$.

Для остаточного вибору типу конвеєрної стрічки дійсний максимальний натяг, який визначили вище, буде $S_{max_d} = S_4 = 68862 \text{ Н}$, а допустиме максимальне зусилля конвеєрної стрічки $S_d \geq S_{max_d}$.

Отже, з урахуванням максимального натягу та кількості тканинних прокладок:

$$i \cdot \sigma = \frac{S_{max_d} \cdot m}{B} = \frac{68862 \cdot 7}{100} = 4820 \text{ Н.}$$

Остаточно обираємо конвеєрну стрічку 2ШБКНЛ-100 із п'ятьма прокладками БКНЛ-100, міцність на розрив якої становить:

$$S_d = \frac{i \cdot \sigma \cdot B}{m} = \frac{5 \cdot 980 \cdot 100}{7} = 70000 \text{ Н.}$$

Необхідна загальна потужність електродвигунів приводу стрічкового конвеєра 2ЛТ-1000Д повинна бути:

$$N_{\pi} = \frac{k_3 \cdot W_0 \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{1,2 \cdot 55584 \cdot 2,0}{1000 \cdot 0,8} = 166,8 \text{ кВт.}$$

Діаграма натягу конвеєрної стрічки представлена на рисунку 2.7.

Підсумуємо отримані за допомогою розрахунку дані та занесемо їх до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика конвеєрів 3Л-1000А, 2ЛТ-1000Д та 2Л-100У

Характеристика	Конвеєр		
	3Л-1000А	2ЛТ-1000Д	2Л-100У
Довжина транспортування, м	800	780	550
Експлуатаційна продуктивність, т/год	450	450	450
Встановлена потужність, кВт	250×2	110×2	110×2
Необхідна сумарна потужність, кВт	227,4	166,8	165
Тип конвеєрної стрічки	2ШБКНЛ-100	2ШБКНЛ-100	2ШТК-100

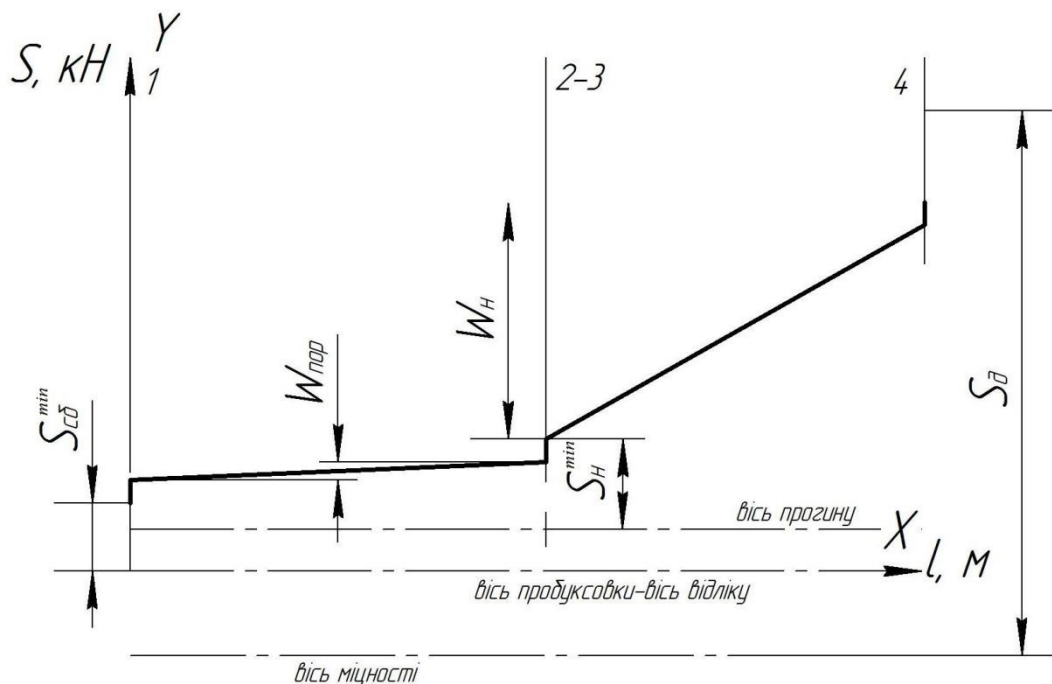


Рисунок 2.7 – Діаграма натягу тягового органу конвеєра 2ЛТ-1000Д

2.2 Електроприводи стрічкових конвеєрів

2.2.1 Умови роботи та вимоги до стрічкових конвеєрів

Особливості умов експлуатації конвеєрного транспорту визначають гірничо-геологічні і гірничотехнічні фактори. Причому ступінь несприятливості умов при розробці корисних копалин підземним способом, як правило, зростає в напрямку від навколоствольного двору до підготовчого і, особливо, очисного вибоїв. Необхідно приймати до уваги наступні основні групи факторів: середовище, робочий простір і навантаження.

Середовище відрізняється вибухонебезпечністю, вологістю й агресивністю, абразивністю, запиленістю, підвищеною температурою й іншими властивостями, що ускладнюють експлуатацію.

Вибухонебезпечність рудничної атмосфери обумовлена, головним чином, наявністю метану, концентрація якого залежить не тільки від газоносності пласту, але і швидкості підвигання лінії очисних вибоїв та їх провітрювання. Тому все транспортне устаткування повинне бути виготовлене в рудничному виконанні, що забезпечує не тільки вибухозахист, але і відсутність проникнення вологи усередину оболонок електроустаткування. Вибухонебезпечний і вугільний пил, концентрація якого обумовлена як властивостями корисної копалини, так і конструкцією виконавчого органу виймальної машини і видом транспортного устаткування. Два несприятливих фактори – подрібнення корисної копалини і супровідне йому пилоутворення, таким чином, виявляються взаємозалежними. Зменшення першого призводить до зниження другого. Місцями найбільш інтенсивного пилоутворення вважаються пункти перевантаження корисної копалини з одного транспортного засобу на інший. У цих пунктах повинні застосовуватися засоби пилоподавлення, такі як зрошення, пиловідсмоктування й ін. У свою чергу, і вузли транспортного устаткування повинні бути надійно захищені від проникнення пилу. Це відноситься, зокрема, до підшипникових вузлів,

редукторів, гідравлічних і іншого виду муфт, направляючих шарнірів та ін. Повинна бути приділена серйозна увага як ущільнювальним пристроям, так і очищенню тягового органа. Вимоги до вибухо- і пожежозахищеності транспортної машини в цілому відносяться до числа основних.

Вологість середовища залежить, головним чином, від водоносності порід, що при припливах більш $5 \text{ м}^3/\text{год}$ вважають несприятливою. Вологість може викликати вимивання змащення з підшипникових вузлів. Волога може привести до корозії деяких матеріалів, таких як прокладки несинтетичних конвеєрних стрічок, дерев'яні шпали і підкладки під секції конвеєрів, тощо. Тому потрібно уникати використання здатних до корозії матеріалів або вони повинні бути просочені антисептиками. Оскільки рясна волога погіршує санітарно-гігієнічні умови роботи, не рекомендуються очищення конвеєрів гідравлічним способом і перевагу варто віддавати «сухим» способам. При передачі в машині стискального зусилля тертям (між конвеєрною стрічкою і барабаном) вологість середовища викликає зменшення коефіцієнта зчеплення. Вологість шахтного середовища, як правило, сполучається з його хімічною активністю, що приводить до корозії металу. Боротьба з нею протікає в напрямку застосування легованих чи низьколегованих сталей, а також антикорозійних покриттів у виді полімерних матеріалів, спеціальних лаків, раціонального фарбування.

Абразивність середовища виявляється через істираючу здатність гірничої маси при її терті по вантажонесучому органу чи іншим елементам транспортної машини. Особливо значно виявляється абразивність гірничої маси на конвеєрах. Якщо вугілля не володіє значною абразивністю, то супутні породи, навпаки, можуть відчутно стирати конвеєрну стрічку. Якщо ступінь абразивності залежить головним чином від твердості часток вантажу, то гострограність – від наявності гострих ріжучих граней, що можуть бути й у слабкоабразивних вантажів, таких як кам'яне вугілля. Гострограність може привести до розрізування обкладок або навіть пробою стрічки при падінні

вантажу на неї з досить великої висоти. Для захисту стрічки застосовують, зокрема, спеціальні завантажувальні пристрої.

Робочий простір характеризується скрутністю і мінливістю робочого місця, похилим розташуванням і мінливістю кута нахилу, викривленістю в плані і профілі, схильністю до деформацій, великою довжиною. Один з напрямків підвищення компактності редукторів і інших вузлів полягає в застосуванні спеціальних високоміцних сталей і відповідної термічної обробки. Компактність приводних станцій спрощує також устаткування перевантажувальних пунктів з одного конвеєра на наступний. Мінливість робочого місця пересувних і напівстаціонарних транспортних установок вимагає застосування стрічкових конвеєрів телескопічні конструкції. Ці вимоги сполучаються з необхідністю швидкості і зручності збирання-розбирання у випадку ремонту на нове місце, що досягається, зокрема, застосуванням різноманітних безболтових з'єднань у вигляді гачків, пружинних штифтів, тощо, а також обмеженням маси і довжини вузлів гірничотранспортних машин.

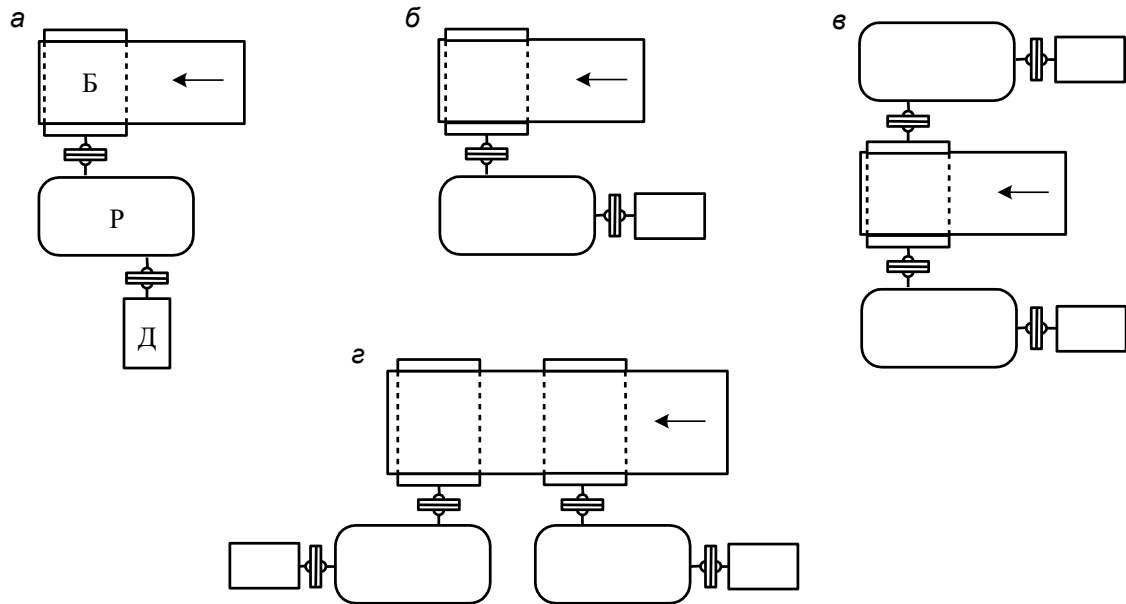
Більшість транспортних машин працює в похилому положенні, звичайно при перемінному куті нахилу, викликаному складністю гіпсометрії пластів. Кожен конвеєр повинен бути призначена не для одного кута нахилу, а для визначеного діапазону кутів, граничні значення яких обмежені особливостями конструкції. Так, припустимі кути нахилу стрічкових конвеєрів нормальних типів ($16\text{--}18^\circ$) обмежені зниженням продуктивності внаслідок падіння швидкості руху вантажу через його прослизання відносно стрічки. Похиле положення транспортної машини вимагає застосування зворотних остановів і гальм для конвеєрів; ловителів тягових органів конвеєрів, а також протиугінних засобів, що перешкоджають сповзанню вниз конвеєру.

