

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Боженка Івана Вадимовича

(ПІБ)

академічної групи 141-17-4

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

Спеціалізації за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Частотно-керований електропривод стрічково-ланцюгового конвеєра

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Колб А.А.			
розділів:				
Технологічна част.	Колб А.А.			
Автоматизований електропривод	Колб А.А.			
Дослідження динаміки електроприводу	Колб А.А.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу**

ступеня бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Боженко І.В. академічної групи 141-17-4
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Частотно-керований електропривод стрічково-ланцюгового конвеєра

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1.Технологічна частина	Конструкція та область застосування конвеєра.	21.04-01.06
2.Автоматизований електропривод	Вибір силових елементів та параметрів системи автоатичного керування конвеєра.	21.04-01.06
3.Дослідження динаміки електропривода	Моделювання роботи електропривода.	21.04-01.06
4.Техніко-економічне обґрунтування	Оцінка капітальних та експлуатаційних витрат	21.04-01.06
5.Охорона праці	Аналіз шкідливих факторів та способи мінімізації їх впливу. Протипожежна профілактика.	21.04-01.06

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

Колб А.А.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

15.06.21.

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

Боженко І.В.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект на тему «Автоматизований електропривод ланцюгового конвеєру» складається з розрахункової частини – сторінок, і графічної частини – 4 аркушів. Розрахункова частина складається з 5 розділів.

У розділі «Технологічна частина» описані основні технічні дані конвеєру, його види, а також вимоги до електроустаткування.

У розділі «Автоматизований електропривод» обраний попередній двигун і перетворювач частоти, а також розраховані усі параметри необхідні для математичного моделювання.

У розділі «Дослідження динаміки електропривода» була зібрана модель електропривода змінного струму з векторним керуванням і проведено моделювання по відпрацюванню механізмом пуску і гальмування.

У розділі «Техніко-економічне обґрунтування» проведений розрахунок капітальних затрат на реалізацію проекту, розрахунок експлуатаційних витрат. Також були визначені показники економічної ефективності і проведений їх аналіз.

У розділі «Охорона праці» проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, наведено інженерно-технічні засоби з охорони праці, а також розглянуті та обґрунтовані протипожежні заходи.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Технологічна частина

- 1.1. Стрічково-ланцюговий конвеєр
- 1.2. Характеристики конвеєра
- 1.3. Область застосування

2. Автоматизований електропривод

- 2.1 Попередній розрахунок ланцюгового конвеєра
- 2.2 Вибір двигуна, редуктора і гальмівного пристрою
- 2.3 Перевірка двигуна по нагріванню і на перевантажувальну здатність
- 2.4. Вибір перетворювача частоти і розрахунок елементів системи

управління

3. Исследование динамики электропривода

- 3.1 Розрахунок регуляторів струму, швидкості та потокозчеплення
- 3.2 Розрахунок параметрів двигуна для моделювання в Simulink
- 3.3 Модель схеми для Simulink
- 3.4 Результати моделювання

4. Техніко-економічне обґрунтування

- 4.1. Розрахунок капітальних витрат
- 4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат
- 4.3. Розрахунок амортизаційних відрахувань
- 4.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний

ремонт

- 4.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

5. Охорона праці

- 5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів
- 5.2. Методи і засоби захисту від шуму
- 5.3. Методи захисту від вібрації та запилення на робочому місці
- 5.4. Розрахунок освітлення робочого місця оператора конвеєра
- 5.5. Протипожежна профілактика

5.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Конвеєр (англ. Conveyer, від convey - перевозити) - транспортер, машина безперервної дії для переміщення сипучих, кускових або штучних вантажів. Основне призначення таких конвеєрів - переміщення вантажів по заданій трасі, і на заданій відстані, а так же розподіл їх по заданих пунктах.

Конвеєри є складовою, невід'ємною частиною сучасного технологічного процесу, вони встановлюють і регулюють темп виробництва, забезпечують його ритмічність, сприяють підвищенню продуктивності праці і збільшення випуску продукції. Поряд з виконанням транспортно-технологічних функцій конвеєри є основними засобами комплексної механізації та автоматизації вантажно-розвантажувальних і складських операцій.

На сучасних підприємствах конвеєри використовують в якості:

високопродуктивних транспортних машин, передавальних вантажі з одного пункту в інший на ділянках внутрішньозаводського і, в ряді випадків, зовнішнього транспорту;

- транспортних агрегатів потужних перевантажувальних пристроїв (наприклад, мостових перевантажувачів, отвалообразователей і т. П.) і вантажно-розвантажувальних машин;
- машин для переміщення вантажів-виробів по технологічному процесу поточного виробництва від одного робочого місця до іншого, від однієї технологічної операції до іншої, встановлюючи, організовуючи і регулюючи темп виробництва і поєднуючи, в ряді випадків, функції накопичувачів (рухомих складів) і розподільників грузов- виробів по окремим технологічним лініям.

Основний класифікаційний ознака конвеєра - тип тягового і грузонесущого органів. Розрізняють конвеєри з стрічковим, ланцюговим, канатним та іншими тяговими органами і конвеєри без тягового органу (гвинтові, інерційні, вібраційні, роликові). За типом грузонесущого органу конвеєри можуть бути: стрічкові, пластинчасті, скребкові, підвісні

вантажонесучі, що штовхають, візкові, ковшові і колискові, а також гвинтові, інерційні, вібраційні, роликові.

Тісний зв'язок транспортують машин із загальним технологічним процесом виробництва обумовлює високу відповідальність їх роботи і призначення. Тому конвеєри повинні бути надійними (безвідмовними), міцними, зручними в експлуатації і здатними працювати в автоматичних режимах.

Висока продуктивність, безперервність вантажопотоку і автоматизація управління зумовили широке застосування конвеєрів у різних галузях народного господарства.

У ряді випадків одна і та ж транспортна операція може бути виконана різними конвеєрами, тому при вирішенні задачі раціонального вибору типу конвеєра, що забезпечує найбільший технічний і економічний ефект, необхідно враховувати наступні фактори: властивості вантажів, що транспортуються; розташування пунктів завантаження і розвантаження, а також відстань між ними; потрібну продуктивність машин; необхідний ступінь автоматизації виробничого процесу, що обслуговується проектованої транспортної установкою; спосіб зберігання вантажу в пункті завантаження.

1. Технологічна частина

					ЕП.ПД.13.07.ТЧ.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.					Технологічна частина	Лит.	Лист	Листів
Перевір.	Колб А.А.							
Реценз.								
Н. Контр.								
Зав. каф.								

1.1 Стрічково-ланцюговий конвеєр

Конвеєр, грузонесущим елементом якого є стрічка, а тяговим - ланцюг, називається стрічково-ланцюговим конвеєром.

Стрічково-ланцюгові конвеєри класифікують:

- за кількістю ланцюгів - одно- і дволанцюгові;
- за способом з'єднання стрічки з ланцюгом - з жорстким з'єднанням, і з фрикційним з'єднанням, при якому тягове зусилля від ланцюгів передається стрічці силами тертя;
- за типом ходових елементів - конвеєри з ходовими і стаціонарними роликками;

за відносним розташуванням контурів стрічки і ланцюги - з внутрішнім і зовнішнім розташуванням.

Як тягового елемента в стрічково-ланцюгових крутонахилених конвеєрах знаходять застосування як стандартні пластинчасті, зварні, роликкові, так і спеціальні ланцюги.

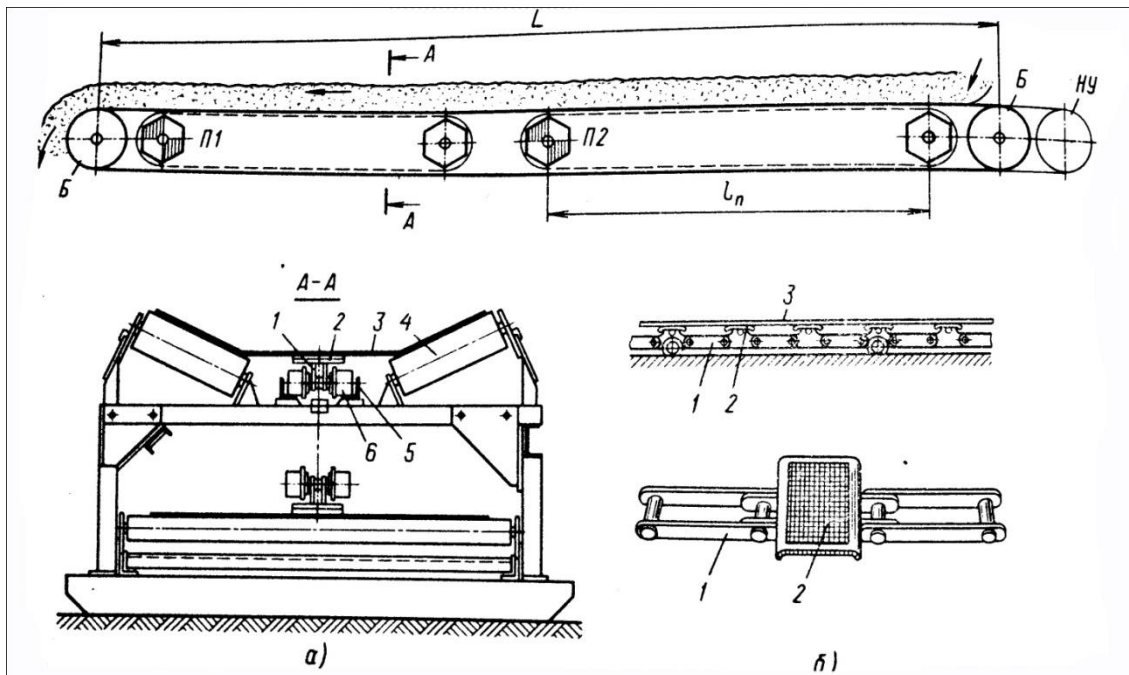
Конструкція стрічково-ланцюгового конвеєра

Стрічково-ланцюговий конвеєр з фрикційної зв'язком стрічки з ланцюгом складається з ланцюга з опорними площадками, прогумованої стрічки, роликкоопор.

Принцип дії такого конвеєра конструкції Хостермана показаний на малюнку 1.1.1:

Тяговим елементом служить одна пластинчатая або частіше, круглозвенная ланцюг 1, забезпечена опорними площадками 2, на які вільно спирається прогумована стрічка 3. жолобч стрічці надають роликкоопори 4, у яких середній ролик відсутня і замість нього проходить тяговий ланцюг, що рухається на ковзанках 6 по напрямних шляхах 5. Захоплення стрічки здійснюється тільки тертям між опорними площадками ланцюга і стрічкою. Ці майданчики встановлюють на кожному другому ланці ланцюга, і для збільшення зчеплення з стрічкою до них прикріплюють накладки з гуми з рисою на опорній поверхні. Рух ланцюга на власних ковзанках по суцільним

напрямних шляхах виключає можливість відшаровування ланцюга від стрічки.

