

Електромеханічне обладнання стрічкового конвеєра в умовах дробарної фабрики УДТК АТ «ПівдГЗК»
Крижановський Владислав Русланович.
ЗЕЕМ-21ск
Керівник Ільченко О.В.

Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

1.1 Загальна відомості про стрічкові конвеєри

Стрічкові конвеєри є основним видом машин безперервного транспорту, які широко використовуються в різних галузях промисловості завдяки своїм експлуатаційним перевагам: високій продуктивності, можливості транспортувати вантажів на великі відстані, простоті конструкції, високій надійності та відносно невеликій вазі. Загальний вигляд стрічкового конвеєра зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1. Загальний вигляд стрічкового конвеєра

Стрічкові конвеєри можуть транспортувати як сипучі матеріали, і в тому числі подрібнені гірські породи, так і штучних вантажів. Стрічкові конвеєри здійснюють транспортування як по горизонтальним трасам, так и по трасам зі складною геометрією.

До переваг стрічкового конвеєра відносять таке: відносна простота обслуговування, значна довжина транспортування від одного привода, незначний шум при роботі, невеликі питомі витрати електроенергії, широкі можливості автоматизованого керування рухом конвеєра. До недоліків стрічкового конвеєра відносять таке: їх висока початкова вартість, обмежений термін експлуатації конвеєрної стрічки, обмеження по допустимому куту нахилу траси конвеєра.

Існуючі обмеження на можливість застосування стрічкових конвеєрів пояснюється дією наступних факторів:

1. Розміром шматків та станом транспортуемого матеріалу (абразивність, вологість тощо).
2. При використанні нормальної гладкої стрічки існує обмеження кута підйому (до 16 - 20°) в залежності від реологічних властивостей матеріалу і конвеєрної стрічки.

3. Конвеєрний став в плані мусить бути встановлений прямолінійно, що утруднює використання конвеєрів на криволінійних трасах.

У стрічкових конвеєрів стрічка виконує одночасно функції вантажонесучого та тягового органу. Рух конвеєра стрічки уможлиблюється за рахунок фрикційного зв'язку – тертя між конвеєрною стрічкою та приводним барабаном.

Конвеєрна стрічка з розташованим на ній вантажем пересувається по стаціонарним роликкоопорам, які здійснюють обертальний рух.

1.1.1 Класифікація стрічкових конвеєрів.

Класифікацію стрічкових конвеєрів можлива за різними ознаками:

1. Класифікація по вантажопійомності та продуктивності:

- Важкі конвеєри (зі значною, до 2600 мм шириною стрічки, значними швидкостями руху, транспортування мінеральної сировини);
- Легкі конвеєри (з невеликою, до 1200 мм шириною, транспортування сипучих вантажів);

2. Класифікація по розташуванню несучої гілки:

- несуча гілка розташована зверху (найпоширеніший тип);
- несуча гілка розташована знизу;

3. Класифікація по методу розвантаження:

- розвантаженням через приводний барабані;
- розвантаження в проміжних точках траси.

4. Класифікація по типу вантажів:

- насипні вантажі;
- штучні вантажі.

5. Класифікація по формі поперечного перетину:

- плоска стрічка;
- жолобоподібна стрічкою.

6. За конструкцією приводу і кількістю приводних барабанів - з одним, двома, або інше приводними барабанами.

Загальний конструктивна схема стрічкового конвеєра з нахиленою траєю і схемою розміщення основних агрегатів наведена на рис. 1.2.

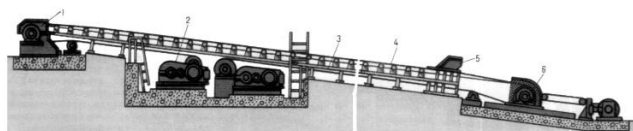


Рисунок 1.2 - Конструкція стрічкового конвеєра.

1 – пристрій розвантаження вантажу; 2 – привод конвеєра; 3 – став конвеєра з роликкоопорами; 4 – конвеєрна стрічка; 5 - пристрій завантаження вантажу; 6 – натяжна станція.

1.1.2 Елементи стрічкового конвеєра

Конвеєрна стрічка. Це ключовий, найдорожчий і найменш довговічний компонент конвеєра, який виконує одночасно функції вантажонесучого і тягового елементу. Стрічка складається з каркаса, розташованого між гумовими обкладками. Каркас виконує функції пересування вантажу і передачі тягового зусилля. Гумові обкладки призначені для захисту каркасу від механічних пошкоджень при завантаженні вантажу та впливу шкідливого навколишнього середовища.

Залежно від типу каркаса, стрічки поділяються на гумовотканинні та резинотросові, загального призначення і спеціальні — морозо- та вогнестійкі, харчові тощо.

Конструкції і внутрішня будова різних типів конвеєрних стрічок показані на рис.1.3.

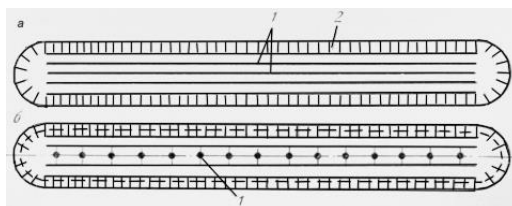


Рисунок 1.3 - Конструкції гумовотканинної (а), і гумовотросової (б) стрічок.

В умовах гірничорудних підприємств, при роботі конвеєрів зі значними погонними навантаженнями частіше використовують гумовотросові стрічки.

Гумовотросові стрічки використовують в основному на важких, магістральних конвеєрах значної протяжності. Вони характеризуються високою міцністю на розрив (до 30 кН/см і більше) і мале відносне витягування (до 0,25 %). Гумовотросова стрічка (рис.1.3, б) в якості основи має металеві троси 1. Недоліком гумовотросових стрічок є значна вага і трудомісткість ремонту стрічок та з'єднання їх стиків.

Роликоопори.

Конвеєрний став складається з послідовно з'єднаних роликоопор, розташованих на металевих стійках, (рис.1.4) .Стрічка пересувається по роликоопорам конвеєрного става, що призване суттєво зменшити сили тертя.

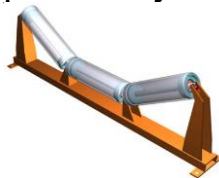


Рисунок 1.3 - Роликоопори конвеєрного става

За своїм призначенню роликоопори діляться на рядові (лінійні) й спеціальні. Рядові роликоопори призначені для підтримки стрічки й надання їй необхідної форми. Спеціальні роликоопори мають більш складну конструкцію й виконують наступні додаткові функції: центрування положення стрічки щодо поздовжньої осі; пом'якшення ударів в місцях завантаження вантажу на

стрічку; очищення конвеєрної стрічки від часток налиплого вантажу; перехідні роликоопори змінюють жолобчатість стрічки перед барабанами.

Для забезпечення підтримки та переміщення стрічки на конвеєрних лініях використовуються спеціальні опорні конструкції з роликами. Якщо ширина стрічки не перевищує 2 метри, застосовуються трироликові опори, бокові ролики яких нахилені під кутом від 20° до 30° . Для ширших стрічок, більших за 2 метри, використовуються п'ятироликові опори. Такі роликоопори надають стрічці оптимальну жолобчасту форму для ефективного переміщення вантажу. На нижній, неробочій гілці конвеєра встановлюються однороликові опори. Для запобігання бокового зсуву стрічки на довгих конвеєрах після кожних восьми-дев'яти нерухомих роликоопор розміщуються поворотні центруючі роликоопори.

Приводна система стрічкового конвеєра. Привід забезпечує передачу тягового зусилля на стрічку конвеєра. Основними компонентами приводу є барабани, що приводять стрічку в рух, розвантажувальні барабани, відхиляючі барабани та силові агрегати (двигуни). Елементи приводної системи, змонтовані на несучій конструкції, утворюють приводну станцію. У приводах іноді застосовуються пускозапобіжні гідромумфти, які встановлюються між валом електродвигуна та вхідним валом редуктора. Вони забезпечують плавний запуск конвеєра та захищають привід від недопустимих перевантажень.

Приводна станція стрічкового конвеєра зображена на рис.1.4.