2.2.2 Кінематичні схеми приводних блоків і основні типи конвеєрних установок

Більшість стрічкових конвеєрів працюють при змінному вантажопотоку, що обумовлено особливостями видобутку вугілля. Для цих конвеєрів необхідно адаптувати швидкість руху стрічки під навантаження (вантажопотік). Це дозволить підвищити енергоефективність стрічкових конвеєрів, зменшити знос рухомих частин та збільшити строк експлуатації конвеєрної стрічки. Для усунення пробуксування стрічки відносно барабану необхідно обмежувати динамічні навантаження, забезпечивши надійне зчеплення. Електропривод стрічкових конвеєрів повинен обмежувати пускове прискорення, що усуне динамічні навантаження [10]. У разі застосування регульованих електроприводів, що забезпечують процеси плавного пуску, регулювання швидкості стрічки конвеєрної установки, обмеження динамічних навантажень і вирівнювання навантажень між приводними двигунами, мінімальний діапазон регулювання швидкості повинен бути 10:1.

Вибір системи електропривода в значній мірі залежить від числа приводних барабанів і двигунів. На рисунку 2.8 представлені кінематичні схеми приводних блоків стрічкових конвеєрів. На рисунку 2.8 *а*, *б* показані однобарабанний привід Б з одним двигуном Д і редуктором Р. Різниця між цими кінематичними схемами полягає в розташування двигуна щодо осі конвеєра. Схема на рисунку 2.8, *б* з паралельним розташуванням двигуна є більш прийнятною у порівнянні з перпендикулярним розташуванням (рисунок 2.8, *а*), так як знижується ширина приводного блоку. Це має велике значення в умовах тісних просторів підземних виробок. Для відкритих гірничих робіт та збагачувальних фабрик ця обставина не відіграє суттєвої ролі, але дозволяє використовувати більш просту конструкцію редуктора, виключати конічну передачу. Для захисту кінематичних ланцюгів і забезпечення плавного пуску в ряді конструкцій конвеєрних установок встановлюється гідравлічна муфта між

редуктором та асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором. У разі застосування регульованого електроприводу гідромуфта може бути відсутня.



а – однобарабанний привод з перпендикулярним розташуванням двигуна;

б – однобарабанний привод з паралельним розташуванням двигуна;

в – дводвигуновий привод з одним барабаном;

г – дводвигуновий двохбарабанний привод

Рисунок 2.8 – Кінематичні схеми приводних блоків конвеєрів

Однобарабанний привод з двома електродвигунами (рисунок 2.8, *в*) застосовується на конвеєрах середньої потужності і забезпечують високий коефіцієнт зчеплення барабана зі стрічкою. Жорстко пов'язані кінематичні ланцюги приводного блоку вимагають застосування гідромуфт для забезпечення вирівнювання навантаження приводних двигунів, які мають, як правило, неідентичні механічні характеристики [11].

Потужні конвеєрні установки великої довжини та високої продуктивності мають декілька приводних барабанів. На рисунку 2.8,*г* показаний

двохбарабанний привод з двома двигунами. Незважаючи на перевагу двохбарабанних приводів стрічкових конвеєрів, пов'язаних з великим кутом обхвату стрічкою обох барабанів, слід враховувати, що ці установки мають більш дорожчу механічну частину та більш складні в експлуатації, ускладнюються питання вирівнювання навантаження приводних електродвигунів.

2.3 Системи електроприводу конвеєрних установок

2.3.1 Нерегульований електропривод конвеєрних установок

При обґрунтуванні і виборі системи електроприводу конвеєрних установок слід взяти до уваги, що найбільше застосування знаходить електропривод змінного струму на основі асинхронних двигунів. Для коротких конвеєрів невеликої продуктивності зазвичай використовують асинхронні двигуни з глибокопазним короткозамкненим ротором або ротором типу подвійної білячої клітини, що мають подвійний пусковий момент. Гранична потужність цих електроприводів не перевищує 100 – 200кВт, тому що внаслідок падіння напруги в мережі відбувається значне зниження пускового моменту, що ускладнює запуск навантаженого конвеєра.

Для конвеєрів великої довжини та продуктивності, як правило, застосовується електропривод з асинхронними двигунами з фазним ротором, що забезпечують обмеження пускових струмів і прискорень. При цьому, з метою зниження динамічних навантажень, застосовують попередні пускові ступені для вибору зазорів у передачах та створення початкового натягу стрічки. Велика кількість пускових ступенів знижує величини миттєвих збільшень моменту двигуна при перемиканні пускових резисторів, що сприяє виникненню пружних коливань в тяговому органі і прослизанню його по

барабану. На конвеєрних установках застосовують контакторні схеми з числом пускових ступенів не більше 10–12 (ускладнюється апаратура автоматизації) та перемиканням їх у функції часу або у функції часу й струму.

Релейно-контакторні пристрої плавного пуску мають істотний недолік – великі витрати електричної енергії в процесі пуску, яка розсіюється у вигляді теплової енергії на пускових резисторах. В даний час все більше поширення набувають пристрої плавного пуску (УПП), у ряді модифікацій яких закладені також функції гальмування. Застосування УПП забезпечує: плавний пуск асинхронного двигуна з обмеженням пускового струму та кутового прискорення, захист від механічних ударів виконавчого механізму, що дозволяє регулювати час розгону та гальмування. Пристрої плавного пуску (софтстартери) також мають безліч застосувань: насоси, вентилятори, компресори, конвеєри, важконавантажені і інерційні механізми [9].

Пристрій плавного пуску представляє напівпровідниковий регулятор напруги на затискачах статора двигуна. Зміна напруги здійснюється шляхом регулювання кута відмикання тиристорів, включених за схемою зустрічно-паралельного з'єднання в кожній фазі обмотки статора двигуна. Функціональна схема УПП наведена на рисунку 2.9, на якому прийняті наступні позначення: ТК – тиристорний комутатор; АД – асинхронний електродвигун; СУ – система управління, що включає в себе формувач керуючих імпульсів; ФМ – драйвери, що служать для управління тиристорами, а також гальванічного поділу силових ланцюгів і ланцюгів управління; МК – мікроконтролер; УВВ – пристрій вводу-виводу; ПУ – пульт управління; ІП – джерело живлення; ДТ1, ДТ2, ДТ3 – датчики струму, призначені для захисту від неприпустимого перевищення і зниження напруги та регулювання напруги на затискачах статора асинхронного електродвигуна.

Мікроконтролер є основним пристроєм УПП, управляє відмиканням тиристорів, роботою вбудованих в УПП реле, виконує функції програмного захисту та контролю як самого УПП, так і електродвигуна. Блок Ф1 подає на тиристори отпираючі імпульси, які зсунуті на змінюваний кут щодо моменту

природної комутації, завдяки чом напруга на виході УПП змінюється теоретично до нуля. Замикання тиристорів відбувається природно – при зміні полярності синусоїдальної напруги на його затискачах анод-катод.

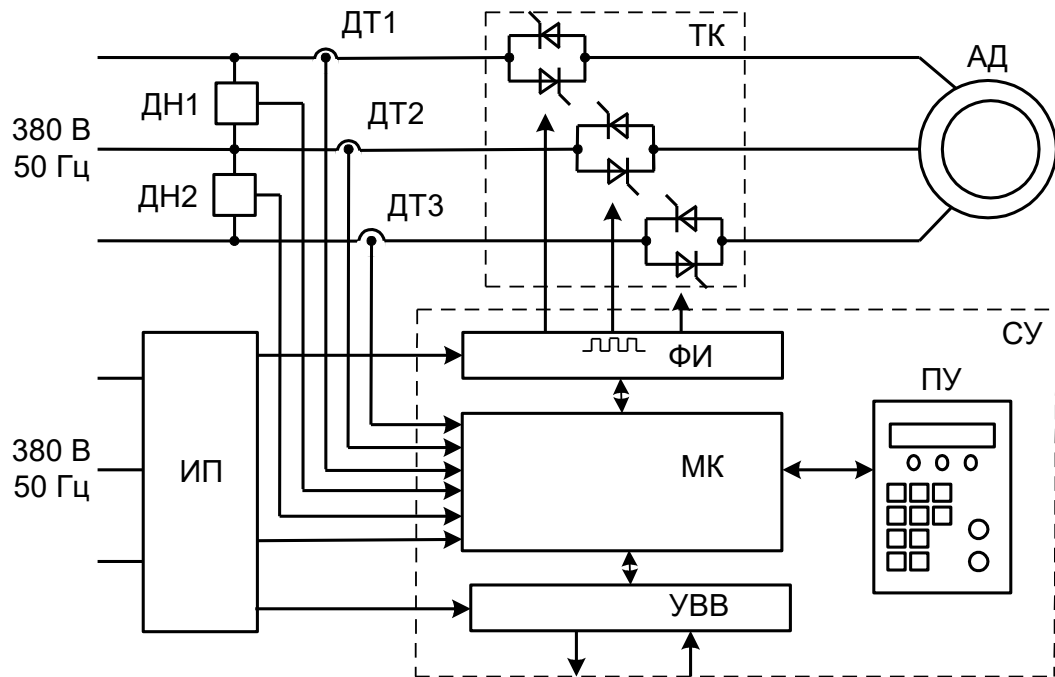


Рисунок 2.9 – Функціональна схема пристрою плавного пуску

Пристрій плавного пуску здійснює пуск електродвигуна плавним наростанням напруги на статорі при одночасному регулюванні струму або моменту. Перевагою УПП в порівнянні з традиційними способами пуску є надання оператору конвеєрних установок широких можливостей програмними засобами здійснювати налаштування пристрою для конкретного застосування. Ці можливості забезпечуються широким діапазоном регулювання параметрів діаграми зміни напруги на затискачах статора електродвигуна і вибором способу управління.

В УПП можуть бути реалізовані наступні засоби управління: напругою на затискачах статора, струмом двигуна, моментом двигуна.

Управління напругою забезпечує плавний пуск двигуна, однак струм і момент двигуна при пуску не контролюються. Оскільки відсутній зворотній зв'язок за струмом та контроль моменту електродвигуна, при пуску можливі кидки струму (рисунок 2.10, *а*). Даний спосіб управління не придатний для електроприводів з важким пуском. Управління струмом забезпечує при пуску обмеження пускового струму. Зміна напруги на затискачах статора відбувається таким чином, що протягом більшої частини часу пуску струм двигуна підтримується постійним (рисунок 2.10, *б*). Рівень обмеження пускового струму є основним параметром пуску та встановлюється оператором в залежності від конкретного застосування [9].

Управління моментом є найбільш досконалим способом пуску. У цьому випадку УПП стежить за необхідним значенням моменту, забезпечуючи пуск з мінімально можливим значенням струму (рисунок 2.10, *в*). Застосування системи управління з контролем моменту електродвигуна забезпечує лінійний графік зміни швидкості в часі, тобто пуск при постійному прискоренні.

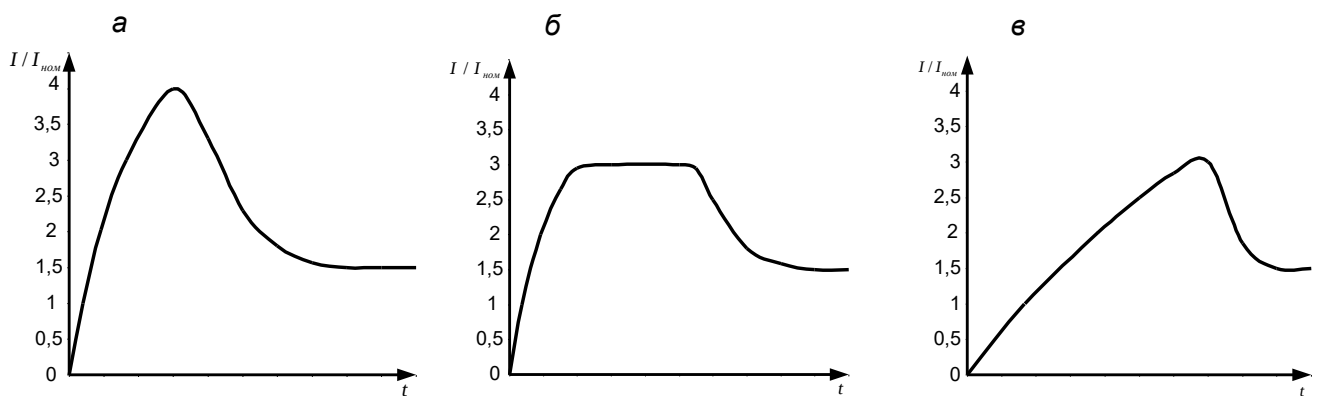


Рисунок 2.10 – Графіки зміни у часі струму при пуску електродвигуна від УПП при способах управління:

а – напругою на затискачах статора; *б* – струмом; *в* – моментом двигуна

Для конвеєрних установок, що працюють на похилі, необхідно забезпечити гальмівний режим. За допомогою УПП можуть бути реалізовані наступні способи гальмування двигуна:

- скатом (плавною зміною напруги на затискачах статора асинхронного двигуна);
- вільним вибігом (відключенням асинхронного електродвигуна від електромережі);
- динамічним гальмуванням (подачею в обмотку статора асинхронного електродвигуна (в любі дві жили з трьох) постійного струму).