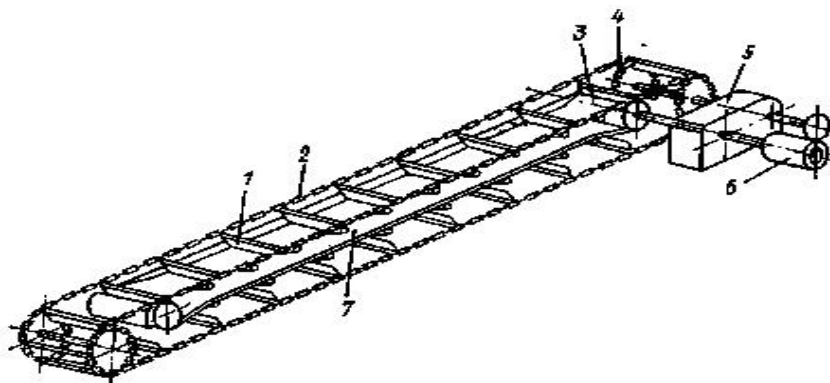


Мал.1.1.1 Стрічково-ланцюговий конвеєр з фрикційної зв'язком стрічки з ланцюгом:

а - схема; б - ходова частина; Б - оборотний барабан; П1, П2 - приводні зірочки; НУ – натягач

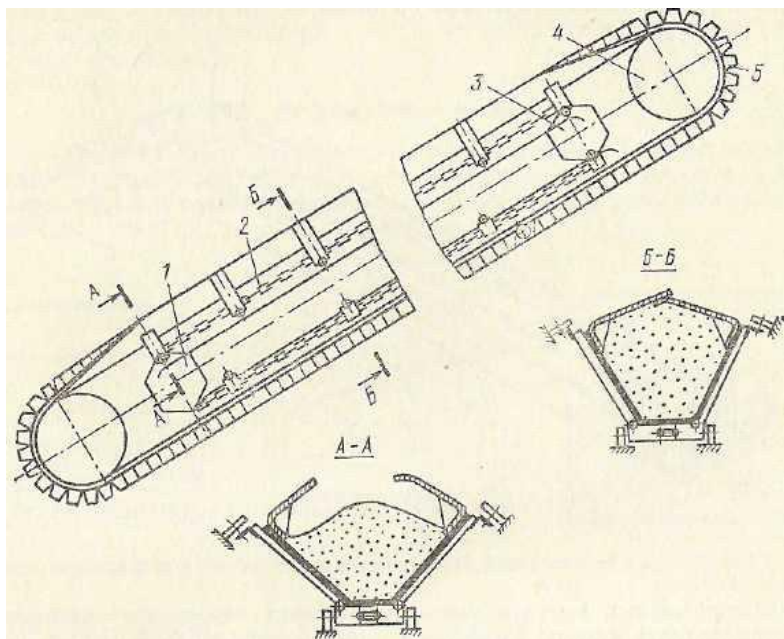
Конструкція конвеєра типу КЛЦ-250 представлена на малюнку 2. Це стрічково-ланцюгової Крутопохилий конвеєр. Принцип його дії полягає в тому, що стрічка 7 і лежить на її поверхні ланцюг 2 з перегородками 1 рухаються з однаковою швидкістю. Перегородки спираються на стрічку і служать для утримання вантажу на стрічці, запобігаючи його прослизання або скочування. Натяжні барабани, стрічки і ланцюги мають роздільні натяжні пристрої, що дозволяє створювати необхідний натяг як стрічки, так і ланцюги. Рух ланцюга і стрічки передається від електродвигуна 6 через редуктор 5, приводні зірочки 4, натяжні барабани 3. Стрічка при своєму русі спирається на стандартні роликоопори, нижня гілка ланцюга рухається по металевих напрямних. Транспортується матеріал, потрапляючи на стрічку конвеєра і розташовуючись між перегородками, переміщається до місця розвантаження,

де між барабаном і приводними зірочками розташовано спеціальне розвантажувальний пристрій.



Мал.1.1.2 Стрічково-ланцюгової Крутопохилий конвеєр

З метою підвищення кута нахилу конвеєра, звільнення стрічки від тягових функцій, часткової герметизації вантажу і виключення роликів опор розроблена конструктивна схема конвеєра з шарнірними траверсами і перегородками на стрічці, обжимаються і утримують переміщуваний насипний вантаж. Схема такого конвеєра зображена на малюнку 1.1.3.



Мал.1.1.3 Стрічково-ланцюгової Крутопохилий конвеєр з герметизацією переміщуваного вантажу: 1 - натяжна зірочка; 2 - ланцюг; 3 - приводний зірочка; 4 - барабан; 5 - стрічка з бортами

1.2 Характеристики конвеєрів

Стрічково-ланцюгові конвеєри мають наступні конструктивні характеристики:

- ширина стрічки 800 і 1000мм;
- продуктивність $300\text{м}^3 / \text{с}$, при швидкості $1\text{м} / \text{с}$;
- довжина 200-750м

Основні параметри деяких моделей стрічково-ланцюгового конвеєра представлені в таблиці 1.2.1.

Таблиця 1.2.1 Основні параметри стрічково-ланцюгового конвеєра

Модель	Максимальна продуктивність, т/ч	Максимальна довжина, м	Швидкість руху транспортуючого органу, м/с
КЛЦ-600	17	50	0,1-0,3
КЛЦ-1200	34	57	
КЛЦ-2300	170	30	

Переваги та недоліки стрічково-ланцюгового конвеєра

До переваг такого типу конвеєрів відноситься:

- можливість застосування стандартної стрічки з трьома-чотирма прокладками;
- можливість транспортувати насипні вантажі при кутах нахилу до $30-35^\circ$ при жорсткому зчепленні ланцюга зі стрічкою.

До недоліків:

- ненадійність фрикційного з'єднання стрічки з ланцюгом через мінливість коефіцієнта тертя в умовах неминучого забруднення і зволоження опорних майданчиків і малої зчіпний маси;
- знос стрічки і майданчиків від прослизання;
- обмеження швидкості через наявність ланцюга і динамічних навантажень на неї;
- обмеження кута нахилу приблизно до 10° при фрикційній зчепленні ланцюга зі стрічкою

.1.3 Область застосування

Конвеєри, грузонесущим елементом яких є стрічка, застосовують для переміщення в горизонтальному і пологопохила напрямках різноманітних насипних і штучних вантажів, а так само для міжопераційного транспортування виробів при поточному виробництві. Вони отримали широке поширення у всіх галузях промисловості і є основними агрегатами механізації транспорту в ливарних цехах (подача і розподіл землі і відходів), на подачі палива електростанцій, підземного і наземного транспорту вугілля і породи у вуглевидобувній промисловості руди, коксу і флюсів в металургії, будівельних матеріалів і корисних копалин в кар'єрах, зерна в зерносховищах, піску та каменю на будівництві каналів і гідроелектростанцій.

Деякі моделі стрічково-ланцюгових конвеєрів можуть транспортувати сміття відходи на території мусоро-перевантажувальних станцій, кородеревних відходів на території паливних складів, торфу, бурого і кам'яного вугілля та інших вантажів.

2. Автоматизований електропривод

					ЕП.ПД.13.07.АЭ.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.					Автоматизований электропривод	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Колб А.А.							
Реценз.								
Н. Контр.								
Зав. каф.								

2.1 Попередній розрахунок ланцюгового конвеєра

Розраховуємо пластинчастий ланцюгової горизонтальний конвеєр при заданій-ній продуктивності $Q = 115 \text{ т / год}$ для перемещення штучних вантажів щільністю $\rho = 1,45 \text{ т / м}^3$ з розміром по діагоналі 160 мм, масою $m = 80 \text{ кг}$. Довжина конвеєра $L = 25 \text{ м}$. Раз-грузка - в кінці завантаженої гілки. Умови роботи - середні.

Приймаємо конвеєр типу КЛЦ плоский розімкнутий з ходовою частиною з катками.

Виходячи з розмірів вантажу вибираємо ширину настилу $B \geq b_1 + B_1$

где: b_1 – найбільший поперечний розмір вантажу, мм;

B_1 – запас ширини настилу (50...100 мм),мм.

$$B = 160 + 100 = 260 \text{ (мм)}$$

Приймаємо ширину настилу $B = 300 \text{ мм}$., Приймаємо крок ланцюга $t = 315 \text{ мм}$.

У відповідності з даними приймаємо швидкість ходової частини $V = 0,3 \text{ м / с}$.

Як тягового органу попередньо приймаємо дві пластинчасті каткові з ребордами на ковзанках (тип 4) розбірні ланцюги з суцільними валиками і руйнівним навантаженням $F_{разр} = 80 \text{ кН}$. Номер ланцюга - М80, позначення ланцюга:

Ланцюг тяговий М80-4-315

Знаходимо погонну масу вантажу за формулою:

$$q = Q / (3,6 \cdot v)$$

$$q = 130 / (3,6 \cdot 0,3) = 120,37 \text{ (кг / м)}$$

З формули знайдемо крок розташування вантажів на настилі:

$$tr = m / q$$

$$tr = 80 / 120,37 = 0,66 \text{ (м)}$$

Наближено погонну масу (кг / м) ходової частини конвеєра можна прийняти:

$$q_{x,y} = 60 \cdot B + K,$$

де: K - коефіцієнт при середній щільності вантажу і ширині пластини;

$$q_{x,y} = 60 \cdot 0,3 + 45 = 63 \text{ (кг / м)}$$

Вибираємо коефіцієнт опору $\omega = 0,1$.

Прийнявши найменше натяг ланцюгів в точці їх збігу з привідних зірочок $F_{\min} = F_1 = 1000$ Н, знайдемо з формули тягову силу конвеєра (F_b і $F_{n.p}$ дорівнюють нулю): $F_0 = 1,05 \cdot [F_{\min} + g \cdot (\omega \cdot q \cdot L_r + 2 \cdot \omega \cdot q_{x.c.} \cdot L_r)]$,

де: L_r - довжина завантаженого ділянки конвеєра, м.

$$F_0 = 1,05[1000 + 9,81 \cdot (0,1 \cdot 120,37 \cdot 25 + 2 \cdot 0,1 \cdot 63 \cdot 25)] = 7042,3(H)$$

Число зубів зірочок для тягових ланцюгів $z = 6$.

Висота підйому вантажу:

$$H = L_r \cdot \sin \beta = 45 \cdot \sin 0 = 0,$$

де β - кут нахилу ділянки.

Розраховуємо динамічне навантаження на ланцюзі за формулою:

$$F_{дин} \approx \frac{60 \cdot v^2 \cdot L}{z^2 \cdot t} \cdot (q + k_1 \cdot q_{x.c.}),$$

де: k_1 - коефіцієнт приведення маси (враховує, що не всі елементи конвеєра рухаються з максимальним прискоренням, а також - вплив пружності ланцюга); L - довжина конвеєра, м.

$$F_{дин} \approx \frac{60 \cdot 0,3^2 \cdot 25}{6^2 \cdot 0,315} \cdot (120,37 + 1,5 \cdot 63) = 2557(H)$$

Визначимо натяг в характерних точках конвеєра методом обходу по контуру і уточнимо значення F_0 . Обхід починаємо від точки з найменшим натягом $F_{\min} = F_1 = 1000$ Н.