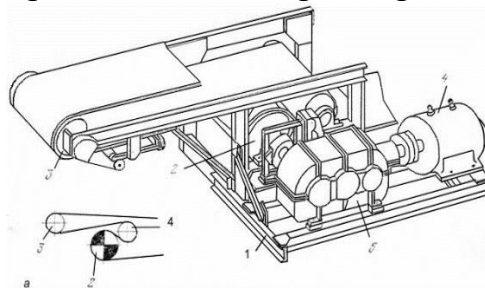


Рисунок 1.4 – Конструкція приводу стрічкового конвеєра

Приводна станція містить у своєму складі такі основні елементи: основна рама 1, приводний барабан 2, розвантажувальний барабан 3, електродвигун 4, редуктор 5, відхиляючий барабан 6.

Приводні барабани передають тягове зусилля від барабана до конвеєрної стрічки з використанням явища фрикційного зчеплення. Радіус приводного барабану залежить від протяжності конвеєра, числа гумових прокладок в стрічці, умов експлуатації. Ширина барабана обирається більшою ніж шириною стрічки на 150-200 мм.

Різні стрічкові конвеєри, в залежності від довжини траси, необхідної продуктивності, кута нахилу можуть мати до трьох приводних барабанів включно. Значення тягового зусилля, яке передається стрічці силами тертя при огинанні стрічкою барабанів, залежить від натягнення стрічки, коефіцієн-

ту тертя, схемою запасовки та кутом обхвату барабанів. Для збільшення тягового зусилля необхідно збільшувати кут обхвату приводного барабану стрічкою. Для цього іноді використовують додаткові відхиляючі барабани.

1.2. Характеристики стрічкового конвеєра №7 дробарної фабрики УДТК

Стрічковий конвеєр №7 дробарної фабрики УДТК є проміжним та призначений для перевантаження подрібненої руди після секції крупного подрібнення до секції середнього подрібнення.

Спрощена геометрична схема траси конвеєра №7 зображена на рис.1.5.

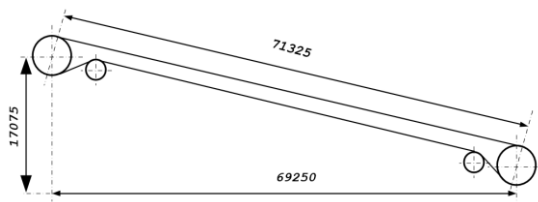


Рисунок 1.5- Геометрична схема розмірів стрічкового конвеєра №7

Кут нахилу конвеєра №7 складає $13^{\circ}51'$.

Технічні характеристики стаціонарного стрічного конвеєра №7 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики конвеєра №7

Характеристика конвеєра	Од. вим.	Значення
Ширина стрічки	м	1200
Довжина конвеєра	м	73
Кут нахилу	град.	$13^{\circ}51'$
Номінальна продуктивність	т/год	10000
Тип натяжного пристрою		Візок
Передаточне число редуктора		47
Число прокладок	шт.	5
Швидкість стрічки	м/с	2,32
Висота підйому	м	17,1
Матеріал, що транспортується		Руда
Насипна вага	т/м ³	2,1
Максимальний розмір шматків	мм	500
Діаметр приводного барабану	мм	1250

1.2.1. Кінематична схема приводу конвеєра №7

Кінематична схема приводної станції стрічкового конвеєра №7 зображена на рис.1.6. Асинхронний двигун через пасову передачу приводить у рух швидкохідний вхідний вал циліндричного редуктора. Рушійний момент від вихідного валу редуктора передається до приводного барабана за допомогою компенсуючої зубчастої муфти.

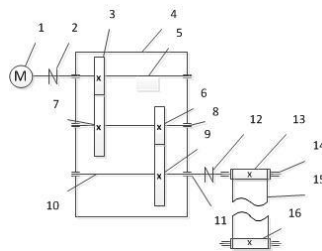


Рисунок 1.3 - Кінематична схема привода №7

1. Електродвигун (мотор); 2. муфта пружна; 3. вал-шестерня швидкохідної ступені; 4. корпус редуктора; 5. вал швидкохідний; 6. вал-шестерня тихохідної ступені; 7. зубчасте колесо швидкохідної ступені; 8. вал-шестерня проміжний; 9. зубчасте колесо тихохідної щаблі; 10. вал тихохідний; 11. підшипниковий вузол з наскрізною кришкою з ущільненням; 12. муфта пружна; 13. барабан приводний стрічкового конвеєра; 14. вал приводного барабана; 15. стрічка конвеєра; 16. натяжна станція конвеєра.

1.3. Обґрунтування системи керування електроприводом

Умови експлуатації конвеєрів можуть суттєво різнитися залежно від їхнього призначення та галузі застосування. Конвеєри можуть працювати в найрізноманітніших, у тому числі вкрай несприятливих умовах: на відкритому просторі, на великих висотах над рівнем моря (понад 1000 метрів), а також у приміщеннях з агресивним середовищем, підвищеною вологістю, забрудненістю повітря, високими температурами. Здатність конвеєрів надійно функціонувати в таких складних умовах є важливим фактором під час їх проектування та експлуатації.

Екстремальні умови експлуатації конвеєрів висувають жорсткі вимоги до безпеки, зручності обслуговування та надійності роботи електроустаткування:

- Приводний двигун повинен мати захищене виконання та забезпечувати підвищений пусковий момент;
- Необхідно забезпечити плавний пуск і гальмування конвеєра;
- Важливо обмежувати прискорення, ривки, а також максимальний момент двигуна та його змінну складову. Різкі коливання моменту в системах з пружними зв'язками можуть викликати механічні коливання під час пуску, що негативно впливає на строк експлуатації конвеєрної стрічки.
- Необхідно мати можливість регулювати швидкість руху конвеєра залежно від обсягу вантажу, що переміщується, для зниження споживання електроенергії та зменшення зносу конвеєрної стрічки.

Основні переваги і недоліки різних методів регулювання частоти обертання асинхронного електропривода наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів регулювання частоти обертання асинхронного електропривода

№ з/п	Системи регулювання швидкості	Регулювання швидкості	Діапазон D	Основні недоліки системи
1	Регулювання опорів ротора	ступінчасте	1,5:1	Значні втрати енергії
2	Зміна числа пар полюсів	ступінчасте	4:1	Мала кількість швидкостей в діапазоні
3	Зміна реактивних опорів	плавне	1,3:1	Низький $\cos\phi$, висока вартість реакторів
4	Зміною напруги	плавне	5:1	Із зниженням ω зменшується ККД і $\cos\phi$ установки
5	Зміна частоти	плавне	до 100:1	Значний вплив на живлячу мережу

У зв'язку зі стрімким розвитком силової перетворювальної техніки найперспективнішим на теперішній час типом регульованого електроприводу є електропривод змінного струму з короткозамкненим асинхронним двигуном та частотним керуванням.

Сучасні перетворювачі частоти з векторним керуванням потокозчеплення ротора (FOC) або з прямим керуванням моменту (DTC) повністю реалізують визначені вище вимоги до електроприводів стрічкових конвеєрів щодо забезпечення плавності його роботи та обмежень прискорень при русі конвеєра. Така система електроприводу гарантує плавне регулювання швидкості конвеєра у широкому діапазоні регулювання; забезпечує астатичність механічних характеристик електропривода; має досить високі енергетичні показники.

1.4 Розрахунок потужності електроприводу конвеєра та вибір приводного двигуна

Необхідна для переміщення вантажу потужність конвеєра, кВт, визначається за виразом:

$$P_{\text{вм}} = \frac{Q \cdot (H + L \cdot W_0)}{367 \cdot \eta_H} = \frac{2777,78 \cdot (17,1 + 73 \cdot 0,4)}{367 \cdot 0,95} = 368,88 \text{ кВт}$$

де Q - продуктивність конвеєра, кг/с; $Q = 10000 \cdot 1000 / 3600 = 2777,78$ кг/с; H – висота підйому траси конвеєра, м; L – протяжність вантажонесучої гілки, м; W_0 – коефіцієнт тертя конвеєрної стрічки.