Для конвеєра, що працює на спуск вантажу (bremсбергове розташування стрічкового конвеєру), необхідне застосування динамічного гальмування.

2.3.2 Вибір пристрою плавного пуску

Пристрій плавного пуску вибирається виходячи з трьох головних критеріїв:

- напруга живильної мережі повинна відповідати номінальній напрузі УПП;
- номінальний струм УПП повинен відповідати струму навантаження двигуна;
- тип застосування (категорія експлуатації).

Для повного опису експлуатаційних можливостей УПП недостатньо вказувати тільки показники за струмом. В нормативних документах визначені експлуатаційні категорії АС53, які використовуються для визначення показників УПП. При виборі УПП необхідно враховувати наступні показники:

- показник за струмом (номінальний струм УПП) – струм повного навантаження електродвигуна, що підключається до УПП за умови, що

робочі параметри УПП? визначені іншими величинами, наведеними в позначенні УПП відповідно до АС53;

- пусковий струм – максимальний пусковий струм, який реалізується під час пуску;
- тривалість пуску – час, необхідний для розгону електродвигуна до сталої швидкості;
- цикл роботи під навантаженням – відносна частка часу роботи УПП, виражена у відсотках від тривалості циклу;
- число робочих циклів (пусків) за одну годину.

Для гірничих підприємств необхідно застосування вибухозахищених УПП. Вітчизняна та зарубіжна промисловість поставляє УПП для шахтних конвеєрних установок у вибухозахищеному виконанні (категорія РВ) з вихідним струмом УПП до 400А та напругою живлення 660В або 1140В [5].

2.3.3 Регульований електропривод конвеєрних установок

Застосування релейно контакторних схем і пристроїв плавного пуску вирішують питання забезпечення перехідних процесів конвеєрних установок. Для реалізації інших вимог до конвеєрних установок, таких як, регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки у функції вантажопотоку або обмеження динамічних навантажень, необхідно застосування регульованого електроприводу. В сучасних умовах найбільші перспективи мають частотно-регульовані електроприводи з асинхронними та синхронними двигунами. Синхронний частотно-регульований електропривод виконується на базі високовольтних перетворювачів частоти з вихідною напругою 6 та 10кВ. Асинхронний частотно-регульований електропривод виконується з перетворювачами частоти вітчизняних та зарубіжних виробників напругою живлення від 380В до 10,0кВ (електродвигуни повинні бути відповідної

напруги). Так як регулювання швидкості стрічки конвеєрних установок та обмеження динамічних навантажень вимагає діапазон регулювання швидкості як мінімум 10:1, то двотрансформаторні перетворювачі частоти не можуть бути використані для приводу конвеєрних установок. Підвищуючий трансформатор вже при діапазоні регулювання 1,5:1 входить в режим насичення через менші частоти струму щодо номінальної, що призводить до підвищених втрат потужності.

Низьковольтні перетворювачі частоти напругою до 1,2кВ та високовольтні на напругу до 10 кВ випускаються із інверторами напруги на базі IGBT транзисторів і, як правило, комплектуються ПІД-регулятором (PID controller). Високовольтні перетворювачі частоти на напругу від 3,0 (3,3) до 10 (10,5)кВ випускаються з інверторами на базі тиристорів, що замикаються.

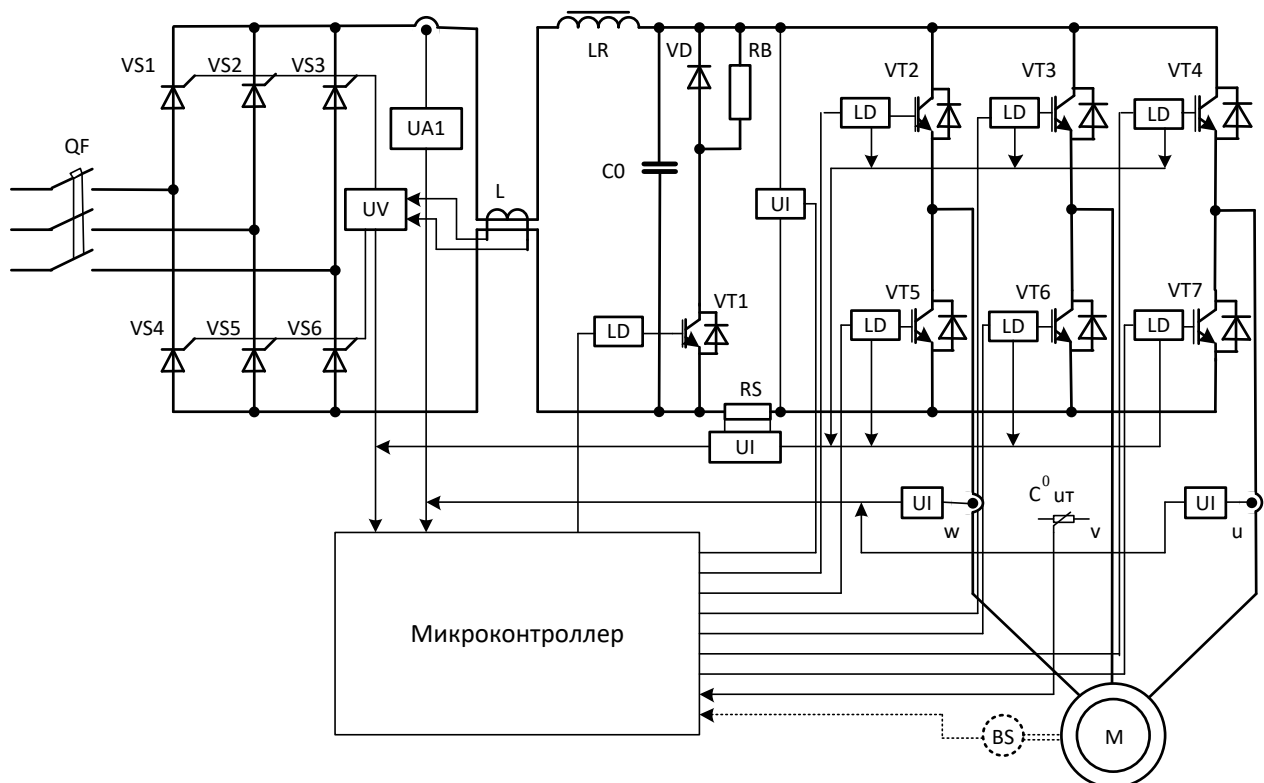


Рисунок 2.11 – Типова схема низьковольтного асинхронного частотно-регульованого електропривода з автономним інвертором напруги

На рисунку 2.11 представлена типова схема низьковольтного асинхронного частотно-регульованого електроприводу з автономним інвертором напруги на базі IGBT транзисторів. Перетворювачі частоти побудовані на основі напівпровідникової силової електроніки: інтелектуальні силові модулі (IGBT-модуль), що представляють собою конструктивну єдність силових ключів і драйверів управління ними; вбудовані елементи захисту і інтерфейсу з мікроконтролерною системою управління.

Мікроконтролерна схема здійснює функції управління, захисту та контролю. Система управління здійснює такі основні функції:

- пряме цифрове управління всіма елементами перетворювача, включаючи управління силовими ключами в режимі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ);
- формує модель електродвигуна;
- програмне керування швидкістю (частотою) або завданням технологічної змінної у функції часу (годинні, добові, тижневі цикли);
- управлінням вхідним тиристорним перетворювачем для плавного заряду конденсаторної батареї C0 в ланцюзі постійного струму;
- управління ланцюгом прийому енергії гальмування для її розсіювання на баластному резисторі RB;
- непряме визначення ряду додаткових параметрів за допомогою цифрових спостерігачів, споживаючі потужності, витрати електроенергії, технологічних процесів (витрата води, повітря та ін.);
- введення будь-якого числа додаткових параметрів технологічного процесу з інтелектуальних датчиків, в тому числі з віддалених датчиків тиску і температури.

Мікропроцесорна система захисту та контролю реалізує такі основні функції:

- керує вбудованим захистом від коротких замикань та зникнення напруги живлення драйверів;

- контролює струми витоку та перенапруги в ланцюзі постійного струму;
- контролює перегрів автономного інвертора та електродвигуна;
- керує захистом від обриву та перекосу фаз;
- управляє максимально-струмовим та часострумовим захистом.

Високовольтний перетворювач частоти з інвертором напруги на базі IGBT транзисторів містить багатофазних вхідний трансформатор, силові блоки і мікроконтролерну систему управління, захисту та контролю. Функціональна схема представлена на рисунку 2.12.

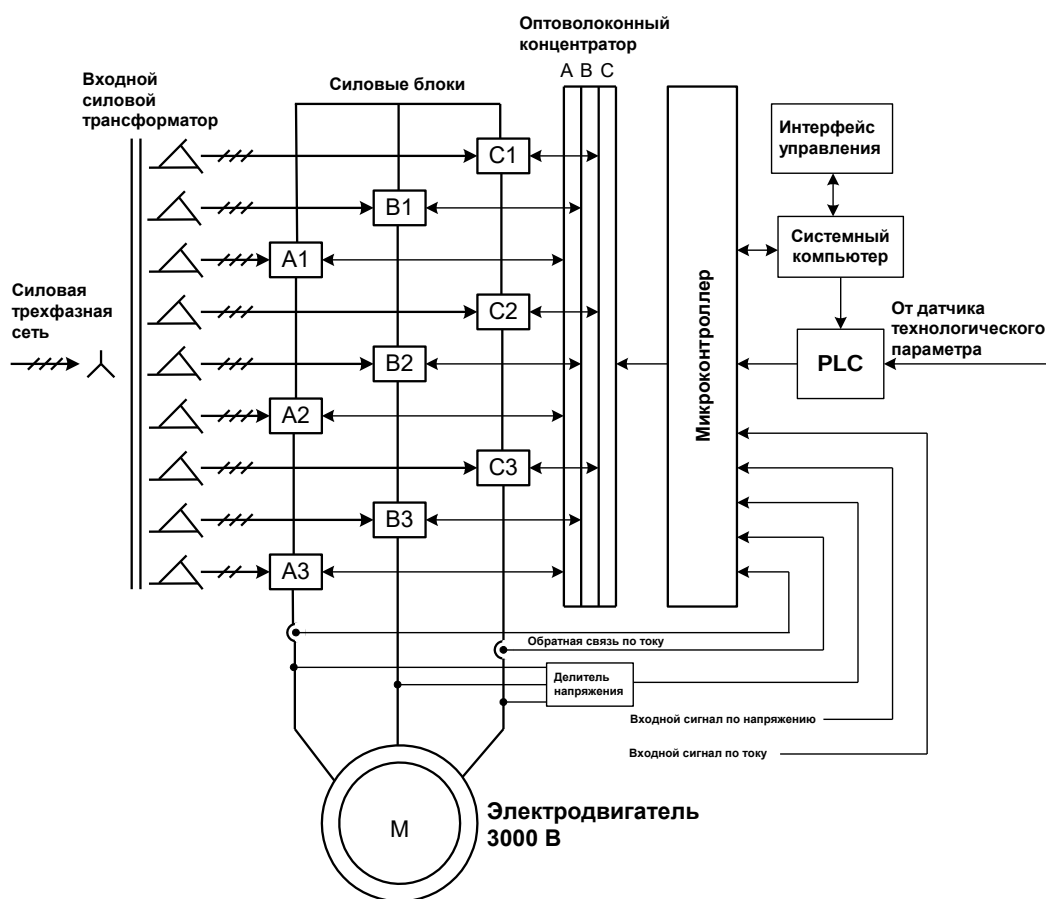


Рисунок 2.12 – Функціональна схема високовольтного частотно-регульованого електропривода з інвертором напруги

У системі управління оптоволоконний концентратор працює з силовими блоками однієї фази. Сигнали від концентратора посиляються по оптоволоконним лініям та передають інформацію про ширину імпульсу або про режим роботи. Отримавши дані, силовий блок подає команду про необхідний стан, або, в разі помилки, сигнал з кодом несправності. Мікроконтролер збирає дані про напругу і струм на вході та виході, обробляє сигнал управління, фільтрує і розсилає розраховані параметри для роботи перетворювача, захисту, а також надає дані для системного комп'ютера.