Знаходимо опір на ділянці холостий гілки конвеєра:

$$F_x = q_{x.c.} \cdot g \cdot \omega \cdot L.$$

$$F_x = 63 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 25 = 1545,07(H)$$

Знаходимо опір на завантаженій гілки:

$$F_z = (q + q_{x.c.}) \cdot g \cdot \omega \cdot L.$$

$$F_z = (120,37 + 63) \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 25 = 4496,23(H)$$

Знаходимо натяг ланцюгів в точці набігання ланцюгів на натяжні зірочки:

$$F_2 = F_1 + F_x.$$

$$F_2 = 1000 + 1545,07 = 2545,07(H)$$

Знаходимо опір на натяжних зірочках:

$$F_{нов} = F_2 \cdot (1,05 - 1).$$

$$F_{нов} = 2545,07 \cdot (1,05 - 1) = 127,25(H)$$

Знаходимо натяг ланцюгів в точці збігання з натяжних зірочок:

$$F_3 = F_2 + F_{нов}.$$

$$F_3 = 2545,07 + 127,25 = 2672,32(H)$$

Знаходимо натяг в точці набігання завантажених гілок ланцюгів на приводні зірочки:

$$F_4 = F_3 + F_2.$$

$$F_4 = 2672,32 + 4496,23 = 7168,55(H)$$

Знаходимо натяг в набігаючих на приводні зірочки тягових ланцюгах з урахуванням опорів на приводних зірочках:

$$F_{наб} = F_4 + F_4(k_n - 1) = k_n \cdot F_4.$$

$$F_{наб} = 1,05 \cdot 7168,55 = 7527(H)$$

Находим уточнённое значение тяговой силы конвейера:

$$F_0' = F_{наб} - F_1.$$

$$F_0' = 7527 - 1000 = 6527.$$

Знайдемо розрахункове натяг одного ланцюга:

$$F_{расч}^u = 0,6(F_{max} + F_{дин}),$$

де: $F_{max} = F_{наб}$,

$$F_{расч}^u = 0,6 \cdot (7527 + 2556,9) = 6050,34(H)$$

Руйнівне навантаження ланцюга при коефіцієнті запасу міцності $k=8$:

$$F_{разр} = k \cdot F_{расч}^u.$$

$$F_{разр} = 8 \cdot 6050,34 = 48402,72H = 48,4(kH)$$

2.2 Вибір двигуна, редуктора і гальмівного пристрою

Потужність на приводному валу конвеєра:

$$P_0 = 10^{-3} F_0' \cdot v = 10^{-3} \cdot 6527 \cdot 0,3 = 1,96 \text{ (кВт)};$$

Необхідна потужність двигуна:

$$P = \frac{kP_0}{\eta} = \frac{1,2 \cdot 1,96}{0,94} = 2,5 \text{ (кВт)};$$

при ККД приводу $\eta = 0,94$, k - коефіцієнт запасу

З каталогу приймаємо двигун 4А112М6У3 потужність $P = 3$ кВт з частотою обертання $n = 1000$ хв-1. Кратність пускового моменту $\phi_p = 2$. Момент інерції ротора $J_p = 1,7 \cdot 10^{-2}$ кг·м².

Табл.2.1. Параметри асинхронного двигуна 4А112М6У3:

$P_{НОМ}$	n_H	I_H	η	$\cos \varphi$	$\frac{M_{max}}{M_H}$	$\frac{M_n}{M_H}$	$\frac{M_{min}}{M_H}$	$\frac{I_n}{I_H}$	J_δ
кВт	об/мин	А	%	-	-	-	-	-	кг* м ²
3	1000	7,4	85,5	0,81	2,5	2	1,8	6	0,017

Табл.2.2. Параметри схеми заміщення двигуна 4А112М6У3:

$S_{НОМ}, \%$	x_m	R'_1	x'_1	R''_2	x''_2
3,2	2,1	0,060	0,070	0,040	0,11

Частота обертання приводного вала конвеєра:

$$n_{н.с.} = \frac{60 \cdot v}{z \cdot t} = \frac{60 \cdot 0,3}{6 \cdot 0,315} = 9,5 \text{ (мин-1)}$$

Необхідну передавальне число приводу:

$$u = \frac{n}{n_{н.в}} = \frac{1000}{9,5} = 105,26$$

Вибираємо найближчий більший за потужністю редуктор типу КЦ2-750 з передавальним числом $u_p = 110$ і потужністю на швидкохідному валу $P_p = 10,8$ кВт.

При цьому передавальне число клиноремінною передачі:

$$u_{к.п} = \frac{u}{u_p} = \frac{110}{73} = 1,5$$

Виходячи із прийнятого передавального числа, уточнюємо швидкість ланцюга:

$$v_\phi = \frac{(z \cdot t) \cdot n}{60 \cdot u_p} = \frac{1,89 \cdot 1000}{60 \cdot 73} = 0,43 \text{ (м/с)}$$

що відповідає заданим вимогам.

За формулою уточнюю продуктивність конвеєра:

$$Q_\phi = 900 \cdot B \cdot u_\phi \cdot p \cdot [B \cdot k_\beta \cdot \text{tg}(0,4 \cdot \phi) + 4 \cdot h \cdot \psi] \text{ (т/ч)},$$

де: h - висота борту, м;

ψ – коефіцієнт характеризує ступінь використання висоти борту (0,65...0,8);

ϕ – кут природного укосу вантажу в стані спокою;

k_β - коефіцієнт, що залежить від кута нахилу конвеєра;

$$Q_\phi = 900 \cdot 0,3 \cdot 0,43 \cdot 1,85 \cdot [0,3 \cdot 1 \cdot \text{tg}(0,4 \cdot 0) + 4 \cdot 0,1 \cdot 0,7] = 124,57 \text{ (т/ч)}, \quad \text{що}$$

більше заданої продуктивності в допустимих межах.

Для вибору сполучної муфти між двигуном і редуктором визначаю номінальний крутний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n} = \frac{9550 \cdot 3}{1000} = 28,65 \text{ (Н·м)}$$

З урахуванням кратності пускового моменту обраного двигуна $\phi_p = 2$ приймаю розрахунковий момент муфти:

$$M_M^p = M_M^{ном} \cdot \psi_n = 28,65 \cdot 2 = 57,3 \text{ (Н·м)}$$

Вибираємо пружну втулично-пальцеве муфту з номінальним крутним моментом $M_m=150$ Н·м, найбільшим діаметром $D=140$ мм. Момент інерції муфти: $J_m=2 \cdot 10^{-3}$ кг·м².

Середній пусковий момент двигуна:

$$M_{cp.n.} = 0,85^2 \cdot \frac{\psi_n + \psi_{max}}{2} \cdot M_{ном} = 0,85^2 \cdot \frac{2 + 2,2}{2} \cdot 28,65 = 43,32 \text{ (Н·м)}$$

Момент статичних опорів на валу двигуна:

$$M_c = M_{c.в.} \cdot \frac{1}{u \cdot \eta} = 2288,75 \cdot \frac{1}{105,26 \cdot 0,94} = 22,88 \text{ (Н·м)}$$

Момент статичних опорів на приводному валу конвеєра:

$$M_{c.в.} = 0,5 \cdot F_0 \cdot D = 0,5 \cdot 7042,3 \cdot 0,65 = 2288,75 \text{ (Н·м)}$$

де: D_3 - діаметр зірочки, м.

$$C = 9,55 \cdot k_y \cdot [(q + q_k) \cdot H + q_l \cdot H] \cdot v^2$$

$C=0$, т.як, висота підйому вантажу дорівнює 0 ($H=0$).

$$t_n = \frac{\delta \cdot J \cdot n_{эл}}{9,55 \cdot (M_{cp.n.} - M_c)} + \frac{C}{n_{эл} \cdot (M_{cp.n.} - M_c)}$$

$$t_n = \frac{1,2 \cdot 0,017 \cdot 1000}{9,55 \cdot (43,32 - 22,88)} + \frac{0}{1000 \cdot (43,32 - 22,88)} = 0,1 \leq 3 \dots 6$$

де $\delta=1,2$ – коефіцієнт враховуючий вплив обертових мас приводу механізму.

Момент інерції ротора двигуна:

$$J = J_p + J_m = 0,017 + 0,002 = 0,019 \text{ (кг·м}^2\text{)}$$

Визначення зусиль в набігає на приводні зірочки гілки тягового органу конвеєра при пуску конвеєра:

$$F_{пуск} = \frac{2 \cdot M_{пуск}}{D_3} = \frac{2 \cdot 4311,27}{0,65} = 13265,46 \text{ (Н)}$$

Момент від сил інерції і статичних опорів на приводному валу при пуску конвеєра:

$$M_{\text{пуск}} = M_{\text{ин.в.}} + M_{\text{с.в.}} = 2022,42 + 2288,85 = 4311,27 \text{ (Н·м)}$$

Момент сил інерції на приводному валу при пуску конвеєра:

$$M_{\text{ин.в.}} = M_{\text{ин}} \cdot u \cdot \eta = 20,44 \cdot 105,26 \cdot 0,94 = 2022,42 \text{ (Н·м)}$$

Момент сил інерції на валу двигуна при пуску конвеєра:

$$M_{\text{ин}} = M_{\text{ср.п}} - M_{\text{с}} = 43,32 - 22,88 = 20,44 \text{ (Н·м)}$$

Зусилля (Н) в набігає на приводні зірочки гілки ланцюгового конвеєра при пуску:

$$F_{\text{наб}}^{\text{пуск}} = F_{\text{пуск}} + F_{\text{дин}} + F_{\text{сб}} = 13265,46 + 2556,9 + 1000 = 16822,36 \text{ (Н)},$$

де: - натяг вітки конвеєра ($F_{\text{сб}} = F_{\text{мін}}$).

Коефіцієнт перезавантаження тягового органу при пуску конвеєра:

$$R_{\text{пер}} = \frac{F_{\text{наб}}^{\text{пуск}}}{F_{\text{дон}}} = \frac{16822,36}{16134,33} = 1,04 < 1,5$$

$$F_{\text{дон}} = F_{\text{разр}} / k'' = 48403 / 3 = 16134,33$$

Момент сил інерції на валу двигуна при гальмуванні:

$$M_{\text{ин}}^T = \frac{\delta \cdot J \cdot n_{\text{эл}}}{9,55 \cdot t_T} + \frac{C \cdot \eta}{n_{\text{эл}} \cdot t_T} = \frac{1,2 \cdot 0,017 \cdot 1000}{9,55 \cdot 6,67} + \frac{0 \cdot 0,94}{1000 \cdot 6,67} = 0,32 \text{ (Н·м)}$$

Час гальмування конвеєра:

$$t_T = \frac{2 \cdot e_T}{v} = \frac{2 \cdot 1}{0,3} = 6,67 \text{ (с)}$$

Момент сил інерції на приводному валу при гальмуванні конвеєра:

$$M_{\text{ин.в.}}^T = M_{\text{ин}}^T \cdot u \cdot \eta = 0,32 \cdot 20,44 \cdot 0,94 = 6,2 \text{ (Н·м)}$$

Розрахунковий гальмівний момент на валу двигуна:

$$M_p^T = M_{ин}^T + M_c^T = 0,32 + (-4,9) = -4,58 \text{ (Н·м)}$$

Розрахунковий гальмівний момент на приводному валу конвеєра:

$$M_{p.в.}^T = M_{ин.в.}^T + M_{c.в.}^T = 6,2 + (-551,66) = -545,46 \text{ (Н·м)}$$

Момент статичних опорів конвеєра на валу двигуна при гальмуванні:

$$M_c^T = M_{c.в.}^T \cdot \frac{\eta}{u} = (-551,66) \cdot \frac{0,94}{105,26} = -4,9 \text{ (Н·м)}$$

Момент статичних опорів на приводному валу конвеєра при гальмуванні, необхідний для запобігання зворотного ходу:

$$\begin{aligned} M_{c.в.}^T &= \eta_{звз} \cdot [q \cdot H - R \cdot (\frac{F_0}{g} - q \cdot H)] \cdot g \cdot \frac{D_3}{2} = \\ &= 0,97 \cdot [120,37 \cdot 0 - 0,5 \cdot (\frac{7042,3}{9,81} - 120,37 \cdot 0)] \cdot 9,81 \cdot \frac{0,65}{2} = -551,66 \text{ (Н·м)} \end{aligned}$$

де $\eta_{звз}$ – КПД зірочки .