Загальний коефіцієнт корисної дії конвеєра обчислюємо за виразом:

$$\eta_H = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,97 \cdot 0,98 = 0,95$$

де η_1 - коефіцієнт корисної дії редуктора; η_2 - коефіцієнт корисної дії ремінної передачі.

Остаточо отримуємо, що значення розрахункової потужності конвеєра №7 складає 368,88 кВт.

Згідно виконаних розрахунків, обираємо енергозберігаючий асинхронний двигун типу МЗВМ 400 ЛКА. Технічні характеристики обраного двигуна наведено у табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика двигуна МЗВМ 400 ЛКА

пп	Параметр	Значення
1.	Тип	МЗВМ 400 LKA
2.	Номінальна потужність, кВт	400
3.	Номінальна швидкість, об/хв	993
4.	ККД (номінальне навантаження)	96,1
5.	ККД (75% номінального навантаження)	96,1
6.	Коефіцієнт потужності (номінальне навантаження)	0,8
7.	Коефіцієнт потужності (75% номінального навантаження)	0,77
8.	Номінальний струм, А	50
9.	Кратність пускового струму	5,5
10.	Струм холостого ходу, А	19
11.	Перевантажувальна здібність	2,2

1.5. Розрахунок редуктора

Потужність виконавчого механізму: $P_{вм} = 246,23$ кВт.

Кутова швидкість валу виконавчого механізму:

$$\omega_{вм} = \frac{v_c}{D_б} = \frac{3,15}{1} = 3,15 \text{ с}^{-1},$$

де v_c - поступальна швидкість руху стручки конвеєра, $D_б$ – діаметр привідного барабану.

Швидкість валу виконавчого механізму:

$$\eta_{вм} = \frac{\omega_{вм} \cdot 30}{\pi} = \frac{3,15 \cdot 30}{3,14} = 30,1 \text{ об/хв}$$

Номінальний момент виконавчого механізму:

$$M_{вм} = \frac{P_{вм}}{\omega_{вм}} = \frac{250000}{3,15} = 79365,1 \text{ Нм}$$

Номінальний момент двигуна

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_0 \cdot (1 - S_H)} = \frac{250000}{104,67 \cdot (1 - 0,013)} = 2420 \text{ Нм}$$

Статичний момент опору приймаємо рівним номінальному моменту двигуна $M_c = M_n$.

Передавальне відношення редуктора:

$$K_{ред} = \frac{n \cdot (1 - S_H)}{\eta_{вм}} = \frac{1000(1 - 0,013)}{30,1} = 32,796$$

$$\Omega_{вм} = \omega_{вм} \cdot K_{ред} = 3,15 \cdot 32,796 = 103,31 \text{ рад/с}$$

На базі цих розрахунків обираємо циліндричний двохступінчатий редуктор типу Ц2У-400-40. Редуктор типу Ц2У-400-40 - циліндричний двоступінчастий горизонтальний, загального призначення. Редуктор призначений для використання в районах з помірним кліматом (кліматичне виконання У). За ка-

тегорією розміщення редуктор Ц2У-400-40 може експлуатуватися на відкритому повітрі під навісом, в закритих приміщеннях або в приміщеннях з регульованим кліматом.

Розділ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА №7

2.1 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення приводного асинхронного двигуна

Технічні характеристики приводного двигуна.

пп	Параметр	Значення
1.	Тип	МЗВМ 400 LKA
2.	Номінальна потужність, кВт	400
3.	Номінальна швидкість, об/хв	983
4.	ККД (номінальне навантаження)	96,1
5.	ККД (75% номінального навантаження)	96,1
6.	Коефіцієнт потужності (номінальне навантаження)	0,8
7.	Коефіцієнт потужності (75% номінального навантаження)	0,77
8.	Номінальний струм, А	80
9.	Кратність пускового струму	5,5
10.	Струм холостого ходу, А	26
11.	Перевантажувальна здібність	2,2

Вигляд Т-подібної схеми заміщення асинхронного двигуна зображено на рис.2.1:

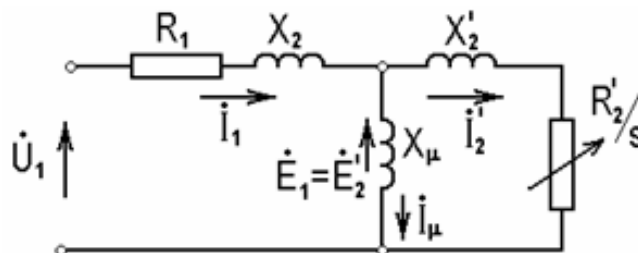


Рисунок 2.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

На рис.2.1 використано наступні позначення: R_1 , X_1 – активний та реактивний опір фази статора асинхронного двигуна; R_2 , X_2 – активний та реактивний опір фази ротора асинхронного двигуна; X_m – реактивний опір контуру намагнічування асинхронного двигуна.

За технічними характеристиками асинхронного двигуна розраховуємо значення параметрів схеми заміщення. При розрахунках прийнято припущення, що ми нехтуємо активним опором контуру намагнічування.

Номинальна кутову швидкість:

$$\omega_{\text{НОМ}} = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{\pi}{30} = 104,475 \text{ 1/с}$$

Кутова швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 104,72 \text{ 1/с}$$

Номинальне ковзання:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = 0,005$$

Номинальний момент двигуна:

$$M_{\text{НОМ}} = 1000 \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = 3015 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо номінальний струм статора за формулою:

$$I_{1\text{Н}} = \frac{P_{\text{Н}}}{3 \cdot U_{1\text{Н}} \cdot \eta_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi_{\text{Н}}} = 579 \text{ А}$$

де $P_{\text{Н}}$ – номінальна потужність двигуна;

$U_{1\text{Н}}$ – номінальна фазна напруга;

$\eta_{\text{Н}}$ – номінальний к.к.д.;

$\cos\varphi_{\text{Н}}$ – номінальний коефіцієнт потужності;

Визначаємо струм статора при 75% навантаженні:

$$I_{1\text{р}} = \frac{p_* \cdot P_{\text{Н}}}{3 \cdot U_{1\text{Н}} \cdot \eta_{p_*} \cdot \cos\varphi_{p_*}} = 443 \text{ А},$$

де $p_* = P/P_{\text{Н}}$ – коефіцієнт завантаження двигуна;

η_{p_*} – ККД при неповному завантаженні;

$\cos\varphi_{p_*}$ – коефіцієнт потужності при неповному завантаженні;

Визначаємо струм холостого ходу:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1\text{р}}^2 - [p_* \cdot I_{1\text{Н}} \cdot (1 - s_{\text{Н}})/(1 - p_* \cdot s_{\text{Н}})]^2}{1 - [p_* \cdot (1 - s_{\text{Н}})/(1 - p_* \cdot s_{\text{Н}})]^2}} = 137 \text{ А}$$

де $I_{1\text{Н}}$ – номінальний струм статора;

$I_{1\text{р}}$ – струм статора при 75% навантаженні;

$s_{\text{Н}}$ – номінальне ковзання;

Визначаємо критичне ковзання:

$$S_k = S_{\text{Н}} \frac{(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - [1 - 2 \cdot s_{\text{Н}} \cdot \beta \cdot (k_m - 1)]})}{1 - 2 \cdot s_{\text{Н}} \cdot \beta \cdot (k_m - 1)} = 0,0211$$

де k_m – перевантажувальна здатність двигуна;

β – коефіцієнт, значення якого лежить у межах 0,6-2,5 (для асинхронних двигунів серії 4А $\beta = 1,3$);

значаємо значення коефіцієнта C_I :

Ви-

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_I \cdot I_{1H}} = 1,0191$$

де k_I – кратність пускового струму;

Визначаємо коефіцієнт A_I :

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_m \cdot P_H} = 0,1017$$

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора АД:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_H) \cdot C_1} = 0,0016 \text{ Ом}$$

Активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 0,0017 \text{ Ом}$$

Визначимо параметр γ , який дозволяє знайти індуктивний опір короткого замикання R_{2k} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2)^2 - \beta^2} = 47,27$$

Тоді:

$$X_{кн} = \gamma \cdot R_2' \cdot C_1 = 0,0792 \text{ Ом}$$

Для того, щоб виділити з індуктивного опору короткого замикання L_{2k} опори розсіювання фаз статора L_1 та ротора L_2 , скористаємося співвідношеннями, які справедливі для серійних асинхронних двигунів.