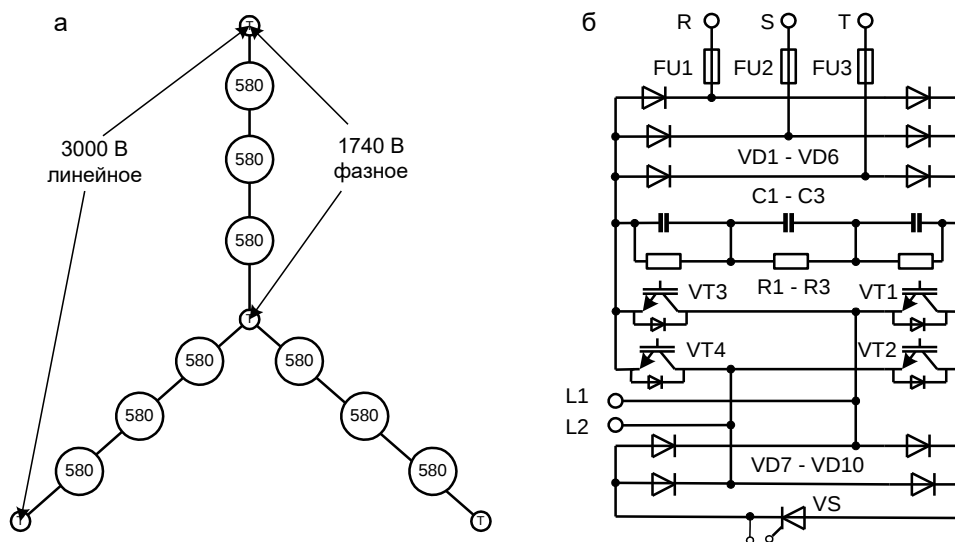
Мікроконтролер формує модель двигуна, здійснює функції управління двигуном. Регулювання напруги на трьох фазах здійснюється за допомогою векторного керування.

Блок PLC здійснює зв'язок мікроконтролера із зовнішнім середовищем, має вхідні канали для управління і вихідні канали для виведення інформації. Даними по введенню служать завдання при роботі в режимі управління від зовнішнього задатчика. Параметрами щодо виходу можуть бути частота вихідного струму, величина струму, напруги та потужності. Блок PLC має вбудований ПІД-регулятор для якісної обробки сигналів від датчиків технологічних параметрів.

Силова схема перетворювача формується за допомогою послідовного з'єднання окремих силових блоків по кожній фазі. Послідовне підключення силових блоків при формуванні вихідної фазної напруги дає можливість використовувати у високовольтному перетворювачі частоти IGBT-транзисторів, розрахованих на меншу напругу, ніж на виході перетворювача. Таким чином, забезпечується реалізація багаторівневого ШІМ перетворення. Цей режим роботи дозволяє знизити амплітуду вихідної пульсації пропорційно кількості використаних фазних силових блоків. На рисунку 2.13, *а* показана схема включення силових блоків для напруги 3кВ. Кожен блок формує змінну однофазну напругу 580В. Кожна фаза містить три блоки для того, щоб отримати 1740В фазної напруги.

Для отримання 6кВ необхідно послідовно з'єднати п'ять силових блоків на кожну фазу. Кожен з блоків формує змінну однофазну напругу на 690В. Для отримання 10кВ необхідно послідовно з'єднати дев'ять силових блоків на кожну фазу. Кожен з блоків формує змінну однофазну напругу на 640В.

Принципова схема силового блоку приведена на рисунку 2.13, б. Вхідні ланцюги R, S, T підключаються до низької трифазної напруги вторинної обмотки трансформатора. Напруга з трансформатора через діодний трифазний випрямляч заряджає конденсатори. Накопичена електрична енергія конденсаторів витрачається однофазним мостом, що складається з IGBT транзисторів VT1 - VT4, для формування напруги ШІМ на виходах L1, L2.



a – схема з'єднання силових блоків; b – схема силового блоку

Рисунок 2.13 – Принцип формування високовольтного перетворювача частоти на вихідну напругу 3000В

Силові блоки мають функцію «байпаса». У разі виникнення в будь-якому силовому блоці несправності, при якій не можливе подальше продовження роботи, на даному силовому блоці і двох інших блоках, які працюють в одній групі (у двох інших фазах) автоматично включається функція «байпас». При цьому VT1 і VT2 блокують вихід, тиристор VS відкривається і подає сигнал

про включення «байпаса». При включенні «байпаса» силового блоку, знижується номінальна вихідна напруга перетворювача частоти, так як кількість силових блоків на фазу виявляється менше покладеного.

Істотним недоліком високовольних перетворювачів частоти з автономним інвертором напруги є використання в його складі складного багатообмотувального трансформатора. Через це такі перетворювачі мають значні габаритні та вартісні показники. Тому в сучасних умовах набувають поширення безтрансформаторні перетворювачі частоти. Функціональна схема такого перетворювача частоти наведена на рисунку 2.14.

Бестрансформаторними такі системи перетворювачів частоти можна вважати умовно. Це пов'язано з тим, що для створення сприятливих умов електромагнітної сумісності, крім шестипульсної схеми випрямління застосовуються вісімнадцятипульсна схема випрямління, яка вимагає використання багатообмотувальних вхідних трансформаторів.

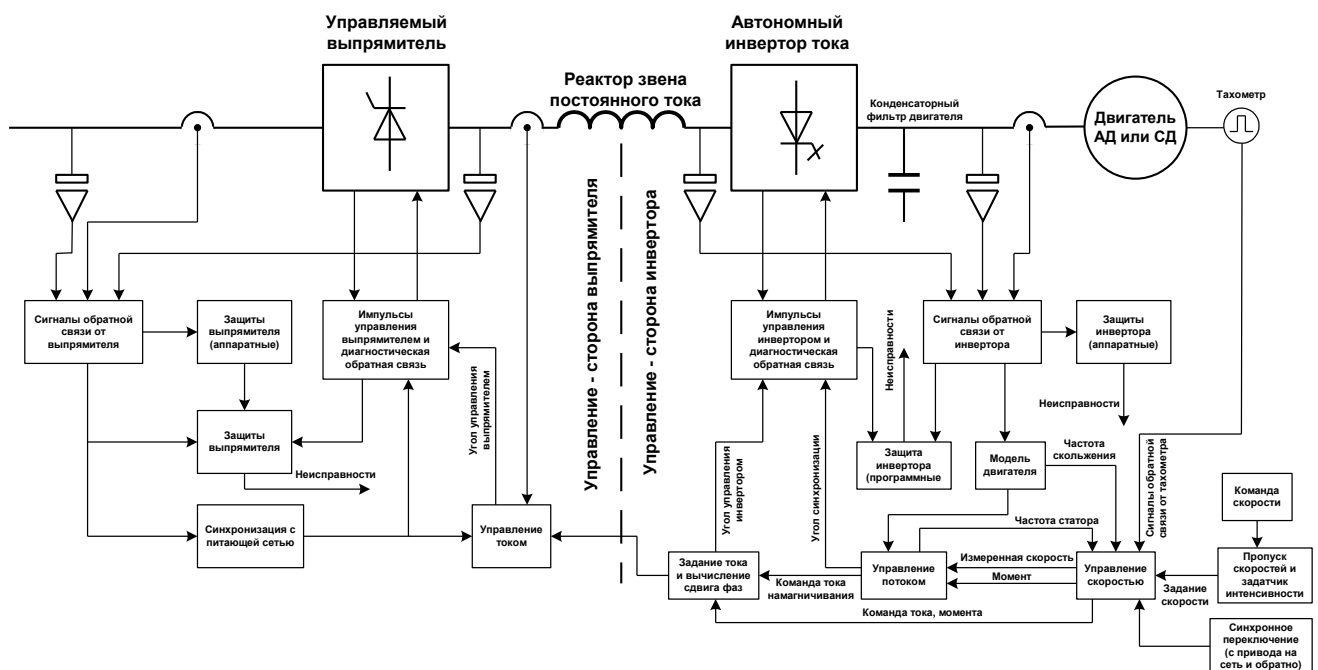


Рисунок 2.14 – Функціональна схема високовольного безтрансформаторного перетворювача частоти з інвертором струму

Крім цього, в ряді модифікацій високовольтних перетворювачів частоти з інвертором струму застосовується широтно-імпульсна модуляція через блок керованого випрямляча. Це також вимагає використання багатообмотувального вхідного трансформатора. Однак, у таких трансформаторів масогабаритні показники кращі, ніж у багатоблокових високовольтних перетворювачів частоти.

Високовольтний перетворювач частоти з інвертором струму містить силові елементи:

- блок керованого випрямляча, який може бути зібраний по шестипульсній або вісімнадцятипульсній схемі з електронними ключами на базі одноопераційних тиристорів;
- блок автономного інвертора струму, зібраний за трифазною мостовою схемою з електронними ключами на базі тиристорів, що замикаються;
- в проміжній ланці постійного струму між випрямлячем і інвертором встановлений реактор великої індуктивності для створення режиму джерела струму;
- у вихідному трифазному ланцюгу перетворювача встановлений конденсаторний фільтр двигуна, який є джерелом реактивної потужності для електродвигуна.

Перетворювач частоти призначений для регулювання частоти обертання валу асинхронних і синхронних електродвигунів на номінальну напруги живлення 6 і 10кВ. Діапазон зміни частоти струму статора від 0,2 до 70Гц, а напруги – від 0 до 6кВ або від 0 до 10кВ.

Метод управління, використаний у високовольтному перетворювачі частоти з інвертором струму, називається бездатчикового прямим векторним керуванням. Це означає, що струм статора розкладається на складові, що визначають момент та потік, дозволяючи швидко змінювати момент двигуна не впливаючи на його потік. Цей метод застосовується без тахометричного зворотного зв'язку у випадках, коли потрібна тривала робота двигуна при

швидкостях, відповідних частоті більше 6 Гц та початковому пусковому моменті, величиною менше 100% від номінального значення.

Повне векторне управління може бути здійснено і з тахометричним зворотним зв'язком, коли потрібно тривалий режим роботи двигуна при малих значеннях швидкості, відповідних 0,2–6 Гц і з великим початковим пусковим моментом – до 150% від номінального значення.

Аналіз існуючого парку перетворювачів частоти показує, що забезпечується вся лінійка приводних електродвигунів конвеєрних установок. При виборі перетворювачів частоти для регулювання швидкості тягового органу конвеєрної установки необхідно керуватися такими правилами:

- номінальна напруга приводного двигуна повинна відповідати номінальній напрузі перетворювача частоти;
- номінальна потужність (струм) перетворювача частоти повинна відповідати номінальній потужності (струму) перетворювача частоти;
- паралельне включення декількох двигунів допускається тільки до перетворювачів частоти з інвертором напруги. Таке підключення двигунів допускається в межах потужності (струму) перетворювача частоти (сумарна номінальна потужність підключених двигунів повинна бути рівна або менше номінальної потужності перетворювача частоти);
- перетворювач частоти з інвертором струму, призначений для роботи з індивідуальним електроприводом, тобто до нього можна підключити тільки один приводний електродвигун конвеєрної установки. Ряд конвеєрних установок має кілька приводних двигунів, для них необхідно використовувати кілька перетворювачів частоти з інвертором струму, кількість яких відповідає кількості двигунів;
- для шахт, небезпечних за газом і пилом, необхідно застосування вибухозахищених перетворювачів частоти. Вітчизняна та зарубіжна промисловість виготовляє спеціальні вибухозахищені перетворювачі частоти з інвертором напруги для шахтних конвеєрних установок потужністю до 500 кВт з напругою живлення 660 В та 1140 В. Ряд

модифікацій перетворювачів частоти мають вбудовану функцію динамічного гальмування, що необхідно для стрічкових конвеєрів, що працюють на спуск вантажу (бремсберг).