Оскільки у нас $M_c^T \leq 0$, ($M_c^T = -4,9 \text{ (Н·м)}$) , гальмо не потрібно.

2.3 Перевірка двигуна по нагріванню і на перевантажувальну здатність

Для зручності будемо використовувати метод еквівалентного моменту, що розвивається двигуном, в часі.

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n} = \frac{9550 \cdot 3}{1000} = 28,65 \text{ (Н·м)}$$

моменти електродвигуна під час пуску, сталому режимі і гальмуванні відповідно (28800сек.):

$$\begin{aligned} M_{екв} &= \sqrt{\frac{M_n^2 t_n + M_y^2 t_y + M_m^2 t_m}{t_n + t_y + t_m}} \\ M_{екв} &= \sqrt{\frac{28,65^2 \cdot 1,7 + 22,88^2 \cdot 5,1 + (-4,58)^2 \cdot 1,7}{1,7 + 5,1 + 1,7}} = 21,9 \text{ (Н·м)} \end{aligned}$$

де M_n , M_y , M_m – моменти електродвигуна під час пуску, сталому режимі і гальмуванні відповідно;

t_n, t_y, t_m – відрізки часу роботи двигуна в відповідних режимах.

Час руху з постійною швидкістю: t_a :

$$t_a = \left(\frac{V_{\max}}{a} \right) = \left(\frac{0,85}{0,5} \right) = 1,7(\text{с})$$

Час руху з постійною швидкістю:

$$t_c = \frac{L_m - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot t_a^2 \right)}{V_{\max}} = \frac{5,8 - 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 1,7^2 \right)}{0,85} = 5,1(\text{с})$$

Умова перевірки електродвигуна по нагріванню:

$$M_{\text{ном}} > M_{\text{екв}};$$
$$28,65 > 21,9;$$

Так як еквівалентний момент за цикл $M_{\text{екв}}$ не перевищує номінальний $M_{\text{ном}}$, то це вказує, що двигун по нагріванню обраний правильно.

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{ном}} \geq M_{\text{сп}};$$

$$2,2 \cdot 28,65 \geq 43,32;$$

$$63,03 \geq 43,32;$$

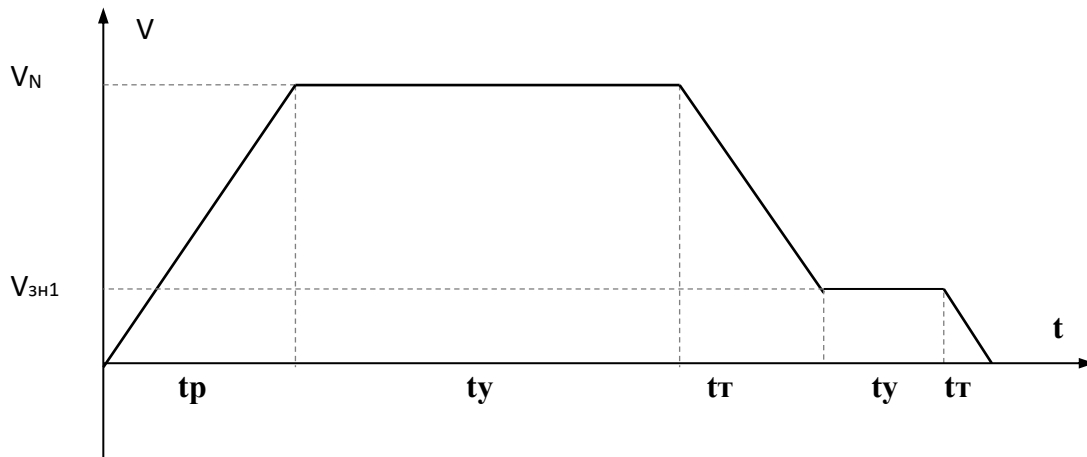
где $M_{\text{кр}}$ – критичний момент двигуна, Нм;

$M_{\text{ном}}$ – номінальний момент двигуна, Нм;

$M_{\text{сп}}$ – момент опору руху під час пуску, Н·м;

λ – перевантажувальна здатність електродвигуна.

Тахограма роботи електропривода конвеєра представлена на мал.2.3.1



Мал. 2.3.1 Тахограма роботи конвеєра

2.4 Вибір перетворювача частоти і розрахунок елементів системи управління

Із запропонованого на ринку обладнання частотного регулювання найбільш вигідну позицію займає ПЧ компанії Vascon (мал. 2.4.1). Маючи у своїй структурі базові елементи системи автоматичного управління і регулювання, а також можливість нарощування додаткового функціоналу, ПЧ забезпечують високу гнучкість в існуючих системах. Перетворювач Vascon оптимально вирішує будь-які завдання з урахуванням особливостей кожного механізму, має відкриту архітектуру для всіх комунікаційних мереж і адаптується до різних вживань. Мають гнучке програмування з можливістю створювати програми диспетчерського управління з повним відображенням технологічного процесу по всьому цеху або заводу



Мал.2.4.1 Перетворювачі частоти Vacon NXS

Опис NXS 00312A2H

Перетворювачі частоти модульного виконання Vacon NXS відрізняються компактністю конструкції і зручним, легким монтажем. Вони можуть працювати в парі з двигунами потужністю від 0,25 до 30 кВт при напрузі живлення 208-500V. Лінійка цих перетворювачів оптимізована по типорозміру. Малопотужні приводи типорозмірів MF2 і MF3, що мають захист класу IP20 призначаються для монтування в шафах. Їх конструктив дозволяє проводити монтаж на DIN-рейку або кріпити гвинтами безпосередньо на стіну. Модулі, що мають клас захисту IP21 і IP54, в основному призначаються для кріплення на стіни, але можуть також монтуватися в шафи. Вбудовані фільтри електроживлення у вигляді гасять дроселів змінного струму, а також фільтри ЕМС ПЧ Vacon NXL дають можливість застосовувати дані частотники в

побутових умовах або промислових мережах. Перетворювачі даної серії мають можливість введення в експлуатацію без попереднього налаштування. Адаптація параметрів під конкретні умови може бути проведена за допомогою панелі управління, обладнаного семісегментним дисплеєм або шляхом застосування спеціального програмного забезпечення NCDrive. Крім стандартної конфігурації набору входу / виходу, даний Частотники оснащений стандартним інтерфейсом RS485 (протокол Modbus RTU). Є можливість розширення інтерфейсу шляхом установки ще однієї плати. Уніфікація параметрів з частотники інших серій дає можливість застосовувати їх вузли і плати розширення нарівні зі своїми.

Переваги NXS 00312A2H

- • краще співвідношення ціна / якість;
- • висока точність підтримки необхідної швидкості;
- • автоматичне енергозбереження;
- • інтелектуальне управління роботою вентилятора, що охолоджує;
- наявність тормозного переривника вже в базовій версії;
- наявність різних фільтрів, що дозволяють застосовувати даний Частотники в побутових цілях;
- налаштовуються показники спрацьовування захисту двигуна і перетворювача.

Застосування NXS 00312A2H

Перетворювачі частоти Vacon NXS практично не мають обмежень області застосування в межах своїх робочих параметрів. Вони використовуються для управління електродвигунами в промисловості, комунальному господарстві, в побутових пристроях.