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведеної до статорної, може бути розрахований за формулою:

$$X_2' = 0,58 \cdot X_{кн} / C_1 = 0,036 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки може бути розрахований за наступною формулою:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,0266 \text{ Ом}$$

ЕРС ланки намагнічування E_m , наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора у номінальному режимі, дорівнює:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_1 \cdot I_{1H})^2} = 211$$

Значення реактивного опору контуру намагнічування асинхронного двигуна визначаємо наступним чином:

$$X_\mu = E_m / I_0 = 1,54 \text{ Ом}$$

2.2 Розрахунок природних статичних характеристик асинхронного електродвигуна МЗВМ 400 ЛКА

Розрахунок потрібних характеристик асинхронного двигуна виконаємо з використанням символного методу розрахунку для кіл змінного струму. Для визначення значень опорів схеми заміщення та струмів в окремих гілках схеми використаємо відомості з теоретичних основ електротехніки.

Комплексний опір ротора

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Комплексний опір кола намагнічування

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Комплексний опір роторного кола схеми заміщення

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Комплексний опір кола статора

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний комплексний опір схеми заміщення

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_{20}(s)$$

Струм статора АД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затискачах роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора АД

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Електромагнітний момент АД

$$M_{\text{эм}}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані АД з мережі :

$$P_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Re} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right); Q_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \text{Im} \left(U_1 \cdot \hat{I}_1(s) \right)$$

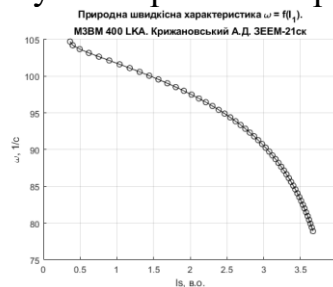
Коефіцієнт корисної дії АД:

$$\eta(s) = \frac{M_{\text{эм}}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{\text{АД}}(s)}$$

Коефіцієнт потужності АД:

$$k_m(s) = \cos \left(\text{arg}(Z_0(s)) \right)$$

Для виконання розрахунків по цим формулам була використана програми MATLAB. Графічні залежності розрахованих статичних і енергетичних характеристик асинхронного двигуна зображені на рис.2.4.



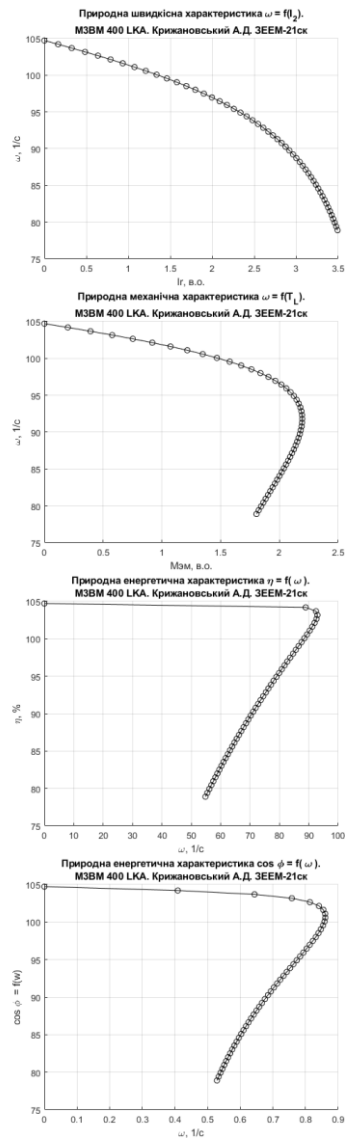


Рисунок 2.4 – Природні експлуатаційні характеристики асинхронного двигуна конвеєра №7

2.3 Розрахунок статичних характеристик частотно-керованого електроприводу

При частотному керуванні необхідно мати на увазі, що реактивні опори асинхронного двигуна також будуть змінюватися в залежності від частоти живлячої мережі. Реактивний опір при частоті живлячої мережі f Гц можна обчислити по відомим значенням реактивного опору при частоті живлячої мережі 50 Гц за виразом:

$$X_f = X_{50} \cdot \frac{f}{50}$$

Також при розрахунках характеристик електропривода необхідно враховувати необхідність одночасного регулювання напруги та частоти за законом Костенко. При номінальній фазній напрузі $U_{\text{НОМ}} = 220$ В для частоти живлячої мережі f , Гц, необхідне діюче значення фазної напруги необхідно обчислювати за формулою:

$$U = 4.4 \cdot f \cdot V$$

Для розрахунку експлуатаційних характеристик частотно-керованого асинхронного електропривода також використаємо комплексний метод розрахунку кіл змінного струму за аналогією з вищенаведеним розрахунком природних характеристик.

Розрахунки штучних експлуатаційних характеристик частотно-керованого асинхронного електропривода були виконані за допомогою MATLAB. Розраховані залежності експлуатаційних характеристик частотно-керованого асинхронного електропривода зображено на рис.2.5 – 2.8. Усі характеристики побудовано для ряду частот живлячої напруги 50, 42, 34, 26, 18 Гц.

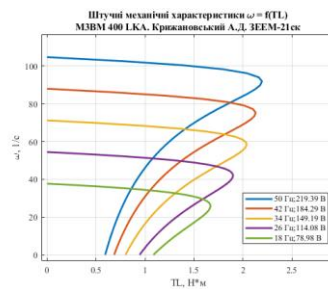


Рисунок 2.5 – Штучні механічні характеристики частотно-керованого асинхронного електропривода

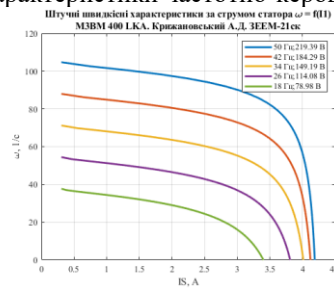


Рисунок 2.6 - Штучні швидкісні характеристики по струму статора частотно-керованого асинхронного електропривода

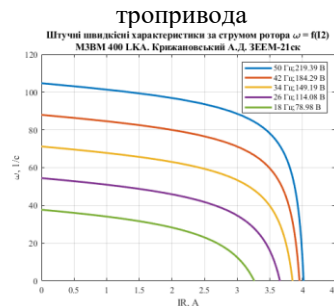


Рисунок 2.7 - Штучні швидкісні характеристики по струму ротора частотно-керованого асинхронного електропривода.

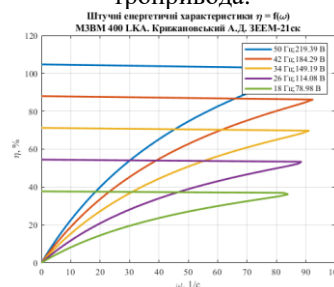


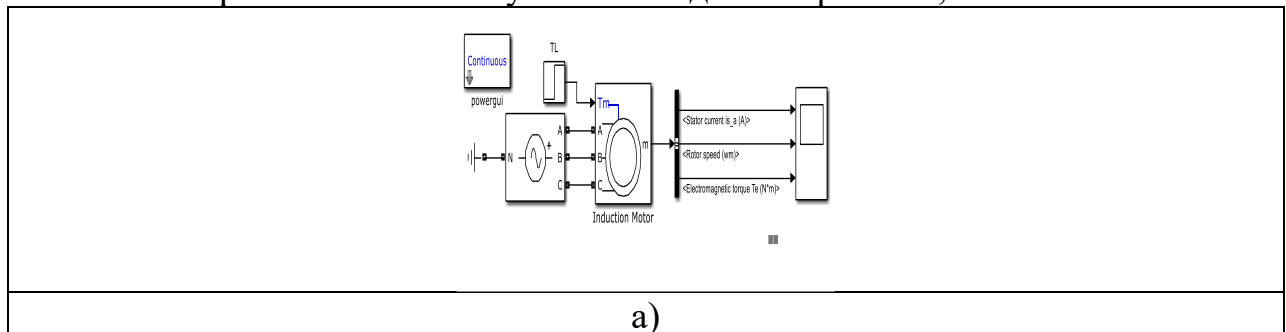
Рисунок 2.8 - Залежність коефіцієнту корисної дії частотно-керованого асинхронного електропривода при частотному регулюванні

Розділ 3. РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА №7

3.1 Перехідні процеси асинхронного двигуна у середовищі MATLAB/Simulink.