2.4 Розрахунок моментів інерції електроприводів конвеєрної установки

2.4.1 Методики розрахунку моментів інерції електроприводів конвеєрних установок

Приведений до швидкості двигуна момент статичного опору визначається за виразом:

$$M_c = \frac{S_d \cdot R_6}{i_p \cdot \eta_p}, \text{ Нм}$$

де S_d – дійсний максимальний натяг конвеєрної стрічки за результатами розрахунку;

R_6 – радіус приводного барабана стрічкового конвеєру, м;

i_p – передавальне число редуктора стрічкового конвеєру;

η_p – коефіцієнт корисної дії (ККД) редуктора стрічкового конвеєру.

Значення ККД редуктора залежить від числа ступенів редуктора і типу передачі. Величина ККД редукторів по кожному ступеню передачі:

- циліндрична передача $\eta_p = 0,97 \div 0,99$;
- конічна передача $\eta_p = 0,96 \div 0,98$.

Якщо є багатоступенева циліндрична або конічна передача, то сумарне значення ККД редуктора визначається перемноженням величин ККД за кожним ступенем.

Кутова швидкість барабана визначається відповідно за виразом:

$$\omega_6 = \frac{v}{R_6}, \text{ c}^{-1}.$$

Наведена до швидкості двигуна кутова швидкість барабана стрічкового конвеєру буде:

$$\omega_{\text{дв}} = \omega_1 = \omega_6 \cdot i_p, \text{ c}^{-1}.$$

Для відомих приведених до швидкості двигуна моменту статичного опору і кутової швидкості барабана можна перевірити відповідність розрахункової величини потужності $P_{\text{расч}}$ і встановленої потужності $P_{\text{уст}}$ двигуна конвеєрної установки:

$$P_{\text{расч}} = k_z \cdot M_c \cdot \omega_{\text{дв}} \cdot 10^{-3} \leq P_{\text{уст}}, \text{ кВт},$$

де $k_z = 1,1 \div 1,25$ – коефіцієнт запасу, що враховує можливе підвищення потужності при неточності розрахунку коефіцієнтів опору руху.

Момент інерції конвеєрної установки умовно можна розділити на дві складові: момент інерції електроприводу, створюваний обертовими елементами кінематичного ланцюга і момент інерції механічної частини конвеєра, створюваний поступально рухомими масами. До моменту інерції електроприводу J_1 відносять жорстко пов'язані між собою моменти інерції двигуна $J_{\text{дв}}$, редуктора J_p і барабана J_6 .

$$J_1 = (1,15 \div 1,2) \cdot J_{\text{дв}}, \text{ кгм}^2.$$

Момент інерції механічної частини конвеєра визначається поступально рухомими масами вантажу на стрічці, самої стрічки, масами роlikоопор

вантажної та порожнякової віток. Наведене до швидкості двигуна значення моменту інерції механічної частини конвеєра визначається за виразом:

$$J_2 = L \cdot (q + 2 \cdot q_{\text{л}} + q'_{\text{р}} + q''_{\text{р}}) \cdot \left(\frac{v}{\omega_{\text{дв}}}\right)^2, \text{ кгм}^2.$$

Сумарний момент інерції системи визначається:

$$J_{\Sigma} = J_1 + J_2, \text{ кгм}^2.$$

2.4.2 Розрахунок моменту інерції дводвигунного електроприводу

Як об'єкт розрахунку моменту інерції приймається стрічковий конвеєр типу 2Л-100У, технічні характеристики якого наведені в таблиці 2.1. Стрічковий конвеєр має однобарабанний привід з двома двигунами. Приводний двигун типу ВАОК315 S(B)6 має такі технічні характеристики:

номінальна потужність одного двигуна – 110кВт;

номінальна напруга статора – 660В;

номінальний струм статора – 125А;

напруга на контактних кільцях при загальмованому роторі – 250В;

струм ротора – 290А;

номінальний ККД – 92,0%;

номінальний коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$) – 0,85;

номінальна синхронна частота обертання – 1200об/хв.;

перевантажувальна здатність за моментом – 2,8;

момент інерції ротора – 16 кгм².

Визначається момент статичного опору, приведений до швидкості двигуна:

$$M_c = \frac{S_d \cdot R_6}{i_p \cdot \eta_p} = \frac{57647 \cdot 0,42}{20 \cdot 0,97^2} = 1287 \text{ Нм},$$

де $R_6 = 0,42\text{м}$; $i_p = 20$, $\eta_p = 0,97^2$ – у відповідності з даними для двохступінчатого редуктора.

Визначається кутова швидкість барабану:

$$\omega_6 = \frac{v}{R_6} = \frac{2,5}{0,42} = 5,95 \text{ с}^{-1}.$$

Приведена до швидкості двигуна кутова швидкість барабана:

$$\omega_{дв} = \omega_1 = \omega_6 \cdot i_p = 5,95 \cdot 20 = 119 \text{ с}^{-1}.$$

Перевірка відповідності розрахункової величини потужності і встановленої потужності двигуна конвеєрної установки:

$$P_{расч} = k_z \cdot M_c \cdot \omega_{дв} \cdot 10^{-3} = 1,25 \cdot 1287 \cdot 119 \cdot 10^{-3} = 191,4 \text{ кВт} \leq P_{уст} = 220 \text{ кВт}$$

Розрахункова величина потужності приводних двигунів відповідає сумарній встановленій потужності двигунів конвеєрної установки.

Момент інерції електроприводу:

$$J_1 = 1,2 \cdot (2 \cdot J_{дв}) = 1,2 \cdot (2 \cdot 16) = 38,4 \text{ кгм}^2$$

Момент інерції механічної частини конвеєра, приведений до швидкості двигуна:

$$J_2 = L \cdot (q + 2 \cdot q_{\text{л}} + q'_{\text{р}} + q''_{\text{р}}) \cdot \left(\frac{v}{\omega_{\text{дв}}} \right)^2 =$$

$$= 550 \cdot (50 + 2 \cdot 13,1 + 20,8 + 9) \cdot \left(\frac{2,5}{119} \right)^2 = 25,73 \text{ кгм}^2.$$

2.4.3 Математичний опис електромеханічної системи стрічкового конвеєра з розімкнутою системою управління

Для дослідження та аналізу динамічних властивостей електромеханічної системи стрічкового конвеєра необхідно мати його математичний опис. Залежно від вирішуваних завдань, математичні моделі можуть бути різними. Стосовно до завдань, що вирішуються за допомогою регульованого електроприводу конвеєрних установок, можливе отримання наступних математичних моделей:

- для вирішення завдання енергозбереження та підвищення енергоефективності технології транспортування корисної копалини математичну модель електромеханічної системи можна отримати на основі паралельної або послідовної корекції координат. У цьому випадку електромеханічна система розглядається як одномасова, без урахування пружних властивостей тягового органу;
- для вирішення завдання обмеження динамічних навантажень в кінематичних ланцюгах електромеханічної системи конвеєрної установки математична модель повинна бути багатомасовою. Структура управління в

моделі може бути як з паралельною, так і послідовною корекцією координат.

В основі названих моделей лежить математичний опис електромеханічної системи стрічкового конвеєра з розімкнутої системою управління. Сучасний регульований електропривод конвеєрних установок з асинхронним приводним двигуном використовує перетворювачі частоти з автономними інверторами напруги або струму. Математичні моделі частотно-регульованих електроприводів досить складні і малопридатні для вирішення поставлених завдань з енергозбереження та обмеження динамічних навантажень. Для вирішення завдань з енергозбереження важливі статичні та енергетичні властивості електромеханічної системи конвеєрної установки. Питання обмеження динамічних навантажень в тяговому органі пов'язані з низькочастотними механічними коливаннями мас, що переміщуються, які превалюють над високочастотними електромагнітними коливаннями в системі «перетворювач частоти – електродвигун» [5].

Таким чином, для вирішення поставлених завдань математичну модель можна значно спростити, нехтуючи високочастотними електромагнітними коливаннями. При цьому стає неважливо, який принцип частотного управління використовується, – скалярний або векторний. Відмінність полягає лише в точності регулювання швидкості, проте ця обставина практично не впливає на енергетичні характеристики електроприводу і демпфіруючі властивості електромеханічної системи.

Перетворювач частоти спільно з асинхронним двигуном, як об'єкт математичного опису, являє собою динамічну ланку високого порядку. Якщо уявити систему «перетворювач частоти – асинхронний двигун» у вигляді динамічної ланки другого порядку з електромеханічної та електромагнітної постійними часу, то можна вважати, що вона являє собою спрощений математичний опис даної системи. Згідно теорії автоматичного управління, заміна динамічних ланок високого порядку ланкою другого порядку є правомірною і помилка не перевищує допустиму величину. Більшість

перетворювачів частоти у своїй структурі управління забезпечують стабілізацію результуючого вектора потокозчеплення ротора в діапазоні вихідних частот від нуля до номінальної частоти. Механічні характеристики частотно-регульованого електроприводу при цьому аналогічні механічним характеристикам електроприводів постійного струму з незалежним збудженням. Маючи високу перевантажувальну здатність, механічні характеристики частотно-регульованого електроприводу мають в робочій зоні високий ступінь лінійності. Також як і в електроприводах постійного струму, де швидкість холостого ходу залежить від напруги холостого ходу якоря, в частотно-регульованому електроприводі синхронна швидкість ω_0 залежить від величини напруги холостого ходу U_{01} статора. Рівняння механічної характеристики частотно-регульованого електроприводу на лінійній частині робочої вітки механічної характеристики можна представити в наступному вигляді:

$$M = k_m \cdot (U_{01} - k_\omega \cdot \omega_1), \text{ Нм},$$

де ω_1 - кутора швидкість ротора.

Напруга холостого ходу обмотки статора двигуна:

$$U_{01} = I_\mu \cdot (x_0 + x_1) \cdot v, \text{ В},$$

де I_μ – струм холостого ходу двигуна, А;

x_0 – індуктивний опір контуру намагнічування двигуна, Ом;

x_1 – індуктивний опір обмотки статора, Ом;

$v = f/f_{\text{ном}}$ – відносна частота статора;

$f_{\text{ном}}$ – номінальна частота статора, Гц.

В режимі холостого ходу $M = 0$, тоді з рівняння вище отримаємо $U_{01} = k_\omega \times \omega_{1\text{ном}}$, при цьому:

$$k_{\omega} = \frac{U_{01}}{\omega_{1\text{НОМ}}} = \frac{I_{\mu} \cdot (x_0 + x_1)}{\omega_{1\text{НОМ}}}, \text{Вс},$$

де $\omega_{1\text{НОМ}}$ – номінальна синхронна кутова швидкість двигуна при номінальній частоті статора, с^{-1} .

З урахуванням цього номінальний момент асинхронного двигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = k_{\text{М}} \cdot (U_{01} - k_{\omega} \cdot \omega_{\text{НОМ}}) = k_{\text{М}} \cdot k_{\omega} \cdot \Delta\omega_{\text{НОМ}}, \text{Нм},$$

де $\omega_{\text{НОМ}}$ – номінальна кутова швидкість ротора при номінальному моменті, с^{-1} ;

$\Delta\omega_{\text{НОМ}} = \omega_{1\text{НОМ}} - \omega_{\text{НОМ}}$ – перепад номінальної кутової швидкості, с^{-1} .

$$k_{\text{М}} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{k_{\omega} \cdot \Delta\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{s_{\text{НОМ}} \cdot I_{\mu} \cdot (x_0 + x_1)}, \frac{\text{Нм}}{\text{В}},$$

де $s_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_{1\text{НОМ}} - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_{1\text{НОМ}}}$ – номінальне ковзання асинхронного двигуна.

Величина електромеханічної постійної часу системи:

$$T_{\text{М}} = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \Delta\omega_{\text{НОМ}}}{M_{\text{НОМ}}} = \frac{J_{\Sigma}}{k_{\text{М}} \cdot k_{\omega}}, \text{с}.$$

Електромагнітна постійна часу системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун» визначається виразом:

$$T_{\text{э}} = \frac{L_{\text{э}}}{R_{\text{э}}}, \text{с}.$$

Для визначення електромагнітної постійної часу, індуктивність L_Δ і активний опір R_Δ приводяться до ланцюга постійного струму перетворювача частоти.