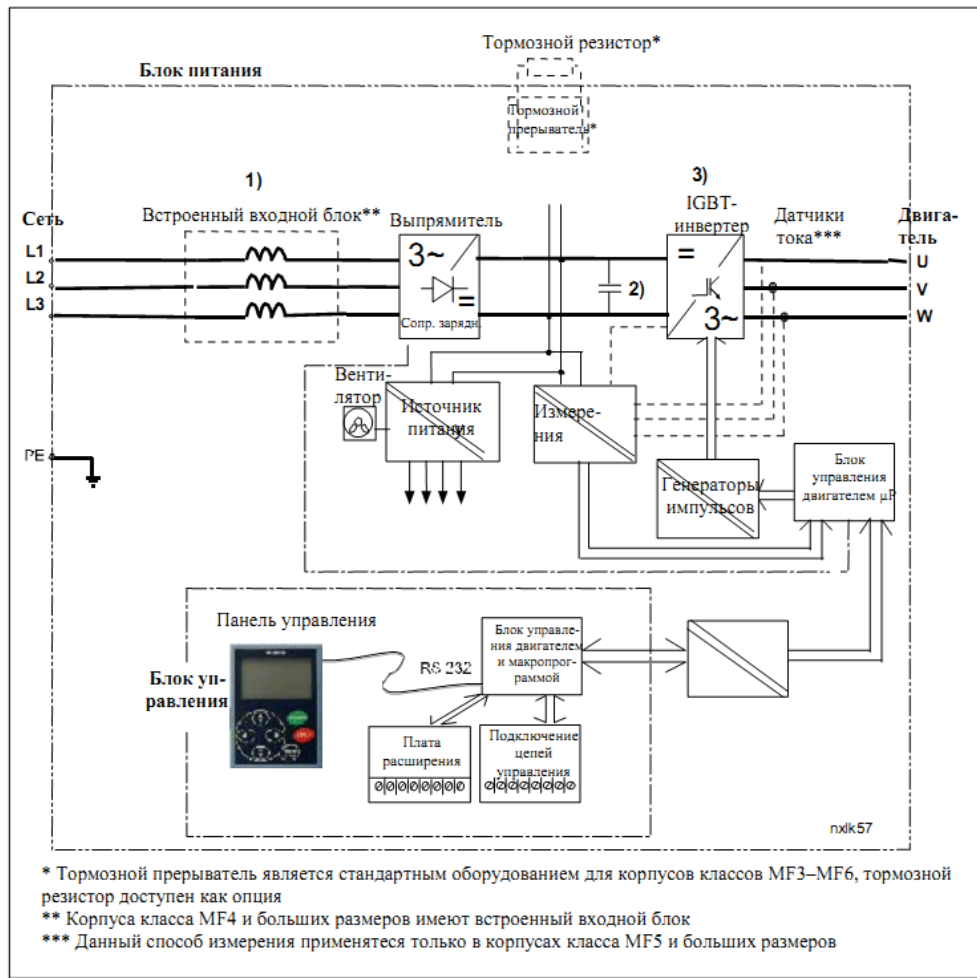


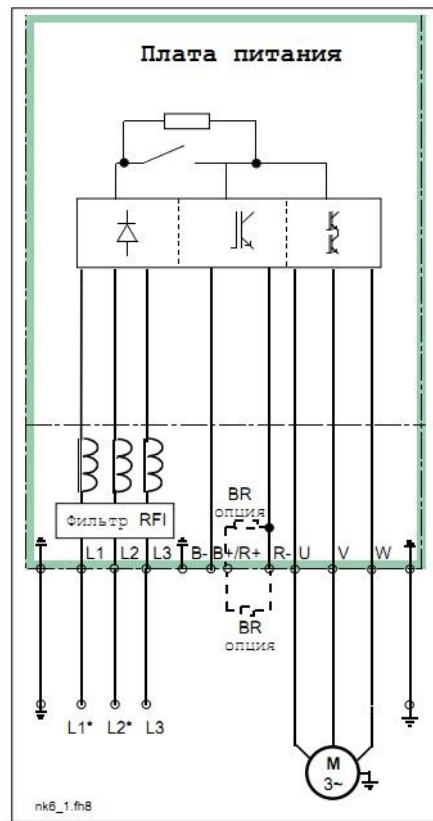
Рис 2.4.2 Блок схема Vacon NXS

Таблица 2.4.1 Призначення силових клем

Штатные входы/выходы		OPT-AA (типовая конфигурация)	
Клемма	Значение по умолчанию	Клемма	Значение по умолчанию
1	+10V Опорное напряжение	1	+24B Вспомогательное напряжение 24 В
2	AI1+ Аналоговый вход, 0–10 В (0/4–20 мА)	2	GND Земля ввода/вывода
3	AI1- Общая точка для AI	3	DIN1 Выбор фиксированной скорости 2
4	AI2+ Аналоговый вход, 0/4–20 мА (0–10 В)	4	DIN2 Сброс неисправности
5	AI2- Общая точка для AI	5	DIN3 Запрет ПИД
6	+24B Вспомогательное напряжение 24 В	6	DO1 Дискретный выход, Готов
7	GND Земля ввода/вывода	24	RO1 Релейный выход 1, РАБОТА
8	DIN1 Пуск вперед	25	RO1
9	DIN2 Пуск назад	26	RO1
10	DIN3 Выбор фиксированной скорости 1		
11	GND Земля ввода/вывода		
18	AO1+ Аналоговый выход, выходная частота		
19	AO1- Общая точка для АО		
A	RS485 Последовательная шина (Modbus RTU)		
B	RS485 Последовательная шина		
30	+24B Внешний источник питания		
21	RO1 Релейный выход 1, ОТКАЗ		
22	RO1		
23	RO1		

OPT-AI (типовая конфигурация)	
Клемма	Значение по умолчанию
12	+24B Вспомогательное напряжение 24 В
13	GND Земля ввода/вывода
14	DIN1 Выбор фиксированной скорости 2
15	DIN2 Сброс отказа
16	DIN3 Запрет ПИД
25	RO1 Релейный выход 1, РАБОТА
26	RO1
28	T11+ Вход термистора
29	T11- (гальванически изолированный)

Схема підключення силових кабелів зображена на мал.2.4.3



Мал.2.4.3 Схема підключення

Для вибору перетворювача частоти ми знаходимо струм, який споживає двигун при роботі від перетворювача частоти:

$$I_{нотр} = \frac{k \cdot n_n \cdot M_n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 1000 \cdot 28,65}{9,55 \cdot 0,85 \cdot 0,81 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 6,5(A)$$

де: k – коефіцієнт спотворення струму (приймається від 0,95 до 1,05).

Розраховуємо струм, який споживає двигун при лінійному розгоні:

$$I_{нотр} = \frac{k \cdot n_n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{ст} + M_{дин}) =$$

$$\frac{1 \cdot 1000}{9,55 \cdot 0,855 \cdot 0,81 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} (22,88 + 18) = 9,4(A)$$

Динамічний момент навантаження, що виникає при розгоні інерційної

навантаження: $M_{дин} = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t} = \frac{0,017}{9,55} \cdot \frac{1000}{0,1} = 18(H \cdot m)$

Для розрахунку повної споживаної двигуном потужності в номінальному сталому режимі використовуємо формулу:

$$S_{\text{номр}} = \frac{k \cdot P_n}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1 \cdot 3000}{0,855 \cdot 0,81} = 4347,83 \text{ В} \cdot \text{А} \approx 4,35 (\text{кВ} \cdot \text{А})$$

Приймаємо NXS 00312A2H для трифазного двигуна, напругою живлення 220/380 В, розрахований на 7,5 кВт.

3. Дослідження динаміки електроприводу

					ЕП.ПД.13.07.ИДЭ.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.					Вивчення динаміки електроприводу	Лит.	Лист	Листів
Провер.	Колб А.А.							
Реценз.								
Н. Контр.								
Зав. каф.								

3.1 Розрахунок регуляторів струму, швидкості та потокозчеплення

Структурна схема векторної системи управління швидкістю асинхронного двигуна і схема асинхронного двигуна в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора Ψ_2 приведена на мал. 3.1.1 та мал. 3.1.2.

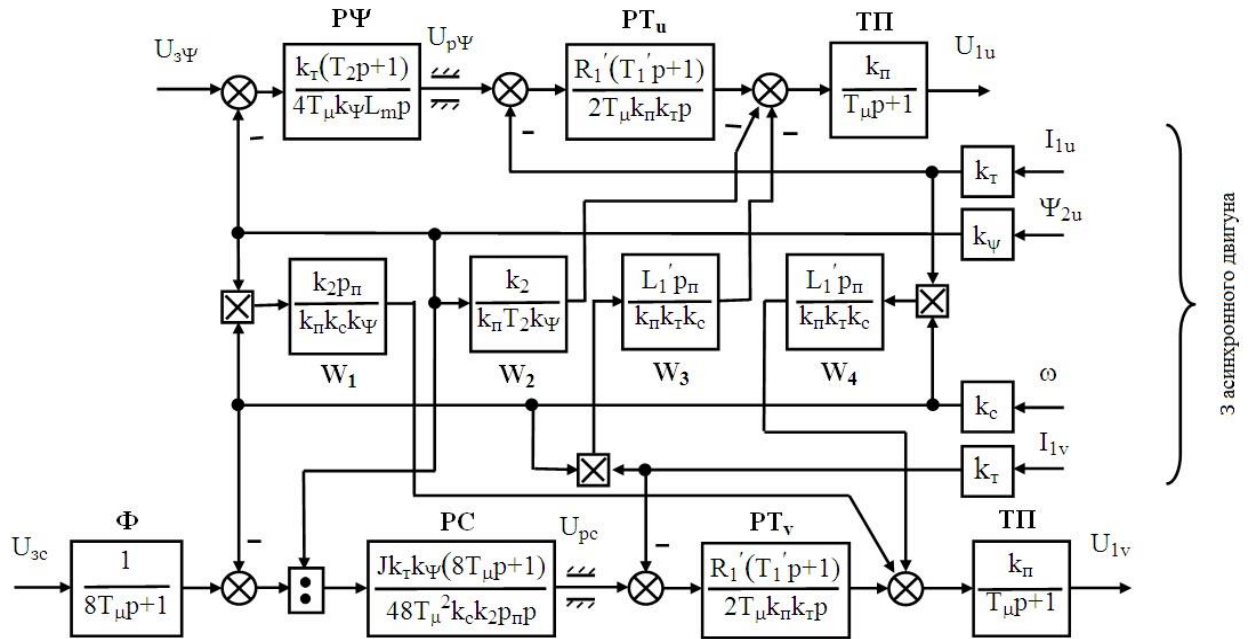


Рисунок. 3.1.1 Структурная схема векторной системы управления скоростью асинхронного двигателя

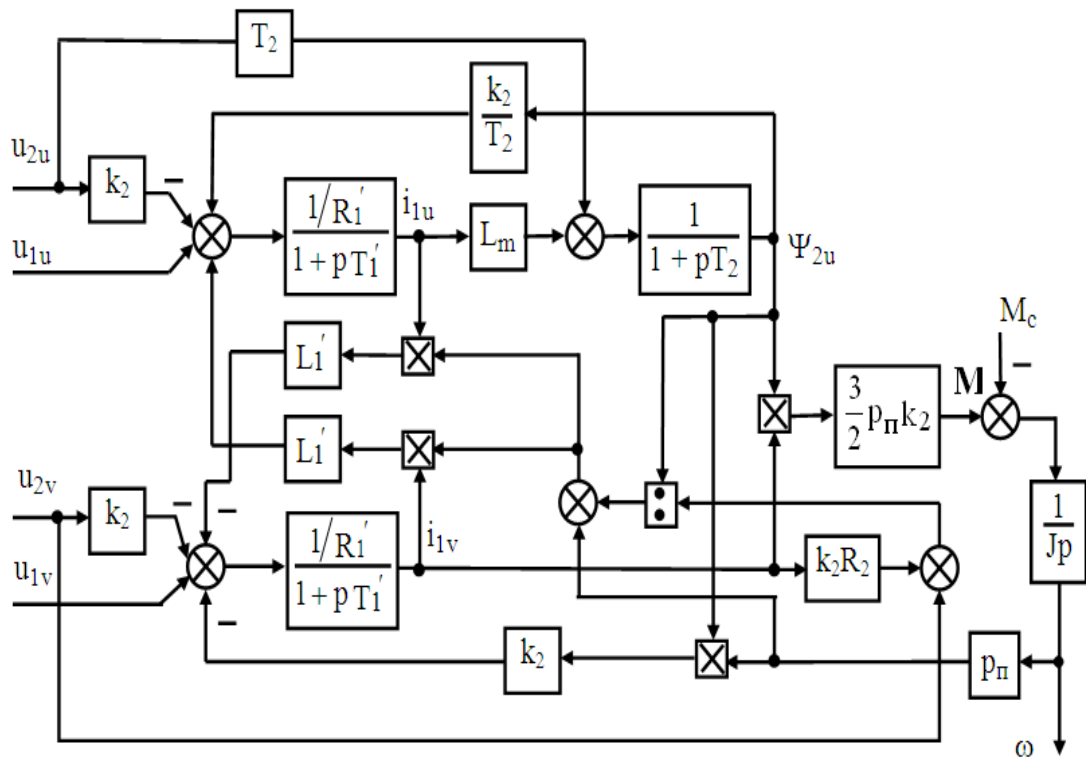
k_m – датчик току

k_ψ – датчик потоку зчеплення

k_c – датчик швидкості

$T\Pi$ – тиристорний перетворювач

$R\Gamma, PС$ – регулятор струму і швидкості



Мал. 3.1.2 Структурна схема АД в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора Ψ_2

Наведені на малюнках змінні розраховуються виходячи з параметрів асинхронного двигуна наступним чином:

$f = 50 \text{ Гц}$ – номінальна частота мережі живлення;

Кутова частота живильної мережі:

$$\omega_o = 2 \cdot \pi \cdot f = 314,16 \text{ (рад / с)}$$

Число пар полюсів електродвигуна:

$$p_{\Pi} = \frac{3000}{n_0} = 3$$

Номінальний фазний струм статора:

$$I_{\Phi H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{\Phi H} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = 6,5 \text{ (A)}$$

Номинальний момент електродвигуна:

$$M_H = \frac{9,55 \cdot P_H}{n_0 \cdot (1 - s_H)} = 28,65 \text{ (H} \cdot \text{м)}$$

Номинальне потокоцеплення електродвигуна:

$$\Psi_H = \frac{M_H}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\Phi H} \cdot p_{II} \cdot k_2} = 0,7 \text{ (Вб)}$$

Коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_T = \frac{U_{y \max}}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot I_{\Phi H}} = 1,53$$

Коефіцієнт передачі датчика швидкості:

$$k_C = \frac{U_{y \max}}{\omega_{\max}} = 0,063$$

Коефіцієнт передачі датчика потокоцеплення:

$$k_{\Psi} = \frac{U_{y \max}}{\Psi_H} = 12,87$$

Коефіцієнт передачі силового перетворювача:

$$k_{II} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\Phi H}}{U_{y \max}} = 31,1$$