Для математичного моделювання асинхронного двигуна використовуємо стандартний елемент Induction Motor бібліотеки Specialized Power Systems програми Simulink, який використовує стандартні рівняння асинхронного двигуна у системі ортогональних координат « α , β , 0».

Математична модель асинхронного двигуна з використанням елементів бібліотеки Specialized Power Systems наведена на рис. 3.1, а.



<p style="text-align: center;">б)</p>	<p style="text-align: center;">в)</p>
<p>Рисунок 3.1 - Математична модель асинхронного двигуна з використанням елементів бібліотеки Specialized Power Systems</p>	

На рисунках 3.1б та 3.1в зображені діалогові вікна для налаштування параметрів асинхронного двигуна та трифазного джерела живлення відповідно.

Отримані графіки, що демонструють електромеханічні процеси в моделі з параметрами, визначеними в пункті 2.1, наведені на рисунку 3.2. На графіках показано діаграми струмів статора та ротора, а також криві швидкості та електромагнітного моменту асинхронного двигуна під час пуску без навантаження. У момент часу $t = 2$ с момент навантаження на двигун зростає до половини номінального значення, тобто $M_{ст} = 0,5 M_{ном}$. Рис 3.2 б демонст-

рує діаграми процесів в асинхронному двигуні при зростанні навантаження в збільшеному масштабі.

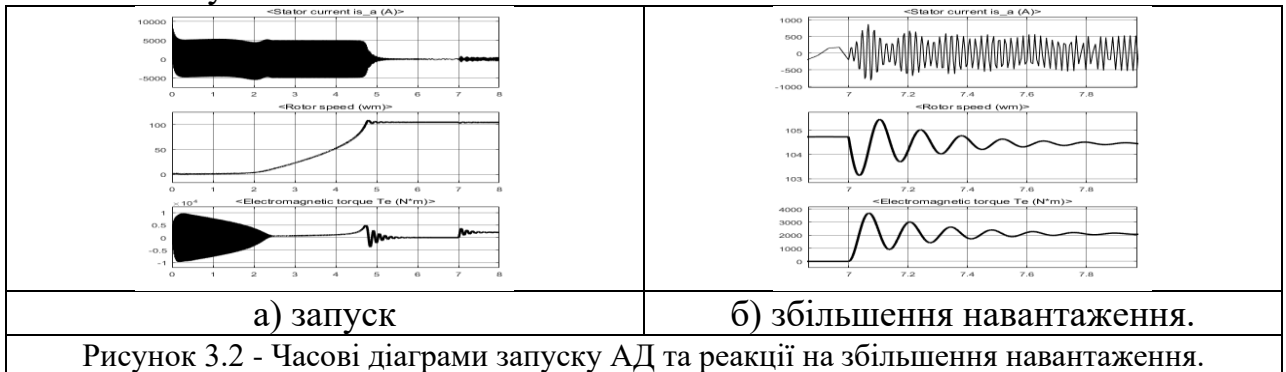


Рисунок 3.2 - Часові діаграми запуску АД та реакції на збільшення навантаження.

Наведені на рис.3.2.б діаграми наочно підтверджують, що розраховані значення номінального струмів та номінальної кутової швидкості відповідають паспортним даним приводного асинхронного двигуна.

3.2. Математичне моделювання конвеєра з урахуванням пружних властивостей конвеєрної стрічки

Механічна частина конвеєрів являє собою складну систему з розподіленими по довжині конвеєра параметрами: масою переміщуваного вантажу, масою й пружністю тягового органу, зусиллям статичного опору. Пружні механічні зв'язки є причиною, що провокує виникнення коливань, які за несприятливих умов суттєво збільшують динамічні навантаження робочого встаткування. Рух системи з розподіленими параметрами описується складними диференціальними рівняннями в часткових похідних.

Суттєве спрощення математичної моделі конвеєра може бути досягнуто при заміні розподілених мас, пружностей й сил їх еквівалентними зосередженими аналогами.

Основою для створення такої спрощеної моделі служить еюра механічних напруг конвеєрної стрічки в пусковому режимі. У якості критерія еквівалентності приймаємо тотожність натягів тягового органу на приводному елементі реальної системи й відповідного елемента моделі.

Основні технічні характеристики конвеєра, необхідні для його моделювання, наведено, у табл. 3.1:

Табл. 3.1. Технічні характеристики конвеєра, використані при моделюванні.

Швидкість стрічки, м/с	v
Погонна вага стрічки, кг/м	$q_{ст}$
Погонна вага матеріалу, що транспортується, кг/м	q_m
Погонна вага обертових частин конвеєра, кг/м: холостої гілки	q_x
робочої гілки	q_p

Розрахункова схема динамічної моделі конвеєра з урахуванням пружних властивостей тягового органу представлена на рис.3.4.

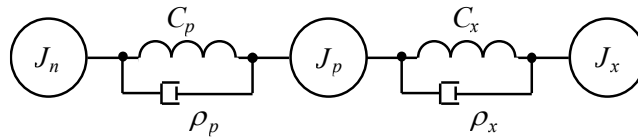


Рисунок 3.4 - Розрахункова трьохмасова схема моделі конвеєра з урахуванням пружних властивостей конвеєрної стрічки

На схемі позначене J_n, J_p, J_x - еквівалентний момент інерції приводного барабана, робочої й холостої гілок конвеєра; C_p, C_x - коефіцієнти жорсткості робочої й холостої гілок конвеєра; ρ_p, ρ_x - коефіцієнти грузлого тертя пружного робочого органу для робочої й холостої гілок.

Структурна схема механічної частини конвеєра з урахуванням пружності тягового органу представлена на рис.3.5.

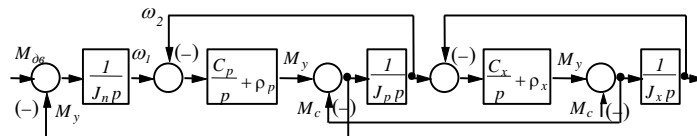


Рисунок 3.5 - Структурна схема моделі механічної частини конвеєра як трьохмасової системи з урахуванням пружних властивостей конвеєрної стрічки

Параметри цієї структурної схеми визначаються за виразами: наведений момент інерції холостої гілок:

$$J_x = L_x(q_{cm} + q_x) \frac{v^2}{\omega_{дв}^2};$$

наведений момент інерції робочої гілок

$$J_p = L_p(q_{cm} + q_p + q_m) \frac{v^2}{\omega_{дв}^2};$$

момент інерції привода

$$J_n = J_{дв} + J_{ред} + J_{бар},$$

де L_x - довжина холостої вітки конвеєра, $J_{бар}$ - момент інерції барабана, наведений до валу двигуна, момент інерції редуктора $J_{ред} \approx (0.2 \div 0.3)J_{дв}$.

3.3 Імітаційне моделювання широтно-імпульсного перетворювача змінного струму

Сучасні перетворювачі частоти використовують принципи широтно-імпульсного перетворення для формування квазісинусоїдальної вихідної напруги. Перемикання стану силових ключів інвертора здійснюється з несучою частотою, яка може дорівнювати 4 - 16 кГц. Тривалість вмикання ключів інвертора модулюється сигналом завдання для отримання потрібної форми вихідної напруги. Напруга на виході перетворювача частоти має форму одно чи двофазних імпульсів постійної напруги. Для покращення якості вихідної напруги використовують багаторівневі інвертори. В цілому, схемотехніка

сучасних високоякісних інверторів та їх систем керування є достатньо складною, що утруднює математичне моделювання перетворювачів частоти. Тому доцільно розглянути методику імітаційного моделювання інверторів, коли не розглядається робота окремих напівпровідникових пристроїв, а форма вихідної кривої напруги інвертора формується аналітичними математичними виразами.