Еквівалентний активний опір системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун»:

$$R_\Delta = r_d + \frac{3}{2} \cdot k_i^2 \cdot \left(r_1 + r'_2 \cdot \frac{L_\mu^2}{L_r^2} \right), \text{ Ом},$$

де r_d – активний опір дроселя у ланцюзі постійного струму перетворювача частоти, Ом;

$k_i = 2 \cdot \sqrt{3}/\pi$ – коефіцієнт передачі по струму автономного інвертора;

r_1 – активний опір обмотки статора, Ом;

r'_2 – активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора, Ом;

$L_\mu = x_0/314$ – індуктивність контуру намагнічування двигуна, Гн;

$L_r = L_\mu + L'_2$ – повна індуктивність обмотки ротора, Ом;

$L'_2 = x'_2/314$ – індуктивність розсіювання обмотки ротора, Гн;

x'_2 – індуктивність обмотки ротора, що приведена до обмотки статора, Гн.

Еквівалентна індуктивність системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун»:

$$L_\Delta = L_d + \frac{3}{2} k_i^2 \cdot \left(L_s - \frac{L_\mu^2}{L_r} \right), \text{ Гн},$$

де L_d – індуктивність ланцюга постійного струму перетворювача частоти, Гн;

$L_s = L_\mu + L_1$ – повна індуктивність обмотки статора, Гн;

$L_1 = x_1/314$ – індуктивність розсіювання обмотки статора, Гн.

Отримані аналітичні вирази необхідно доповнити залежністю напруги холостого ходу статора U_{01} від сигналу U_y управління. Звичайно застосовується пропорційна залежність:

$$U_{01} = k_{\text{пч}} \cdot U_y, \text{ В},$$

де $k_{\text{пч}} = \frac{U_{01}}{U_{y.\text{ном}}} = \frac{I_{\mu} \cdot (x_0 + x_1)}{U_{y.\text{ном}}}$ – статичний коефіцієнт передачі перетворювача частоти;

$U_{y.\text{ном}}$ – номінальну напругу управління перетворювачем частоти, в розрахунках приймати $U_{y.\text{ном}} = 10 \text{ В}$ у відповідності з ГСП.

У деяких випадках враховується електромагнітна інерційність $T_{\text{пч}}$ системи управління перетворювачем частоти. Величина електромагнітної інерційності дуже мала ($T_{\text{пч}} = 0,005 \text{ с}$) і часто нею нехтують [5].

На додаток до отриманих залежностей включають також рівняння руху електроприводу, щоб зв'язати в єдину систему механічні ланки з електричними ланцюгами. Для пускових процесів при реактивному моменті статичного опору M_c маємо:

$$M = M_c + M_d, \text{ Нм},$$

де M_d – динамічний момент, Нм.

На підставі отриманих залежностей маємо математичний опис одномасової електромеханічної системи стрічкового конвеєра з електроприводом за схемою «перетворювач частоти – асинхронний двигун» у вигляді структурної схеми, наведеної на рисунку 2.15.

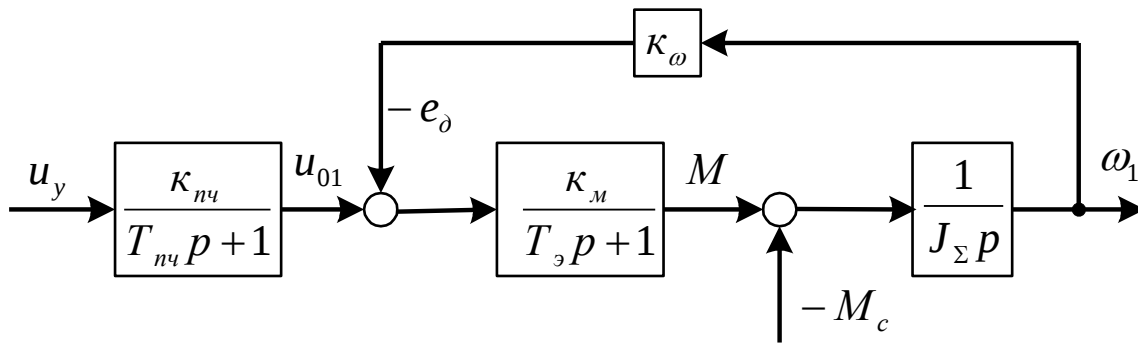


Рисунок 2.15 – Структурна схема частотно-регульованого електропривода

2.5 Обґрунтування вибору пристрою плавного пуску типу КУВПП-250УХЛ5

2.5.1 Переваги використання системи плавного пуску

Переважає більшість гірничих машин вугільних шахт працюють у важких високонавантажених режимах і оснащені при цьому нерегульованими електроприводами на основі вибухозахищених асинхронних електродвигунів. Це обумовлює підвищений знос їх елементів через високі динамічні навантаження, ривки, великі пускові струми, що виникають в основному в початковий момент при пуску. Крім того, швидкий розгін машин найчастіше є причиною підвищеного травматизму обслуговуючого персоналу. Особливо гостро стоїть ця проблема при управлінні конвеєрами як скребковими, так і стрічковими, в яких прямий пуск є причиною пориву ланцюга або дорогої стрічки, а відповідно - простою і втрати видобутку вугілля.

Застосовувані методи зниження динамічних навантажень за допомогою турбомуфти, електромагнітних муфт і двошвидкісних електродвигунів мають ряд відомих недоліків і не забезпечують повною мірою надійний та ефективний захист машин, оскільки:

- прямий пуск з турбомуфти характеризується низькою надійністю і високою трудомісткістю обслуговування, і при цьому не вирішується проблема динамічних ударів в конвеєрному ставі і великих механічних навантажень на стрічку;
- пуск асинхронного двигуна при переході з однієї швидкості на іншу за схемою «зірка-трикутник» або з перемиканням його незалежних обмоток статора викликає великі піки пускового струму і моменту при перемиканнях, через що виникають механічні перевантаження, які часто призводять до пошкоджень обладнання.

Найбільш ефективним способом пуску і управління приводами, що виключає перераховані вище недоліки, є застосування перетворювачів частоти. Однак висока вартість і складність обслуговування, а також проблеми охолодження перешкоджають їх широкому поширенню в умовах шахт.

Створення ефективного і недорогого сучасного пристрою плавного пуску дозволяє забезпечити повною мірою надійність і захист машин та продовжити термін служби електродвигунів [10].

Пристрої плавного пуску стрічкових конвеєрів для гірничих підприємств випускаються як внашій країні, так і за кордоном. В Україні виробляють пристрої плавного пуску типу АПМ-200 і УКТВ-400. Зарубіжні пристрої мають високу вартість, а названі вітчизняні пристрої мають на стару елементну базу, складні та мають низьку надійність з недостатніми функціональними можливостями.

2.5.2 Результати розробки нового пристрою

В УкрНДІВЕ створено вибухозахищений комплектний пристрій плавного пуску типу КУВПП-250УХЛ5. Його можливо використовувати для приводу стрічкових конвеєрів з асинхронними двигунами на гірничих підприємствах,

небезпечних за газом або вугільним пилом. Тривалість пуску асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором регулюється від 5с до 20с. Основні технічні характеристики пристрою наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики КУВПП-250 УХЛ5

Найменування параметру	Значення
Номінальна вихідна активна потужність при напрузі 660/1140 В, кВт	214/370
Номінальний вихідний струм, А	250
Максимальний струм навантаження при пуску двигуна, (час пуску 20 с), А	1000
Номінальна напруга силового ланцюга, В	1140/660
Струм транзисторного навантаження, А	125
Контрольований опір заземлюючого проводу, Ом	50
Уставки спрацьовування пристрою контролю ізоляції, кОм:	
при напрузі мережі 660 В	30
при напрузі мережі 1140 В	100
Габаритні розміри, мм, не більше	865x900x650
Маса, кг, не більше	260

При роботі можливе не більше чотирьох пусків з інтервалом 1хв або до восьми пусків за годину при контролі температури обмоток електродвигуна. Електрична схема пристрою забезпечує:

- візуальну індикацію готовності до пуску після подачі напруги на пристрій;
- візуальну індикацію очікування пуску і часу пуску;
- візуальну індикацію струму електродвигуна в ході пуску і після його закінчення;

- дистанційне керування за допомогою кнопочового поста керування або контактів апаратури автоматизованого управління, встановлених окремо від пристрою;
- підключення температурного захисту, що вбудовано в електродвигун і який має релейний вихід;
- захист від струмів короткого замикання (кз) відходять від пристрою силових ланцюгів і світлову сигналізацію після її спрацювання. Повний час спрацювання при токах, що перевищують уставку пристрою максимального струмового захисту в 1,5 рази, не повинно перевищувати 0,12с;
- струмовий захист від перевантаження двигуна та світлову сигналізацію після її спрацювання;
- електричне блокування, що перешкоджає включенню контакторів пристрою при опорі ізоляції в відведених силових колах нижче 30кОм при напрузі мережі до 660В і нижче 100кОм при напрузі мережі 1140В і світлову сигналізацію після спрацювання блокування;
- нульовий захист;
- захист при обриві або збільшенні опору заземлюючого ланцюга між пристроєм і керованим електроприймачем до 50Ом і більше;
- захист від втрати керованості при замиканні проводів ланцюга дистанційного керування між собою або із заземлюючим проводом;
- захист від самовключення пристрою при короткочасному (не більше 1с) підвищенні напруги живильного ланцюга до $1,5U_{ном}$, при цьому пристрій повинен залишатися в працездатному стані;
- перевірку дії пристрою попереднього контролю ізоляції;
- світлову сигналізацію про включеному стані роз'єднувача та контакторів;
- спрацювання загальномережевого захисту від витоків на землю у випадку «зварювання» силових контактів вакуумних контакторів в будь-

якому з трьох полюсів у відключеному положенні пристрою (при наявності підключеного двигуна);

- іскробезпека ланцюгів дистанційного керування;
- захист від перегріву силових тиристорів і візуальну індикацію температури;
- захист в ланцюзі зовнішнього навантаження напругою 36В: від струмів кз; від струмів витоку; попередній контроль ізоляції лінії, що відходить.

Принцип роботи пристрою плавного пуску – це плавне підвищення напруги при пуску за допомогою тиристорного перетворювача (ТП), який має шість тиристорів (по два в кожній фазі живлення, пара включена зустрічно-паралельно).

На рисунку 2.16 показаний принцип регулювання кута відкривання тиристорів.