Регулятор струму:

$$W_{PT}(p) = \frac{(T_s' p + 1) R'}{2T_{\mu} K_n K_m p} = \frac{T_s R}{2T_{\mu} K_n K_m} + \frac{R}{2T_{\mu} K_n K_m p}$$

Передавальна функція регулятора потокосцеплення:

$$W_{p\psi}(p) = \frac{(T_r p + 1)K_m}{4T_\mu K_\psi L_m p} = \frac{T_r K_m}{4T_\mu K_\psi L_m} + \frac{K_m}{4T_\mu K_\psi L_m p}$$

Передавальна функція регулятора швидкості:

$$W_{p\omega}(p) = \frac{(8T_\mu p + 1)K_m K_\psi \cdot J}{32T_\mu^2 \frac{3}{2} K_2 r_p K_{\partial c} p} = \frac{8T_\mu K_m K_\psi \cdot J}{32T_\mu^2 \frac{3}{2} K_2 r_p K_{\partial c}} + \frac{K_m K_\psi \cdot J}{\frac{3}{2} K_2 r_p K_{\partial c} 32T_\mu^2 p}$$

Передавальна функція тиристорного перетворювача:

$$ТП = \frac{k_n}{T_\mu p + 1} = 6220p + 31,1$$

Передавальна функція фільтра:

$$\Phi = \frac{1}{8T_\mu p + 1} = 25p + 1$$

Компенсація перехресних зв'язків:

Компенсуючі ОС введемо на вхід перетворювача (по аналогії з компенсації ЕДС в моделі ДПТ)

$$W_1 = \frac{\Delta U_{\text{вих}}(p)}{\Delta U_{\text{вх}}(p)} = \frac{K_2 \psi_{rx} w_0}{K_n w_m K_{\partial c} \psi_{2x} K_\psi} = \frac{K_2 Z_p}{K_n K_{\partial c} K_\psi}$$

$$W_2 = \frac{\Delta U_{\text{вих}}(p)}{\Delta U_{\text{вх}}(p)} = \frac{K_2 \psi_{rx}}{K_n T_2 K_\psi \psi_{rx}} = \frac{K_2}{K_n T_2 K_\psi}$$

$$W_3 = \frac{\Delta U_{\text{вих}}(p)}{\Delta U_{\text{вх}}(p)} = \frac{L'_s I_{sx} w_c}{K_n w_m K_{\partial c} I_{sx} K_m} = \frac{L'_s Z_p}{K_n K_{\partial c} K_m}$$

$$W_4 = \frac{\Delta U_{\text{вих}}(p)}{\Delta U_{\text{вх}}(p)} = \frac{L'_s I_{sy} w_0}{K_n w_m K_{\partial c} I_{sy} K_m} = \frac{L'_s Z_p}{K_n K_{\partial c} K_m}$$

Налаштування регуляторів струму і швидкості (в процентному співвідношенні) в Altivar відбувається автоматично, існують стандартні настройки регуляторів, які запрограмовані при виготовленні самого перетворювача, також є функція автонастройки, за допомогою цієї функції відбувається опитування або так звана подача пробних сигналів на двигун, які визначають схему заміщення двигуна і налаштовують регулятори.

Примітка: під час автопідстроювання по обмоткам двигуна протікає номінальний струм.

При перегляді графіків описують роботу двигуна, існує можливість підлаштувати коефіцієнти регуляторів вручну.

3.2 Розрахунок параметрів двигуна для моделювання в Simulink

Для моделювання перехідних процесів лінійних і нелінійних ланок пропонується моделювання в програмі Simulink пакета MATLAB R2009a.

Для практичного нагляду перехідних процесів за допомогою засобів програми Simulink розробив власну модель, яка присвячений питанням роботи електроприводу конвеєра.

Параметры:

- $T_{\mu} = 0,005 \text{ c}$ – постійна часу силового перетворювача.
- $U_{\text{Omax}} = 10 \text{ В}$ – максимальна напруга в системі управління;
- $L_{1\sigma} = 0,0043 \text{ (Гн)}$ – індуктивність розсіювання обмотки статора, Гн;
- $L_{2\sigma} = 0,0067 \text{ (Гн)}$ – індуктивність розсіювання обмотки ротора, Гн;
- $L_1 = 0,0127 \text{ (Гн)}$ – повна індуктивність обмотки статора, Гн;
- $L_2 = 0,0129 \text{ (Гн)}$ – повна індуктивність обмотки ротора, Гн;

$L_m = 0,086$ (Гн) – максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора, Гн;

Коефіцієнт електромагнітного зв'язку ротора:

$$k_2 = L_m / L_2 = 0,924$$

Еквівалентна індуктивність розсіювання двигуна:

$$L'_1 = L_{1\sigma} + k_2 \cdot L_{2\sigma} = 0,01$$
 (Гн)

Еквівалентний активний опір двигуна:

$$R'_1 = R_1 + k_2^2 \cdot R_2 = 8,67$$
 (Ом)

Еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки статора:

$$T'_1 = L'_1 / R'_1 = 0,0055$$
 (с)

Еквівалентна електромагнітна постійна часу обмотки ротора:

$$T_2 = L_2 / R_2 = 0,12$$
 (с)

3.3 Модель схеми для Simulink

Модель векторної системи управління АД в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора наведено на рис.3.3.1

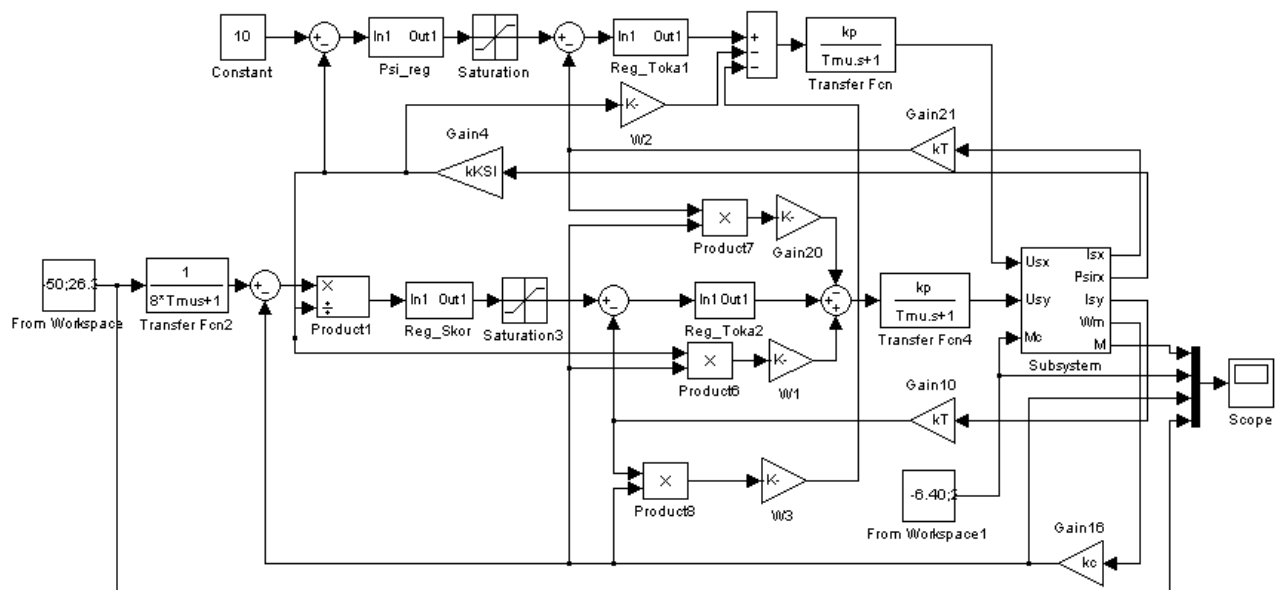
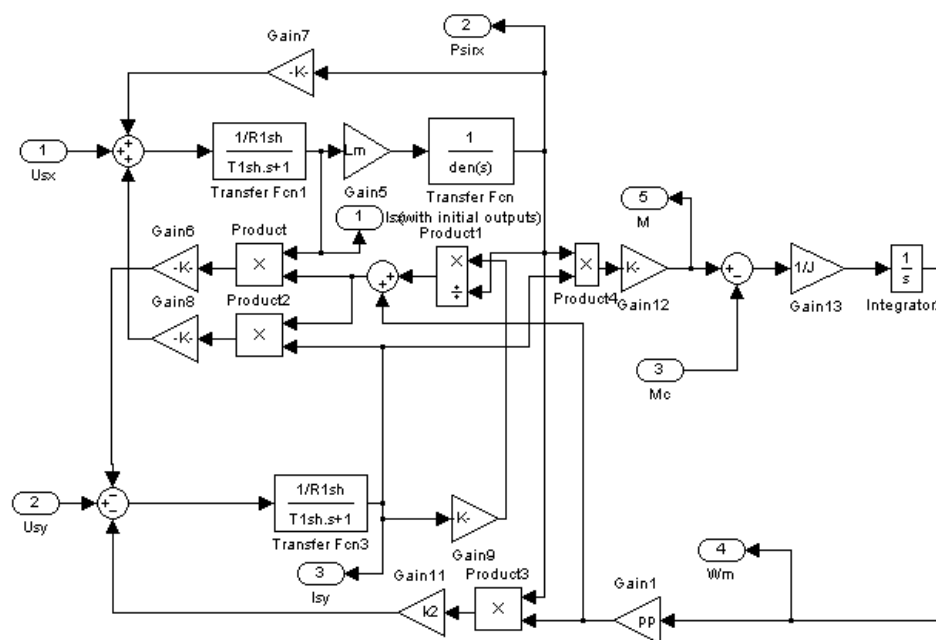


Рис.3.3.1 Модель векторної системи управління АД в системі відліку, пов'язаної з вектором потокозчеплення ротора Блок Subsystem містить модель АД, Transfer Fcn2 містить фільтр, Reg_Skor, Psi_reg і Reg_Toka1,2 - регулятори швидкості потокозчеплення і струму.

Блок Constant - постійне завдання потоку.

Блок From Workspace -завдання на швидкість і статичного моменту.