Модель широтно-імпульсного формування сигналу побудуємо на основі формування вибірок с використанням синусоїдального сигналу і частоти модуляції. В реальному інверторі перемикання напівпровідникових ключів здійснюється в моменти часу, коли синусоїдальний сигнал завдання і опорний сигнал пилоподібної або трикутної форми дорівнюють одне одному – рис.3.6 - 3.8.

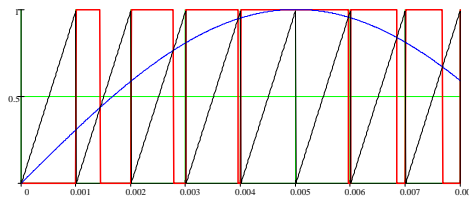


Рисунок 3.6 – Модуляція однополярного сигналу пилоподібною опорною напругою

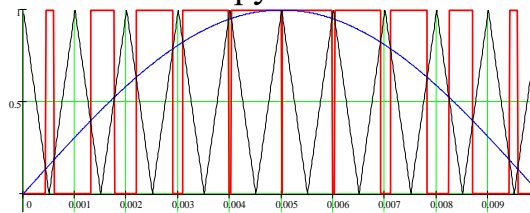


Рисунок 3.7 – Модуляція однополярного сигналу трикутноподібною опорною напругою

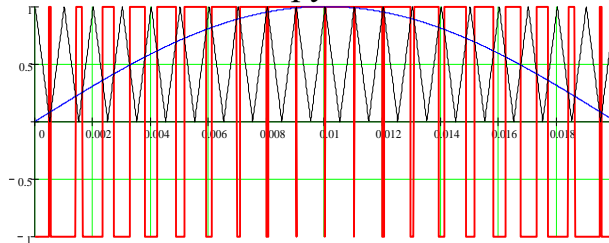


Рисунок 3.8 – Модуляція двополярного сигналу трикутноподібною опорною напругою

Функція напруги з однополярним ШПП задається виразом:

$$U_{шпм}(t) = U_k \left(1 - \left[M(t) + 1 - \gamma U_3(t, \phi_k, f_{вих}) \right] \right), \quad (3.1)$$

Функція напруги з двополярним ШПП задається виразом:

$$U_{шпм}(t) = U_k \left(0.5 - \left[M(t) + 1 - \gamma |U_3(0.5t, \phi_k, f_{вих})| \right] \right), \quad (3.2)$$

де $U_{шпм}$ - напруга на виході інвертора;

$M(t) = |2mantissa(f_M t) - 1|$ - при формуванні ШІМ трикутноподібною напругою ;

$M(t) = \text{mantissa}(f_m t)$ - при формуванні ШІМ пилоподібною напругою;
 U_k, φ_k - амплітуда і фаза k -й гармоніки по фазам А,В,С;
 $U_3(t, f_{вих}, \phi_k)$ - сигнал завдання;
 $f_m, f_{вих}$ - частота модуляції і частота на виході інвертора;
 γ - скважність;
 $[...]$ - функція обчислення цілої частини.

С використанням алгоритмів (3.1) и (3.2) можливо сформуванати напругу багаторівневого інвертора з припущенням про ідеальність ключових елементів інвертора.

3.4 Дослідження пускових режимів електроприводу конвеєра №7 з імітаційною моделлю перетворювача частоти

Структурна схема математичної моделі частотно керованого асинхронного електроприводу, складена з елементів бібліотеки Specialized Power Systems, наведена на рис. 3.9.

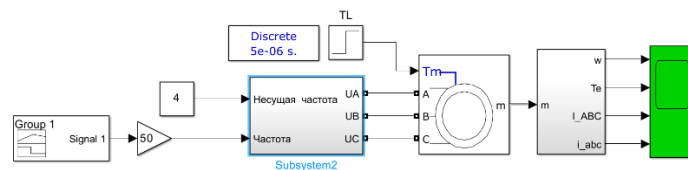


Рисунок 3.9 – Математична модель частотного електроприводу конвеєра.

На рис.3.10 зображено структурну схему підсистеми, яка реалізує наведені у п.3.3 алгоритми імітаційного моделювання широтно-імпульсного перетворювача змінного струму.

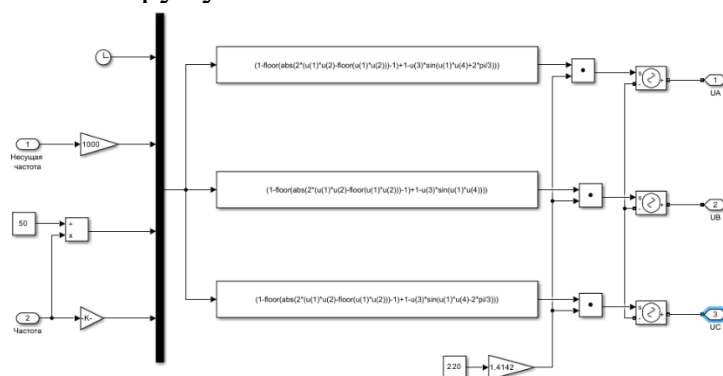


Рисунок 3.10 – Структурна схема підсистеми імітаційного моделювання широтно-імпульсного перетворювача змінного струму

На рис. 3.11 приведено розраховані діаграми кутової швидкості, рушійного моменту, струму статора та струму ротора при прямому запуску конвеєра. На рис. 3.12 приведено розраховані діаграми кутової швидкості, рушій-

ного моменту, струму статора та струму ротора при плавному запуску з часом розгортки напруги та частоти живлення від 15 до 50 Гц за 3с.

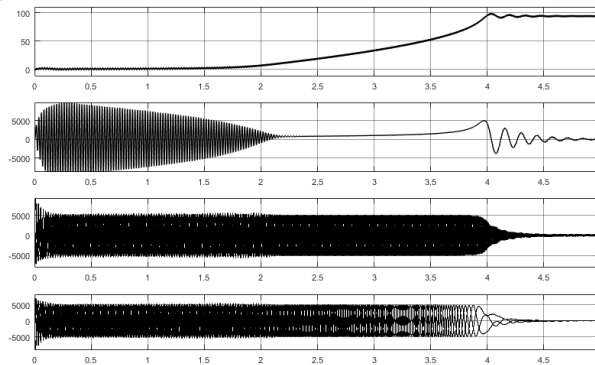


Рисунок 3.11 – Часові діаграми кутової швидкості, електромагнітного моменту, струмів статора та ротора при прямому запуску електропривода конвеєра

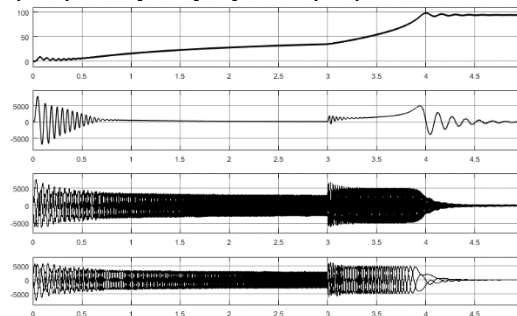


Рисунок 3.12 – Часові діаграми кутової швидкості, електромагнітного моменту, струмів статора та ротора при керованому запуску електропривода конвеєра з часом розгортки 3 с.