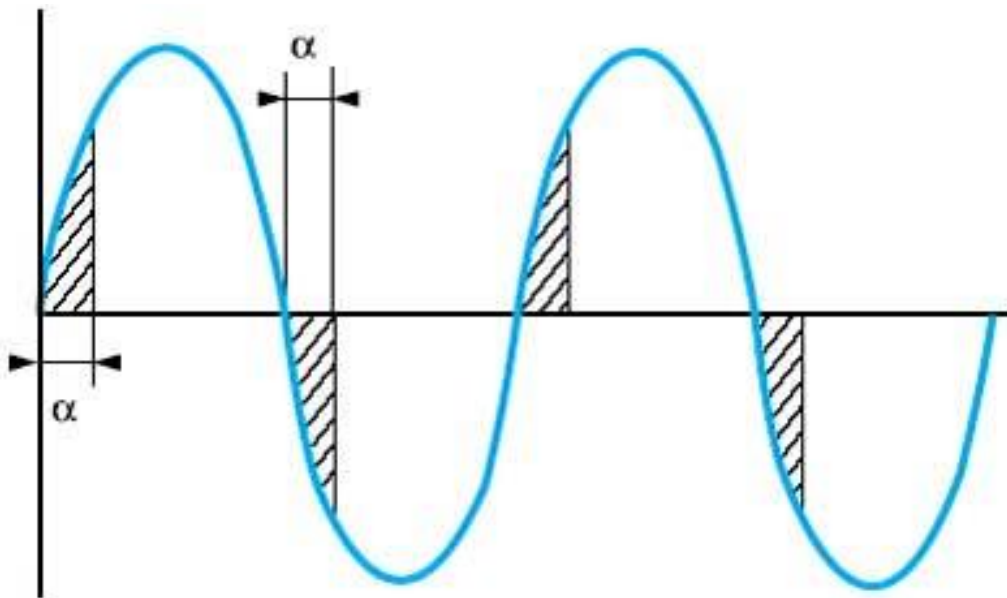
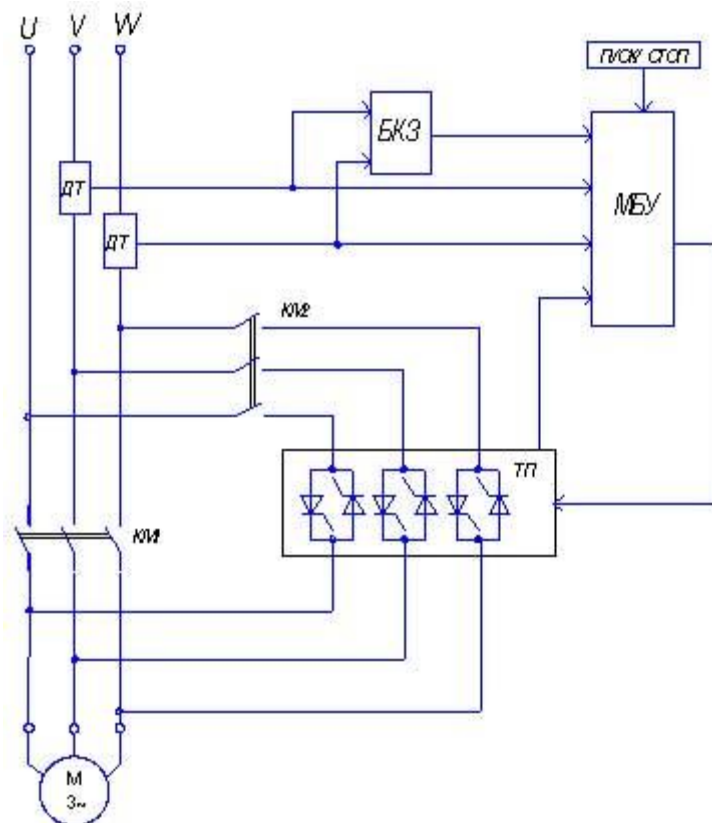


Рисунок 2.16 – Принцип регулювання струму при пуску електродвигуна

Зміна напруги відбувається при постійній частоті електромережі шляхом зміни моменту відкриття тиристора. Мікропроцесорний блок управління (МБУ) здійснює керування швидкістю підвищення напруги живлення.

Структурна схема пристрою наведена на рисунку 2.17.

Тиристори мають модульне виконання з примусовим повітряним охолодженням радіаторів. При температурі радіатора тиристорів більше 80°C пристрій плавного пуску вимикається, що забезпечує тепловий захист апарата. В якості комутаційної апаратури застосовано два вакуумних контактора.



ДТ – датчик струму; БКЗ – блок комплексного захисту;

МБУ – мікропроцесорний блок управління; ТП – тиристорний перемикач;

КМ – вакуумний контактор; М – асинхронний двигун

Рисунок 2.17 – Структурна схема пристрою плавного пуску

Використані при розробці пристрою схемні та конструкторські рішення дозволили розмістити його в вибухозахищеній оболонці пускача типу ПВВ, що серійно випускається та складається з корпусу, кришки, яка швидко відкривається, кришок ввідного та вивідного відділень, кабельних ввідних пристроїв.

Пристрій плавного пуску (рисунок 2.18) має один транзитний ввід, три вводи для підключення силових кабелів і чотири вводи для підключення гнучких кабелів. Ввід для підключення силових кабелів розрахований на підключення як гнучких, так і броньованих кабелів з можливістю виконання сухого оброблення.



Рисунок 2.18 – Загальний вигляд комплектного пристрою плавного пуску
КУВПП-250М

У корпусі пристрою розташовано роз'єднувач, панель з двома контакторами на струм 250 і 160А відповідно, два датчика струму типу ДТ-3, трансформатор напруги, два блоки форсованого включення контакторів (БФВ) та вивідні ізолятори.

У нижній частині корпусу знаходиться силовий напівпровідниковий модуль з вентилятором для примусового повітряного охолодження силових тиристорів, встановлених на радіаторі.

На зовнішній бічній поверхні корпусу праворуч встановлені рукоятка приводу включення роз'єднувача, штовхальник кнопкового вимикача кнопки «СТОП», рукоятка приводу включення кнопкових вимикачів «Перевірка КІ», «Взвод захистів» і скоба механічного блокування роз'єднувача з кришкою, яка швидко відкривається.

Привід включення роз'єднувача блокується з кнопковим вимикачем «Стоп» за допомогою сектора Н і не дозволяє відключити роз'єднувач при включеному контакторі.

На кришці встановлена з'ємна панель, на якій розташовані панель індикації, МБУ, штепсельне рознімання, блоки управління і захисту (БДУ і БКЗ відповідно), блок захисту ланцюгів напругою 36В (БЗ-2).

На зовнішній поверхні кришки розташовані оглядові вікна і рукоятка приводу запірного кільця.

У зв'язку зі складністю виконання вимірювань в шахтних умовах дослідження були проведені на лабораторному стенді для випробування двигунів. Пристроєм виконувалися пуски при номінальній напрузі мережі 660В двигуна типу ЕКВЖ 3,5 потужністю 220кВт, вал якого був жорстко з'єднаний з валом збалансованої машини МПБ55/3У.

У процесі пусків за допомогою осцилографа записувалося амплітудне значення струму двигуна і швидкість обертання валу. На рисунку 2.19 наведена осцилограма з параметрами пуску:

- час пуску – 20с;
- номінальний струм – 250А;
- кратність струму обмеження – 3;
- початкова напруга – 10% номінального.

Для пуску з такими параметрами характерне плавне зростання струму, однак початок обертання ротора двигуна зафіксовано тільки через 5с після подачі напруги. Такий режим пуску небажаний за умовами нагрівання двигуна. Більш оптимальним є режим, наведений на рисунку 2.19,б, при параметрах:

- час пуску – 14с;

- номінальний струм – 250А;
- кратність струму обмеження – 3;
- початкова напруга – 30% номінального.

Аналіз осцилограми (рис. 2.19,б) показує збільшення струму в початковий момент пуску, при якому створюється обертовий момент, достатній для подолання даного моменту опору. Обертання ротора починається менш ніж через одну секунду. При цьому відсутні втрати енергії на небажаний нагрів двигуна, характерні для пуску (рис. 2.19,а).

У процесі випробувань вимірювалася температура радіатора ТП. Після виконання 11 пусків навантаженого двигуна з інтервалом 5 хвилин температура збільшилася на 28°C, що свідчить про правильний вибір площі радіатора та алгоритму управління тиристорами.

Досвід експлуатації пристрою для керування приводами конвеєрів підтвердив необхідність ретельного підбору параметрів пуску пристрою в кожному конкретному випадку.

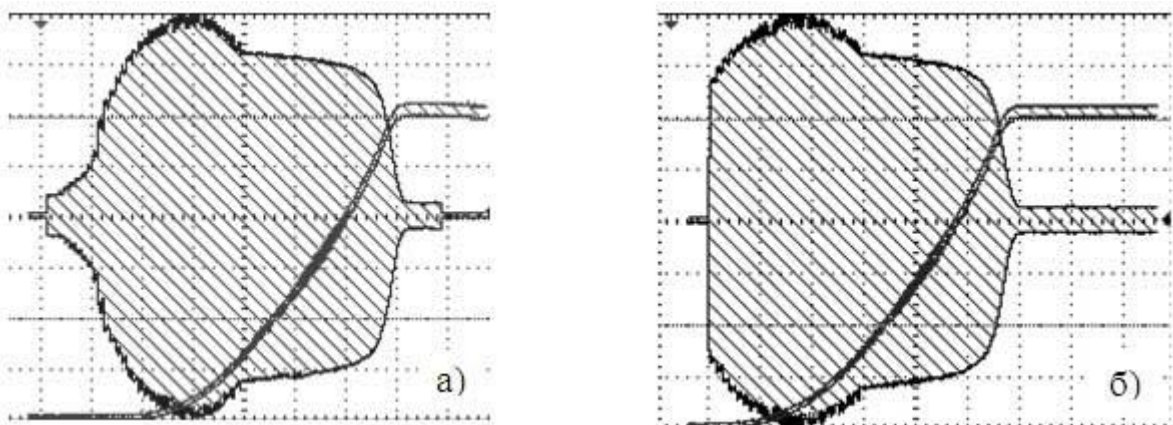


Рисунок 2.19 – Осцилограми струму і тахограми розгону електродвигуна ЕКВЖ3,5 потужністю 220кВт

Для оптимального пуску конвеєру були експериментально підібрані наступні параметри:

- час пуску – 5с;
- номінальний струм – 180А;
- кратність струму обмеження – 4;
- початкова напруга – 30% номінального.

Розгін конвеєра відбувався плавно, без ривків і ударів у стрічці. Після шести пусків підряд температура ТП не досягала граничної.

Таким чином, розроблений вибухозахищений пристрій плавного пуску асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором надійно забезпечує зниження пускових струмів і динамічних ударів і може застосовуватися для керування стрічковими конвеєрами. Застосування пристроїв дозволить продовжити термін служби як самого електродвигуна, так і стрічкового конвеєру загалом.

2.6 Організація автоматизованого контролю інформації та управління конвеєрною лінією. Вимоги до системи управління

Спільно з датчиками технологічного процесу і пусковим обладнанням система повинна забезпечувати наступні функції:

1. Централізоване автоматизоване управління конвеєрною лінією, а також місцеве автоматизоване управління конвеєром, що здійснюється з блоку управління конвеєром.

2. Пуск конвеєрної лінії за командами диспетчера з пульта керування в послідовності, що виключає завал місць перевантажень, шляхом включення кожного наступного конвеєра тільки після встановлення робочої швидкості приймаючого, з подачею попереджувального сигналу.

3. Оперативне зупинення конвеєрної лінії, окремо конвеєра з автоматичним відключенням всіх конвеєрів, що подають вантаж на зупинений.

4. Аварійне зупинення конвеєра при:

- зниженні швидкості приводного барабану більш ніж на 25% від номінальної;
- довго триваючому пуску;
- сходу стрічки;
- підвищенні температури приводного барабану більше 75°C;
- спрацюванні електричних захистів електроприводу.

5. Екстренна зупинка конвеєра з накладанням гальм одночасно з поданням на відключення його приводу при:

- перевищенні швидкості барабану на 10% від номінальної;
- подачею людиною команди на екстрене відключення конвеєра;
- спрацювання датчиків заштибовки.

6. Сигналізація та індикація.

7. Управління конвеєром з багатодвигунним приводом.

8. Управління натяжною станцією стрічкового конвеєра.

Структурна схема управління представлена на рисунку 2.20. Збір інформації про температуру приводних барабанів конвеєрів на лінії здійснюється за допомогою ТЧЕ конвеєра №1 – ТЧЕ конвеєра № п. Далі сигнал посилюється за допомогою посилюючих каскадів, зібраних на прецизійних оперативних підсилювачах (LM108) і надходить у БМК, який має в своєму складі: мікроконтролер із вбудованим АЦП (Atmega64), вузол узгодження сигналів, що надходять від датчиків. Інформація про роботу конвеєрів обробляється за допомогою БМК1-БМКN. В цей час інформація про несправність надходить в центральний контролерний пункт (ЦКП), де диспетчер визначає подальші дії з приходу аварії. Візуалізація роботи конвеєра в місті установки БМК можлива за допомогою 16-розрядного РКІ.

На рисунку 2.21 представлена схема комплексу управління конвеєрною лінією з додатковим датчиком контролю за температурою. Зі схеми бачимо, що до блоку управління (БУ) було приєднано датчик контролю за температурою (ДКТ).