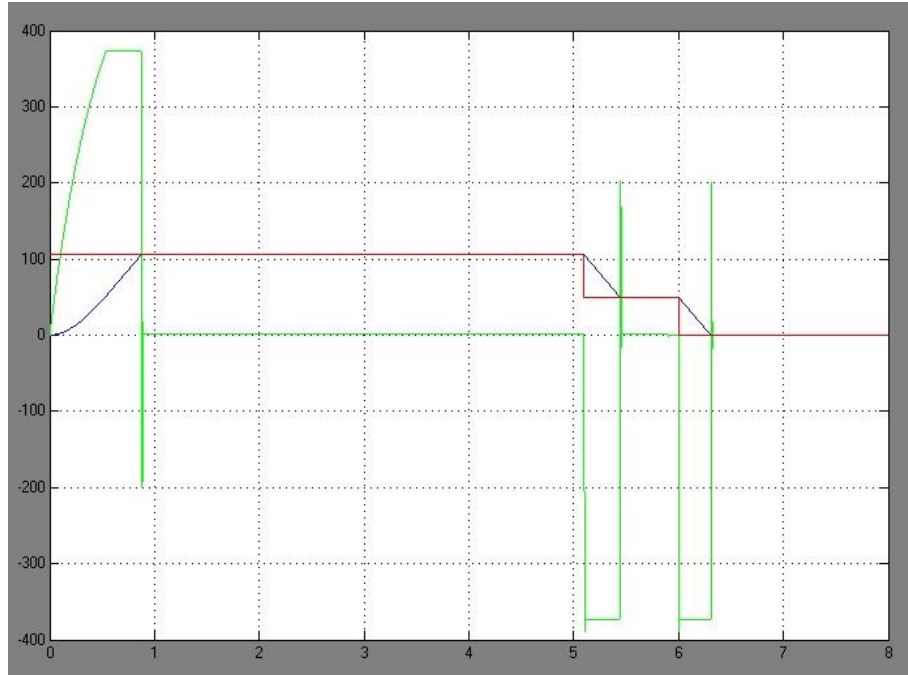
Модель асинхронного двигуна зображена на мал 3.3.2



Мал.3.3.2 Модель асинхронного двигуна

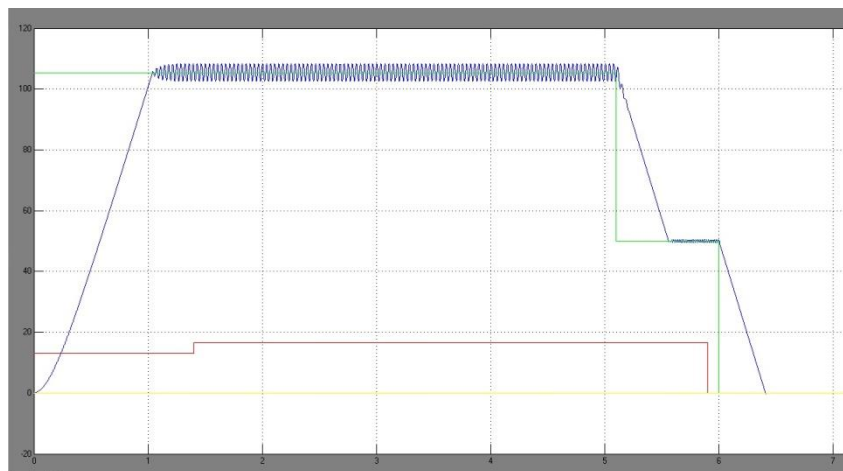
3.4 Результати моделювання

Графік АД що відображає повний цикл роботи конвеєра зображений на мал.3.4.1.



Мал.3.4.1 Графік векторної системи управління АД в системі відліку, що відображає повний цикл роботи конвеєра

Графік АД відображає розгін і гальмування конвеєра зображений на мал.3.4.2



Мал.3.4.2 Графік векторної системи управління АД при розгоні і гальмуванні конвеєра

Висновок:

На графіках видно, що модель справна і обраний двигун повністю відпрацьовує весь цикл роботи

4. Техніко-економічне обґрунтування

					ЕП.ПД.13.07.ТЭО.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.					Лит.	Лист	Листов
Провер.							
Реценз.							
Н. Контр.							
Зав. каф.							
					Технико- экономическое обоснование		

Вступ.

Ефективність використання конвеєрів в технологічному процесі будь-якого виробництва залежить від того, наскільки тип і параметри обраного конвеєра відповідають властивостям вантажу і умовам, в яких протікає технологічний процес.

До таких умов відносяться: темп транспортування, форма траси і напрям переміщення (горизонтальне, похиле, вертикальне, комбіноване); умови завантаження і розвантаження конвеєра; розміри вантажу, його форма, питома щільність, кусковатість, вологість, температура тощо.

Висока продуктивність, простота конструкції і порівняно невисока вартість, можливість виконання на конвеєрі різних технологічних операцій, невисока трудомісткість робіт, забезпечення безпеки праці, поліпшення його умов — все це зумовило широке застосування конвеєрів у всіх галузях народного господарства.

У зв'язку з цим в дипломному проекті пропонується впровадження до електроприводу перетворювача частоти фірми Schneider Electric замість застарілих тиристорних перетворювачів і асинхронний двигун меншої потужності. Цей перетворювач частоти потребує менших витрат на монтаж і має кращі енергоекономічні показники.

Для обґрунтування економічної доцільності запропонованого в дипломному проекті необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розрахунок капітальних витрат;
2. Розрахунок експлуатаційних витрат;

4.1. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення можуть включати:

Капітальні інвестиції з реалізації технічного рішення можуть включати витрати:

- на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;
- пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;
- на проведення монтажно-налагоджувальних робіт;

При визначенні величини проектних капіталовкладень (Кпр) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} (\sum_{i=1}^k) + Z_{тзс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр} , \quad (4.1)$$

де $K_{об} (\sum_{i=1}^k)$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Доцільно витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів представити у вигляді зведення капітальних витрат (табл. 4.1).

Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Перетворювач частоти Atv 71	1	35250	35250
Асинхронний двигун типу АИР 112 МВ6	1	4000	4000
ВСЬОГО			39250

Витрати на монтажні (Зм) роботи:

$$Зм = \sum (Чі \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{пр} = 2 \cdot 82 \cdot 12 \cdot 1,15 \cdot 1,05 = 2376, \text{грн.}$$

Витрати на налагоджувальні (Зн) роботи:

$$Зн = \sum (Чі \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр} = 2 \cdot 82 \cdot 5 \cdot 1,15 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1208, \text{грн.}$$

де $Чі$ – чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чел. ;

a_i - годинна тарифна ставка i -го розряду, грн;

a_4 - годинна тарифна ставка 4-го розряду дорівнює 85 грн / год;

t_i - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, час;

K_d - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{пр}$ - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення коштів ($З_{пр}$) можуть включати витрати на:

1. Демонтаж застарілого обладнання;
2. Проведення проектно-конструкторських робіт;
3. Підготовку персоналу;
4. Придбання готового програмного забезпечення.

$$K_{пр} = 39250 + 2376 + 1208 = 42834 \text{грн,}$$

4.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_m);
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_e);
- інші експлуатаційні витрати (C_{np}).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{np}, \text{ (грн.)}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіантів паралельно.

4.3. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат за видами основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і по даними підприємства про балансову вартість замінного обладнання для базового варіанту.

Таблиця 4.3

Розрахунок амортизаційних відрахувань

№	Найменування показників	Капітальні витрати, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
1.	Проектний варіант	42834	20	8566

4.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^n R_i * t_i * m_i * R_{\Sigma i} + \frac{S_i * \Pi_i}{T_i} * T_{\Phi}$$

де n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю в залежності від виду ремонту ч/ед.:

➤ капітального – 15,0.

m_i - число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число капітальних – 0,1);

R_{Σ} - сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання:

асинхронний двигун от 0,5 до 5 кВт – 1,3;

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π - кількість однотипних замінних елементів;

T - середній термін служби деталей даного типу, год.;

T_{ϕ} - число годин роботи апаратури в рік, год.

$$Зт.р.пр.=13,05 \cdot 85 \cdot 0,1 \cdot 1,3 + \frac{225 \cdot 3}{1600} \cdot 1895 = 885 \text{ (грн)}$$

$$Зт.р.баз.=15,02 \cdot 85 \cdot 0,1 \cdot 1,3 + \frac{432 \cdot 3}{1200} \cdot 1895 = 2213 \text{ (грн)}$$

4.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

$$C_e = \left(\frac{P_{вст} \cdot t_{вик}}{квтр} \right) \cdot Ц_e, \text{ де:}$$

$P_{вст}$ – встановлена потужність, кВт ;

$t_{вик}$ – час роботи обладнання, год./рік;

$квтр$ – коефіцієнт, що враховує електричні витрати;

$Ц_e$ – тариф на електроенергію , грн./кВт·год.

Встановлена потужність – 4 кВт.

Час використання 1800 год./рік.

Якщо на підприємстві використовується багатозонний облік електроенергії, то W_p розподіляється за зонами обліку і в кожній з них застосовується свій тариф на електроенергію.

Таким чином витрати на споживану електроенергію за рік становлять:

$$C_e = \left(\frac{4 \cdot 1800}{0.87} \right) \cdot 3.8 = 31450 \text{ грн.}$$

Висновок.

Капітальні витрати складають 42834 грн. Річні експлуатаційні витрати: амортизаційні відрахування 8566 грн, річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт 3100 грн, вартість спожитої електроенергії 31450 грн.

5. Охорона праці

					ЕП.ПД.13.07.ОТ.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Охорона праці	Лит.	Лист	Листов
Разраб.								
Провер.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Зав. каф.								

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Умови праці на робочих місцях у виробничих приміщеннях складаються під впливом великого числа факторів, різних за своєю природою, формами прояву, характером впливу на людину. В результаті порушення встановлених норм, правил, недообліку фізіологічних можливостей людини при експлуатації конвеєра можуть виникнути небезпечні зони і шкідливі умови, що негативно впливають на здоров'я працюючих. Тому аналіз умов праці зводиться до дослідження небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До небезпечних факторів при роботі конвеєра відносяться: рухомі частини самого конвеєра, що пересуваються вироби, оснащення та інструмент: розлітаються осколки від робочих частин оснащення при можливому їх руйнуванні; підвищена напруга в електричному ланцюзі обладнання; недостатня освітленість робочого місця; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці; підвищена запиленість повітря робочої зони; фізичні перевантаження при транспортуванні заготовок, деталей, оснастки; пожежонебезпека. Всі перераховані фактори при їх виникненні впливають на організм людини, знижуючи його працездатність.

5.2 Методи і засоби захисту від шуму

Санітарні норми допустимого шуму обумовлюють необхідність розробки технічних, архітектурно-планувальних та адміністративних заходів, спрямованих на створення відповідального гігієнічним вимогам шумового режиму, як в міській забудові, так і в будівлях різного призначення, дозволяють зберегти здоров'я та працездатність населення. Одним з ефективних засобів боротьби з виробничим шумом є використання демпфуючих металевих і неметалевих матеріалів. Однак неметали не використовуються для зниження шуму зіткнень з-за їх невисоких міцності, а металеві матеріали, що характеризуються високими властивостями міцності, забезпечують зниження шуму досить незначно, тому постало питання про

створення принципово нових матеріалів, які могли б мати високі характеристики і достатні демпфируючі властивості. Такими матеріалами є біметали, які дозволяють отримувати таке поєднання службових властивостей, яке не можна отримати в одному окремо взятому металі або сплаві, наприклад: високу міцність з корозійну стійкість, ударну в'язкість з зносостійкість, міцність з високою електро- і теплопровідністю, високу міцність і достатні демпфируючі властивості і т.д. До сих пір боязкі спроби використовувати біметали для зниження шуму і вібрації не забезпечили вирішення проблеми, тому досить актуальним є наукове дослідження, присвячене розробці біметалів з підвищеними властивостями, що демпфірують. Технічні засоби захисту від шуму: звукопоглинання, звукоізоляція, екранування, кошти демпфірування і глушники шуму. Засоби індивідуального захисту.

Заходи боротьби з шумом:

- заміна гучних процесів безшумними-менш гучними;
- поліпшення якості виготовлення і монтажу обладнання;
- укриття джерел шуму;
- висновок працюючих людей зі сфери шуму;
- застосування індивідуальних захисних засобів.