Розділ 4. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОНВЕЄРА №7

4.1. Вихідні дані споживачів

Конвеєри: $K_u=0.8$; $\cos \varphi = 0.89$; $tg \varphi = 0.51$

Конвеєр

$P = 315$ кВт, $U = 6$ кВ, $N = 1$ шт

Конвеєр

$P = 200$ кВт, $U = 6$ кВ, $N = 3$ шт

Конвеєр

$P = 400$ кВт, $U = 6$ кВ, $N = 3$ шт

Дробарки ККД 1500/80: $K_u=0.75$; $\cos \varphi = 0.93$; $tg \varphi = 0,4$

1) $P = 500$ кВт, $U = 6$ кВ, $N = 4$ шт

Пластинчатий живильник: $K_u=0.8$; $\cos \varphi = 0.89$; $tg \varphi = 0,51$

$P = 400$ кВт, $U = 6$ кВ, $N = 2$ шт

Освітлення: $K_u=0.8$; $\cos \varphi = 0.89$; $tg \varphi = 0,51$

1) $P = 160$ кВт, $U = 0,4$ кВ, $N = 1$ шт

4.2. Розрахунок електричних навантажень та вибір трансформаторів

Визначимо середню активну потужність групи приймачів [10] за найбільш завантаженою зміну на I секції шин 6 кВ:

$$P_{cui} = \sum K_u \cdot P_n \text{ кВт} \quad (4.1)$$

де:

K_u - коефіцієнт використання приймача;

P_n – номінальна активна потужність приймача.

$$P_{cui} = 3 \cdot 400 \cdot 0,8 + 315 \cdot 0,8 \cdot 0,51 + 3 \cdot 200 \cdot 0,8 + 4 \cdot 500 \cdot 0,75 + 2 \cdot 400 \cdot 0,8 + 3 \cdot 160 \cdot 0,8 = 3437 \text{ кВт}$$

Визначимо середню реактивну потужність групи приймачів за найбільш завантажену зміну на I секції шин 6 кВ:

$$Q_{cui} = \sum K_u \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi \quad \text{кВАР} \quad (4.2)$$

де:

$\text{tg}\varphi$ - відповідає середньозваженому $\cos\varphi$

$$Q_{cui} = 3 \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 0,51 + 315 \cdot 0,8 \cdot 0,51 + 3 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 0,51 + 4 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 0,4 + 2 \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 0,51 + 3 \cdot 160 \cdot 0,8 \cdot 0,51 = 1855 \text{ кВАР}$$

Визначаємо повну розрахункову потужність:

$$S_{розр} = \sqrt{(P_{cui})^2 + (Q_{cui})^2} = \sqrt{(3437)^2 + (1855)^2} = 3,905 \text{ мВА}$$

На підприємстві встановлений трансформатор ТМ-6300/35 з параметрами наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Параметри трансформатора ТМ-6300/35

$S_{ном}$, кВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	U_k , %	I_{xx} , %
6300	35	6,3	3,25	46,5 кВт	7,5	0,6

Але в умовах енергозбереження я вважаю доцільним встановити трансформатор з найбільш підходящими параметрами, а саме з меншою номінальною потужністю - ТМ-4000/35, параметрами наведеними в таблиці 4.4.

Таблиця 4.2. Параметри трансформатора ТМ-4000/35

$S_{ном}$, кВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	U_k , %	I_{xx} , %
4000	35	6,3	5,3	33,5 кВт	7,5	0,9

4.3. Вибір трансформаторів 6/0,4 кВ

Розрахункова потужність всіх окремих груп споживачів визначається з урахуванням коефіцієнта суміщення максимуму навантажень:

$$P_{розр} = K_{с.мах} \cdot \sum P_n \text{ кВт} \quad (4.3)$$

де $K_{с.мах}$ - коефіцієнт суміщення максимуму навантажень, приймається $=0,85$

$$P_{расч.гр} = 0,85 \cdot 160 = 136 \text{ кВт}$$

$$Q_{расч.гр} = P_{расч.гр} \cdot \text{tg}\varphi = 136 \cdot 0,51 = 69,36 \text{ квар}$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_{розр} = \sqrt{P_{расч.гр}^2 + Q_{расч.гр}^2} = \sqrt{136^2 + 69,36^2} = 152,6 \text{ кВА}$$

Потужність трансформатора по розрахунковому навантаженню:

$$S_{ном\ tr} = \frac{S_{розр}}{K_{пер} \cdot \eta_c}, \text{ кВА} \quad (4.4)$$

$K_{пер} = 1,1 \div 1,3$ - коефіцієнт перевантаження трансформатора, приймаємо $K_{пер} = 1,2$

η_c – ККД мережі

$\eta_c = 0,97 \div 0,98$ для гнучких кабелів;

$\eta_c = 0,94 \div 0,95$ для повітряних ліній.

Приймаємо $\eta_c = 0,98$

$$S_{ном.тр.} = \frac{152,6}{1,2 \cdot 0,98} = 129,76 \text{ кВА}$$

Вибираємо трансформатор ТМ-160 з параметрами, що наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Параметри трансформатора ТМ-160

$S_{ном}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$\Delta P_{ХХ}$, кВт	$\Delta P_{КЗ}$, кВт	U_k , %	$I_{ХХ}$, %
160	6	0,4	0,565	2,65 кВт	4,5	2,4

4.4. Розрахунок струму К.З. в точці К1.

Складемо схему заміщення для розрахунку струмів К.З. (рис.4.1).

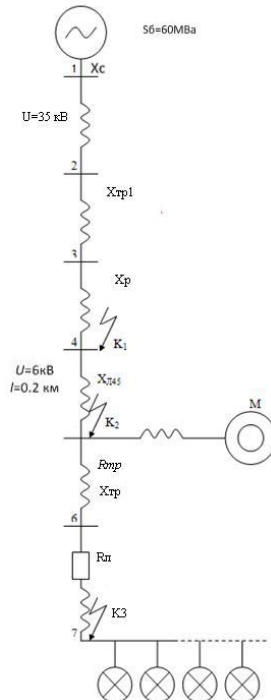


Рисунок 4.1 - Схема заміщення для розрахунків струмів короткого замикання

Для розрахунку струму К.З. в точці К1 приймаємо $S_б = 60\text{мВА}$, $U_б = 6\text{кВт}$. Визначаємо реактивний опір силового трансформатора у відносних одиницях:

$$X_{i^* \text{ б.тр.}} = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{\text{ном.тр}}} \text{ Ом} \quad (4.5)$$

де $S_б$ – базисна потужність, мВА;

$S_{\text{ном.тр.}}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА.

$$X_{i^* \text{ б.тр.}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19 \text{ Ом}$$

Визначимо реактивний опір реактора:

$$X_{* \text{ реакт}} = X_{\text{реакт}} \cdot \frac{S_б}{U_c^2} \text{ Ом} \quad (4.6)$$

де $S_б$ – базисна потужність, ВА;

U_c – напруга живильної мережі, В.

$$X_{* \text{ реакт}} = 2,2 \cdot \frac{60 \cdot 10^6}{6000^2} = 3,67 \text{ Ом}$$

Визначаємо сумарний опір до точки К1:

$$X_{б\epsilon} = X_{* \text{ реакт}} + X_{i^* \text{ б.тр.}} = 3,67 + 1,19 = 4,86 \text{ Ом}$$

Струм і потужність К.З. в базисних величинах:

$$S_{2^* \text{ б}} = I_{2^* \text{ б}} = \frac{1}{X_{2^* \text{ б}}} = \frac{1}{4,86} = 0,205$$

Потужність і струм К.З. в абсолютних величинах:

$$S_{\text{ч.к.}} = 0,205 \cdot 100 = 20,5 \text{ мВА}$$

$$I_{\text{ч.к.}} = \frac{20500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1973 \text{ А}$$

Визначаємо ударний струм у точці К1.

Так як маємо на шинах 6 кВ двигуни великої потужності, то ударний струм буде мати дві складові: ударний струм від системи і від електродвигунів:

$$i_{\text{ус}} = i_{\text{у сист}} + i_{\text{у д\epsilon}} \quad (4.7)$$

$$i_{\text{у сист}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{\text{кз}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1973 = 5020 \text{ А}$$

$$i_{\text{у д\epsilon}} = 6,5 \cdot \sum \frac{n \cdot P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} \quad (4.8)$$

де $U_{\text{ном}}, P_{\text{ном}}$ - номінальне значення двигунів;

n – кількість двигунів;

$\eta_{\text{ном}} = 0,92$ – ККД двигунів.

$$I_{у.дв} = 6,5 \cdot \left(\frac{3 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,8} + \frac{1 \cdot 315}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,8} + \frac{3 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 0,8} + \frac{4 \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 0,75} + \frac{2 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 0,8} + \frac{1 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 0,8} \right) = 66390 \text{ A}$$

$$i_{yc} = 5,02 + 66,39 = 71,41 \text{ кА}$$

4.4. Розрахунок струму К.3. в точці К2.