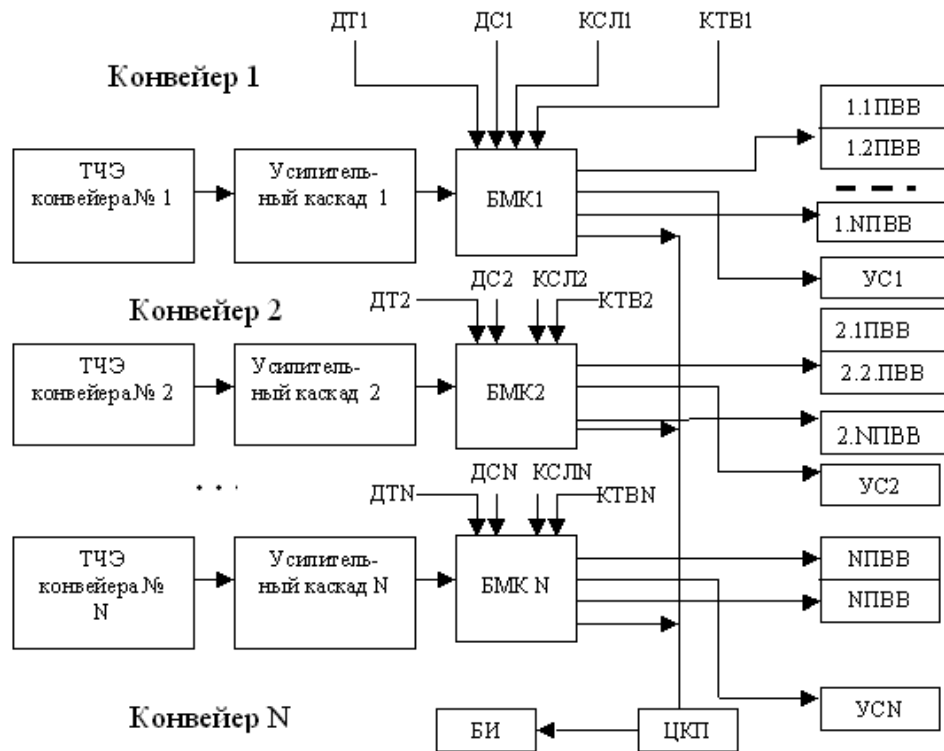


Рисунок 2.20 – Структурна схема системи управління конвеєрною лінією

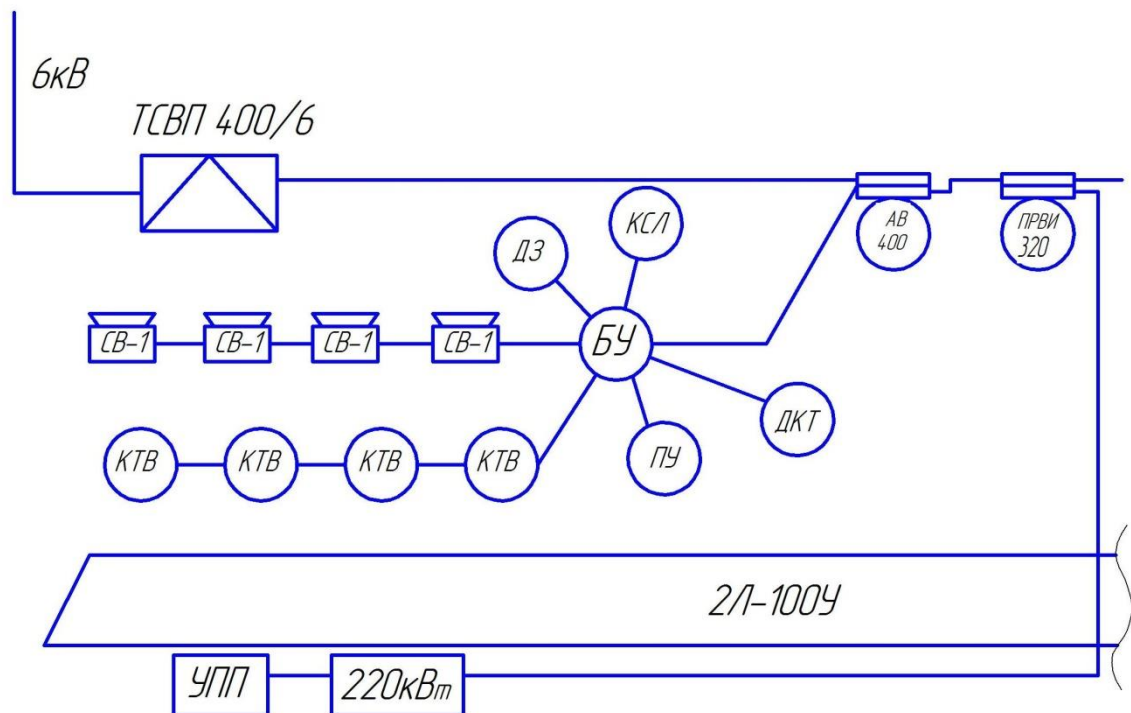


Рисунок 2.21 – Схема комплексу управління конвеєрною лінією

2.7 Економічне обґрунтування прийнятих рішень

Перехід на застосування нового електрообладнання в умовах ВП «Шахта «Котляревська» збільшить не тільки надійність роботи конвеєра, але й дозволить знизити витрати по електроенергії.

Річний економічний ефект від реалізації запропонованої схеми плавного пуску конвеєра визначимо наступним чином. Питоме споживання електроенергії двигуном конвеєра з живленням від частотного перетворювача менше, ніж при живленні без частотного перетворювача в ідентичних умовах. Економічний ефект від реалізації такої схеми буде складатися в основному за рахунок зниження питомого споживання електроенергії двигуном конвеєра, який живиться від частотного перетворювача.

Річний економічний ефект визначимо згідно залежності:

$$E = E_6 - E_n + E_n(K_1 - K_2)$$

де E_6, E_n – експлуатаційні витрати відповідно до базової та запропонованої схем;

K_1, K_2 – капітальні сумарні вкладення відповідно до базової та запропонованої схем;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, значення якого для вугільної промисловості приймається рівним $E_n = 0,15$ [1].

Капітальні вкладення зведемо у таблицю 2.3.

Експлуатаційні витрати. Для спрощення розрахунків однакові витрати по одній й іншій схемам враховувати не будемо. Наприклад, чисельність машиністів підземних установок в обох технологічних схемах конвеєрного устаткування однакова, однакова і їхня заробітна плата.

Амортизаційні відрахування. Розрахунок витрат по амортизаційним відрахуванням зводимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Витрати на капітальні вкладення на впровадження в експлуатацію комплектного пристрою плавного пуску КУВПП-250М.

Найменування устаткування	Кількість, шт.	Відпускна ціна, грн.	Вартість монтажу транспортно-складських витрат на одиницю устаткування	Загальні витрати на капітальні вкладення, грн.
Базова схема				
Трансформатор на підстанція ТСВП 400/6	1	338521,45	16926,07	355447,52
Автоматичний вимикач АВ-400	1	75668,00	3783,4	79451,40
Пускач ПВІ-320	1	333435,00	10030,50	43465,50
Електричний двигун ЭДКВФ355L4 500кВт	1	549562,5	27478,125	577040,6
Разом				1055405
Запропонована схема				
Трансформатор на підстанція ТСВП 400/6	1	338521,45	16926,07	355447,52

Продовження таблиці 2.3

Автоматичний вимикач АВ-400	1	75668,00	3783,4	79451,40
Комплектний пристрій плавного пуску типу КУВПП-250М	1	567439,00	28371,25	595810,95
Електричний двигун ЭДКВФ315 LA4 315кВт	1	319783,00	15989,15	335772,15
Разом				1366482

Витрати по електроенергії визначимо по залежності:

$$A_e = k_3 \cdot \sum P \cdot t \cdot n_{\text{річ}} \cdot a$$

де $a = 0,54 \text{ грн/кВт год}$ – тариф по електроенергії для підприємства;

$k_3 = 0,6 - 0,9$ – коефіцієнт завантаження двигунів привода конвеєра;

$\sum P$ – сумарна потужність двигунів привоу конвеєра;

$t = 18 \text{ год}$ – середній час роботи двигунів приводів конвеєра;

$n_{\text{річ}} = 300$ – кількість робочих днів у році.

Таблиця 2.4 – Амортизаційні відрахування

Найменування устаткування	Кількість, шт.	Повна початкова вартість, грн.	Річна норма амортизаційних відрахувань, %	Сума амортизаційних відрахувань за один рік, грн.
Базова схема				
Трансформатор на підстанція	1	379646,00	15%	398628,30
Автоматичний вимикач АВ-400	1	75668,00	15%	58451,40
Пускач ПВІ-320	1	333435,00	15%	383450,25
Електричний двигун ЭДКВФ355L4 500кВт	1	549562,5	15%	631996,8
Разом				1472526,8
Запропонована схема				
Трансформатор на підстанція	1	379646,00	15%	398628,30
Автоматичний вимикач АВ-400	1	75668,00	15%	87018,20
Комплектний пристрій плавного пуску типу	1	567439,00	15%	652554,85
Електричний двигун ЭДКВФ315 LA4 315кВт	1	319783,00	15%	367750,45
			Разом	1505951,8

Підставивши значення у залежність, одержимо витрати по електроенергії:

– у базовому варіанті витрати на електроенергію:

$$A_{\text{ев}} = 0,75 \cdot 500 \cdot 18 \cdot 300 \cdot 0,54 = 1093500 \text{ грн.}$$

За новою схемою з живленням від частотного перетворювача вартість спожитої електроенергії за добу складе:

$$A_{\text{ен}} = 0,75 \cdot 315 \cdot 18 \cdot 300 \cdot 0,54 = 688905 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект визначимо по залежності:

$$E = A_{\text{ев}} - A_{\text{ен}} + E_{\text{н}} \cdot (K_1 - K_2) = 1093500 - 688905 + 0,15(1055405 - 1366482) = 357933,5$$

Термін окупності проекту складе:

$$t_{\text{ок}} = \frac{T_{\text{кап}}}{E} = \frac{1366482}{357933,5} = 4 \text{ роки}$$

де $T_{\text{кап}}$ – капітальні витрати на проект;

E – річний економічний ефект по проекту.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено аналіз існуючого стану підприємства та відповідність прийнятих на шахті технологій, устаткування, організацій виробництва і техніки безпеки сучасним вимогам і технічному прогресу. Запропоновано вдосконалити комплекс автоматичного управління конвеєрною лінією шляхом підключення пристрою плавного пуску електропривода магістрального конвеєра. Було досліджено існуючу схему вантажопотоків північного ухилу шахти, проведено перевірочний розрахунок стрічкових конвеєрів, що встановлено на магістральній лінії північного похилу пласту l_1 шахти «Котляревська». Було також впроваджено пристрій плавного пуску асинхронного електропривода та розглянуто його переваги і властивості.

В ході роботи було встановлено, що:

- на даний час магістральні конвеєри 2ЛТ-1000Д, 3Л-1000А і 2Л-100У північного похилу пласта l_1 шахти «Котляревська» працюють без перевантажень, розрахункова потужність електроприводу яких не перевищує встановлену;
- наявність пристрою плавного пуску надійно забезпечує зниження пускових струмів і динамічних ударів, що дозволить продовжити термін служби як самого електродвигуна, так і стрічкового конвеєру;
- економічний ефект від впровадження системи плавного пуску електроприводу складе 358 тис. грн. Строк окупності 4 роки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник по автоматизації гірничого конвеєрного транспорту /Стадник М.І. і ін.. – К: Техніка, 1992.
2. Толпежников Л.І. Автоматичне управління процесами шахт та рудників. – М: Недра, 1985.
3. Операційні посилювачі і компаратори. Довідник. Т. 12. – М: Дадека, ХХІ, 2002.
4. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки: Структура і правила оформлення. – К: Держстандарт України, 1996. – 32с.
5. Ніколайчук О.І. Системи малої автоматизації. – М: Сало-прес, 2003.
6. Корн Т., Корн Г. Довідник з математики для науковців та інженерів. – М: Наука, 1968.
7. Петров Г.Н. Электрические машины. Учебн. для электроэнерг.вузов и факульт. в 3–х ч. Изд. 2–е перераб. ч.2. Асинхронные и синхронные машины. М.Л.: Госэнергоиздат, 1963, 416 с.
8. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений /; под ред. И.Я. Браславского, – М.: Издательский центр Академия, 2004. – 256 с.
9. Автоматизация подземных горных работ / Под ред. Проф. А.А. Иванова. – К.: Вища школа, 1987. – 328с.
10. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта / Стадник Н.И. и др. К.: Техника, 1992. – 438с.
11. Технические средства автоматизации в горной промышленности: Учебное пособие / В.И. Груба, Э.К. Никулин, А.С. Оголобченко. – К.: ИСМО, 1998. – 373 с.