5.3. Методи захисту від вібрації та запилення на робочому місці

Методи захисту від запиленості

- системи туманоутворення високого тиску;
- вологе прибирання приміщень;
- індивідуальні засоби захисту (респіратори, маски, окуляри та ін.).

Методи щодо зниження вібрації

- на вібруючі поверхні наносять шар гуми, мастики або пластмаси, які розсіюють енергію вібрації;
- встановлюють гумові подушки;
- в якості засобів індивідуального захисту як методу зниження вібрації застосовують взуття на віброгасильних підшві (повстяної, гумової або

мікропористої) - від вібрації, яка передається людині через ноги, і спеціальні виброгасящие рукавички або рукавиці (з віброзахисними прокладками) - від вібрації, яка передається на руки.

5.4. Розрахунок освітлення робочого місця оператора конвеєра

Вихідні дані для розрахунку:

Геометричні розміри ділянки: довжина $A = 34$ м; ширина $B = 15$ м; висота приміщення $H = 8$ м.

Характеристика приміщення цеху: виробниче металообробне приміщення, яке містить в робочій зоні $0,5$ мг / м³ пилу і дим, з побілені стелі, побіленої стіною і не завішаними шторами вікна і бетонною підлогою.

Розрахунок штучного освітлення виконую методом коефіцієнта використання світлового потоку.

Необхідний світловий потік ламп в кожному світильнику визначимо за формулою:

$$\Phi = \frac{ESkz}{N\eta},$$

де E - нормована мінімальна освітленість, лк; S - освітлювана площа, м²; k - коефіцієнта запасу; z - коефіцієнт мінімальної освітленості; N - кількість світильників у приміщенні, шт.; η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Передбачаю використання як джерела світла газорозрядних ламп ДРІ.

Приймаємо: $E=200$ лк.

Освітлювана площа ділянки:

$$S = 34 \times 15 = 510 \text{ (м}^2\text{)}$$

Коефіцієнт запасу для приміщення, який утримує в робочій зоні $0,5$ мг / м³ пилу і диму, при використанні газорозрядних ламп становить $k = 1,5$.

Коефіцієнт мінімальної освітленості, при оптимальному співвідношенні відстані між світильниками до розрахованою висоті підвісу і використанні газорозрядними ламп типу ДРІ становить $z = 1,15$.

Для визначення числа світильників в приміщенні визначимо розрахункову висоту підвісу: $h = H - h_{ce} - h_{pn}$,

де $h_{ce} = 1,5$ м - висота підвісу світильників від перекриття; $h_{pn} = 0,8$ м - висота робочої поверхні над стелею, м.

$$h = 8 - 1,5 - 0,8 = 5,7 \text{ (м)};$$

- відстань між світильниками:

$$L_m = \lambda h = 1,4 \cdot 5,7 = 8 \text{ (м)}$$

де $\lambda = 1,4$ - найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу, для світильників типу ДРІ з глибокої типової кривої світла.

- число світильників в приміщенні:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{510}{8^2} \approx 8$$

Для визначення коефіцієнта використання η знаходять індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{34 \cdot 15}{5,7 \cdot (34 + 15)} = 1,8$$

де А і В - довжина і ширина приміщення, м; h - розрахункова висота підвісу, м.

Виходячи з наведеної характеристики поверхні приміщення, котра відображає, визначаємо коефіцієнт відбиття поверхні: стелі $\rho_n = 70\%$; стін $\rho_c = 50\%$; полу $\rho_e = 10\%$.

Для зазначених раніше світильників, з урахуванням отриманих значень ρ і індексу приміщення визначимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,72$.

Тоді світловий потік ламп в кожному світильнику складе:

$$\Phi = \frac{ESkz}{N\eta} = \frac{200 \cdot 510 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{8 \cdot 0,72} = 30546,8 \text{ (лм)}$$

Виходячи з отриманого світлового потоку вибираємо дугову ртутну лампу з виправленої передачею кольору типу ДРІ400 з

наступними технічними даними: потужність лампи - 400 Вт;

світловий потік після 1000 годин роботи - 32000 лм;

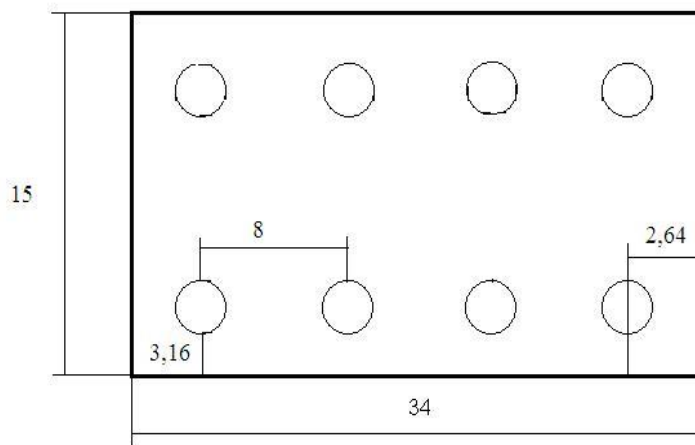
термін служби - 4000 годин.

Загальна потужність, спожита світильниками складе:

$$P = 0,4 \cdot 8 = 3,2 \text{ (кВт)}$$

Відхилення фактичної освітленості від заданої складе:

$$\Delta = \frac{32000 - 30546,8}{30546,8} \cdot 100\% = 4,75\%$$



Мал. 4.2.2.1 Розташування світильників в приміщенні.

5.5 Протипожежна профілактика

Протипожежна профілактика - це комплекс заходів, спрямованих на попередження пожеж та створення умов для їх успішного гасіння. Проблема попередження пожеж та боротьба з ними знаходиться в тісному зв'язку з проблемами охорони праці. Профілактика та попередження пожеж ведеться на науковій основі і є складовою частиною технологічних процесів виробництва, а також планування і забудови території підприємства. На підприємстві розроблені інструкції про заходи пожежної безпеки, в яких вказані для окремих ділянок виробництва заходи щодо протипожежного режиму, граничні показання контрольно-вимірювальних приладів, порядок і норми зберігання вибухо- і пожежонебезпечних речовин. По кожній інструкції призначена відповідальна особа їх числа інженерно-технічних працівників. Для гасіння пожеж на підприємстві існує пожежна охорона, всі виробничі цехи і приміщення обладнані пожежною сигналізацією. Основними первичними засобами пожеготушення являються:

- вогнегасники вуглекислотні ОУ-2, ОУ-5, кожного по 2 шт, розміщені на стіні на відстані 20 м від конвеєра;
- вогнегасники порошкові ОПВ-6, ОПС-10; кожного по 1 шт, розміщені на стіні на відстані 15 м від конвеєра;
- ящики з піском;
- пожежні щити з інвентарем;
- пожежні водопроводи;
- протипожежна сигналізація.

З метою попередження пожеж та створення безпечних умов праці на підприємстві проводяться такі заходи:

- проводиться протипожежний інструктаж працівників;
- встановлюються достатні розриви між будівлями, спорудами, складами, забороняється зберігання горючих матеріалів у розривах між будівлями;
- забезпечуються умови для організації евакуації з приміщень у разі виникнення пожежі;

- впроваджуються у виробництво системи автоматичного контролю і сигналізації за виникненням небезпечних факторів.

5.6 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Причинами аварій і катастроф можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін. Обладнання, а також правил техніки безпеки. Такі аварії і катастрофи найчастіше надають згубний вплив не тільки на людей, але і на природне середовище, викликаючи загазованість атмосфери, розливи на суші і воді нафти, нафтопродуктів, агресивних рідин, сильнодіючих отруйних речовин (СДЯВ), викиди радіонуклідів. Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій повинна виконуватися в максимально короткі терміни. У цій діяльності розрізняють три основних етапи.

На першому етапі реалізуються заходи щодо екстреної захисту робітників. Через систему оповіщення робітників інформують про виникнення надзвичайних ситуацій і про необхідність використання засобів індивідуального захисту. Проводяться евакуація людей з небезпечних зон і надання їм першої медичної допомоги. Приймаються невідкладні заходи для локалізації аварій, а в разі необхідності вводиться в дію комплекс протипожежних заходів. Можливі також тимчасова зупинка технологічних процесів на підприємствах або їх зміна.

На цьому етапі проводиться підготовка до виконання рятувальних та інших невідкладних робіт. Для цього завчасно створюються спеціально навчені рятувальні формування.

На другому етапі проводяться рятувальні та інші невідкладні роботи, а також продовжується виконання завдань щодо захисту робітників і зменшення наслідків надзвичайних ситуацій, початих на першому етапі. Тривають

локалізація і гасіння пожеж, а також порятунок людей з палаючих будівель і споруд.

На заключному (третьому) етапі починаються роботи по відновленню функціонування об'єктів підприємства, які виконуються будівельними, монтажними та іншими спеціальними організаціями. Кількість евакуаційних виходів повинно бути не менше двох відповідно будівельним нормам і правилам, так як в металообробному цеху працює, як правило, більше 50 осіб одночасно. Евакуаційні виходи повинні розташовуватися розосереджено.

Ширина шляхів евакуації в світлі повинна бути не менше 1 м, дверей - не менше 0.8 м. Висота проходу на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м.

Ширину сходових маршів досить прийняти для проходу однієї людини 0,6-0,7 м. Висоту проходу приймаємо не менш 1900 ... 2000 мм.

Згідно СНІП 23-05-95, до параметрів аварійного освітлення слід віднести мінімальну освітленість -1 лк, максимальний час перемикання -1 с, розрахункова тривалість роботи джерела освітлення -3 ч.

Устя отворів для викиду повітря, що видаляється аварійною вентиляцією, слід розташовувати на висоті не менше 3-х метрів від рівня землі, не ближче 20м або на 6м вище приймальних пристроїв для припливу повітря в приміщення.

Висновок

В даному дипломному проекті було зроблено аналіз і розрахунок самого конвеєра і вибір перетворювача частоти, який замінив давно застарілий тиристорний преобразователь. А також економічний розрахунок окупності і перспективи установки перетворювача частоти.

У технологічній частині представлений загальний опис конвеєра і його параметри.

У спеціальному розділі були зроблені розрахунки і вибір електроприводу для конвеєра, а також було вироблено моделювання в пакеті Matlab Simulink. Зроблено аналіз системи регулювання і вибір для даного електроприводу систему підлеглого регулювання яка відпрацьовує потрібний цикл роботи конвеєра.

Передбачені сприятливі та безпечні умови для роботи обслуговуючого персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.:Энергоиздат,1982. – 392 с., ил.
2. Выбор мощности электропривода механизмов прокатных станов. / А.Б. Зеленов – Учеб. пособие, – К.:УМК ВО, 1990, - 200с
3. Казачковский Н.Н. Комплектный электропривод. – Днепропетровск: НГУ, 2003
4. Казачковский Н.Н. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине “Автоматизированный электропривод промышленных установок в машиностроении и металлургии”– Днепропетровск: ДГИ, 1992.
5. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Королев А.А. – М.: Металлургия, 1969
6. Летучие ножницы./ Королев А.Н. – М.:Машгиз, 1950.
7. Методические указания к написанию экономической части дипломного проекта; составители: Шереметьева И. В., Немцов О.Г.; Днепропетровск; 1997 г.
8. Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда и окружающей среды» в дипломных проектах; под ред.: Бойко В. А.; Голинько В. И.; Фрундин В. Е.
9. Охрана труда в электроустановках, под ред. Б. А. Князевского; Москва; 1972 г.