Для розрахунку струму К.3. в точці К2 приймаємо $S_{\delta} = 60 \text{ мВА}$, $U_{\delta} = 6 \text{ кВТ}$. Визначимо реактивний опір ЛЕП, приведене до базисних умов:

$$X_{3*к.л.} = X_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{НОМ}^2} \quad (4.9)$$

де $X_0 = 0,08$ – питомий реактивний опір лінії;

$$X_{3*к.л.} = 0,08 \cdot 0,2 \cdot \frac{60}{6,3^2} = 0,024$$

Сумарний опір до точки К2:

$$X_{3*\delta e} = X_{2*\delta e} + X_{3*к.л.}$$

$$X_{3*\delta e} = 4,86 + 0,024 = 5,1$$

Струм і потужність К3 в базисних величинах:

$$S_{3*\delta} = I_{3*\delta} = \frac{1}{X_{3*\delta}} = \frac{1}{5,1} = 0,196$$

Потужність і струм К3 в абсолютних величинах:

$$S_{ч.к.} = 0,196 \cdot 100 = 19,6 \text{ мВА}$$

$$I_{ч.к.} = \frac{19600}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1886 \text{ А}$$

Ударний струм в точці К2:

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1886 = 4801 \text{ кА}$$

4.6. Розрахунок струму К.3. в точці К3.

Знаходимо активний опір трансформатора у відносних одиницях:

$$R_{*T} = \frac{\Delta P_M}{S_T} = \frac{\Delta P_{K3}}{S_T}$$

(4.10)

$$R_{*T} = \frac{2,65}{160} = 14 \cdot 10^{-3}$$

Реактивний опір трансформатора у відносних одиницях

$$X_{*m} = \sqrt{U_k^2 - R_{*T}^2} \quad (4.11)$$

$$X_{*m} = \sqrt{0,045^2 - 196 \cdot 10^{-6}} = 0,0427$$

Опір трансформатора в абсолютних величинах:

$$R_T = R_{*T} \cdot \frac{U_{НК}^2}{S_T} \quad \text{Ом} \quad (4.12)$$

$$R_T = 14 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{400^2}{160 \cdot 10^3} = 0,014 \text{ Ом} = 14 \text{ мОм}$$

$$X_T = X_{*T} \cdot \frac{U_{HK}^2}{S_T} \quad \text{Ом} \quad (4.13)$$

$$X_T = 0,0427 \cdot \frac{400^2}{160 \cdot 10^3} = 42,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} = 42,7 \text{ мОм}$$

Опір кабельної лінії:

$$R_{к.л.} = R_{0l} \quad \text{Ом} \quad (4.14)$$

$$X_{к.л.} = X_{0l} \quad \text{Ом}, \quad (4.15)$$

где $R_0=0,06$, $X_0=0,179$ – питомий опір лінії

$$R_{к.л.} = 0,06 \cdot 160 = 9,6 \text{ мОм}$$

$$X_{к.л.} = 0,179 \cdot 160 = 28,64 \text{ мОм}$$

Повний опір лінії: $Z_e = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$
(4.16)

$$Z_e = \sqrt{(9,6 + 14)^2 + (28,64 + 42,7)^2} = 75 \text{ мОм}$$

Струм К.3.:

$$I_K = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_e} \quad \text{А} \quad (4.17)$$

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 75 \cdot 10^{-3}} = 7,96 \cdot 10^3 \text{ А} = 3,079 \text{ кА}$$

Ударний струм:

$$I_y = \sqrt{2} \cdot 1,45 \cdot 3,079 = 6,31 \text{ кА}$$

4.7. Вибір провідників

Вибираємо кабель для живлення двигуна конвеєра 1-Т з $P_H=315$ кВт та $U_H=6$ кВ.

Перетин по нагріванню:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \text{ А} \quad (4.18)$$

$$I_p = \frac{315}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,8} = 75,78 \text{ А}$$

$I_p \leq I_{доп} = 80$ А. Приймаємо алюмінієвий кабель перетином 35 мм^4 .

Вибір перерізу по допустимому падінню напруги:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\Delta U}, \text{ мм}^2 \quad (4.19)$$

де l – довжина кабелю, м;

$\gamma = 32 \cdot \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$ – питома провідність алюмінію;

$\Delta U = 300$ В – допустиме падіння напруги, $\Delta U = 0,05 U_{ном}$.

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 75,78 \cdot 200 \cdot 0,65}{300 \cdot 32} = 1,7 \text{ мм}^2$$

Вибір переріз з економічної щільності струму:

$$S = \frac{I_p}{I_{\text{ЭК}}}, \text{мм}^2 \quad (4.20)$$

де $I_{\text{ЭК}}$ – економічна щільність струму, А/мм²;

$$I_{\text{ЭК AC}} = 1,6 \text{ А/мм}^2;$$

$$S = \frac{74,78}{1,6} = 47,36 \text{ мм}^2$$

Вибираємо перетин алюмінієвого кабелю 50 мм⁴.

Перевірка перетину на термічну стійкість:

$$S_{\text{min}} = \frac{I_k \cdot \sqrt{t_\phi}}{C}, \text{мм}^2 \quad (4.21)$$

де I_k – струм К.З. біля двигуна

$t_\phi = 0,2 \div 0,25$ – фактичний час спрацьовування захисту.

$C_{AC} = 85$ – коефіцієнт, що відповідає різниці виділеної теплоти в провіднику після і до К.З.

$$S_{\text{min}} = \frac{1973 \cdot \sqrt{0,23}}{85} = 10,85 \text{ мм}^2$$

Остаточно вибираємо кабель АСБ 3х50+1х25 довжиною 200 м.

Аналогічно вибираємо кабелю для живлення інших споживачів.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 4.4. Встановлені провідники

Найменування	L , м	I_p , А	$S_{\text{расч}}$, мм ²	Кабель
Конвеєри: 1) $P_H=315$ кВт, $U_H=6$ кВ	200	75,78	47,36	АСБ 3х50+1х25
2) $P_H=400$ кВт, $U_H=6$ кВ	150	96,2	60,14	АСБ 3х70+1х35
3) $P_H=200$ кВт, $U_H=6$ кВ	150	48,11	30,07	АСБ 3х35+1х16
Дробарки $P_H=500$ кВт, $U_H=6$ кВ	200	120,28	74,18	АСБ 3х95+1х50
Пластинчатий живильник $P_H=400$ кВт, $U_H=6$ кВ	100	96,2	60,14	АСБ 3х70+1х35
Освітлення $P_H=200$ кВт, $U_H=0,4$ кВ	160	288,67	180,42	АСБГ 3×240+1×185

4.8. Вибір запобіжників

Плавкі запобіжники:

Для всіх електродвигунів:

$$I_{\text{вст}} \geq I_{\text{пуск}}/2,5$$

Для групи електродвигунів:

$$I_{вст} \geq I_{кр}/2,5$$

$I_{кр}$ – максимальний короткочасний струм лінії.

$$I_{кр} = I_{пуск} + I_{дл}$$

$I_{пуск}$ - пусковий струм одного або декількох електродвигунів, що включаються одночасно.

$I_{дл}$ - тривалий розрахунковий струм лінії до моменту пуску одного або групи електродвигунів.

Для двигуна конвеєра $P_H=315$ кВт, $U_H=6$ кВ, $I_H=460$ А, $I_{пуск}=2,3$ кА приймаємо ПН2-600 з $I_H=600$ А, $I_{вст}=600$ А.

Для двигуна дробарки $P_H=500$ кВт, $U_H=6$ кВ, $I_H=721$ А, $I_{пуск}=4,3$ кА приймаємо ПН2-1000 с $I_H=1000$ А, $I_{вст}=1000$ А.

Для двигуна пластинчатого живильника $P_H=400$ кВт, $U_H=6$ кВ, $I_H=619$ А, $I_{пуск}=3,3$ кА приймаємо ПН2-630 с $I_H=630$ А, $I_{вст}=630$ А.

Для освітлення $P_H=160$ кВт, $U_H=0,4$ кВ, $I_H=304$ А, $I_{пл вст} \geq I_H$ осв., приймаємо ПН2-400 с $I_H=400$ А, $I_{вст}=350$ А.