

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Модернізація електропривода конвесрної лінії машини для
завантаження суден»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Зудов В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент


Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Зудову Володимиру Сергійовичу

- Тема роботи «Модернізація електропривода конвеєрної лінії машини для завантаження суден»
керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від від 03. 03. 2025 року
№ 306/1 – фа .
- Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025 р.
- Вихідні дані до проекту (роботи) Технічна документація на електропривод конвеєра машини для завантаження суден. Продуктивність 300 т/год., швидкість стрічки конвеєра 1,25 м/с, кут нахилу – до 18 градусів, насипна щільність вантажу -1,2 т/м³. Розробити частотно-регульований електропривод для надійної роботи конвеєрної лінії у всьому діапазоні регулювання швидкості. Забезпечити необхідні характеристики перехідних процесів та мінімальний час регулювання.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологічного процесу завантаження суден. Огляд літературних джерел. Вимоги до електропривода конвеєра машини для завантаження суден. Постановка завдань на кваліфікаційну роботу. Обґрунтування застосування та вибір частотно-регульованого електроприводу. Розрахунок стрічкового конвеєра машини для завантаження суден. Розрахунок перетворювача частоти, вихначення способу керування ЕП. Розроблення функціональної схеми електропривода. Моделювання електропривода конвеєра. Дослідження характеристик модернізованого електропривода.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

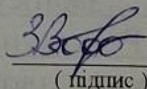
- 1) Машина для завантаження суден. Вид загальний;
- 2) Телескопічний конвеєр як об'єкт модернізації;
- 3) Характеристики системи «Перетворювач-двигун»;
- 4) Дослідження системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням в Matlab;
- 5) Дослідження системи ПЧ-АД конвеєра з задатчиком інтенсивності;
- 6) Функціональна схема електроприводу з обмеженням струму по каналу управління напругою інвертора;
- 7) Дослідження системи ПЧ-АД конвеєра з вантажем та без вантажу з задатчиком інтенсивності;
- 8) Дослідження системи ПЧ-АД конвеєра з обмежувачем струму по каналу керування напруги інвертора.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз технологічного процесу завантаження суден. Вимоги до електропривода суднозавантажувальної машини. Постанова завдань.	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	Обґрунтування застосування та вибір типу електроприводу.	08.05.25		30%	Пл. 2
3	Розрахунок приводу стрічкового конвеєра суднозавантажувальної машини.	15.05.25		50%	Пл. 3
4	Розрахунок перетворювача частоти, визначення способу керування ЕП.	22.05.25	II	60%	Пл. 4
5	Розроблення функціональної схеми електропривода.	30.05.25		80 %	Пл. 5
6	Моделювання та дослідження характеристик електропривода конвеєра.	03.06.25		90%	Пл. 6,7
7	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.25	III	100%	Пл. 8

Студент


(підпис)

Зудов В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Єрмілова Н.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи "Модернізація електропривода конвеєрної лінії машини для завантаження суден "

Робота містить 66 сторінок, 27 рисунків, 7 таблиць, 15 використаних джерел літератури.

Ключові слова: конвеєр, асинхронний двигун, регулювання швидкості.

Метою даної кваліфікаційної роботи є організація, закріплення та застосуванні набутих знань з професійних дисциплін під час її виконання, в результаті чого проведена модернізація електропривода машини для завантаження суден, а саме електропривода стрічкового конвеєра, як однієї з найенергоємніших ланок цієї машини. Це дозволить не тільки замінити морально застаріле і фізично зношене обладнання, а й вирішити ряд завдань техніко-економічного характеру, а саме: знизити експлуатаційні витрати з обслуговування системи, забезпечити необхідний діапазон регулювання швидкості конвеєра та підвищити гнучкість управління.

ABSTRACT

Qualification work "Modernization of electric drive of the conveyor line of machine for loading ships"

The work contains 66 pages, 27 figures, 7 tables, 15 sources of literature used.

Keywords: conveyor, asynchronous engine, speed adjustment.

The purpose of this qualification work is to organize, consolidate and use the acquired knowledge in professional disciplines during its execution, resulting in the modernization of the electric drive of the machine for loading of ships, namely the electric drive of the tape conveyor, as one of the most energy -intensive units of this machine. This will not only replace morally outdated and physically worn equipment, but also solve a number of technical and economic problems, namely: to reduce the operating costs of system maintenance, to provide the required range of conveyor speed and increase the flexibility of control.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Розділ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Характеристика Одеського портового терміналу	7
1.2 Аналіз технологічного процесу пункту перевантаження на причалі	7
1.3 Огляд типів машин для завантаження суден	11
1.4 Суднозавантажувальна машина як об'єкт модернізації	19
1.5 Вимоги до електропривода суднозавантажувальної машини та постановка задач на кваліфікаційну роботу	22
Розділ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
2.1 Обґрунтування застосування типу електроприводу конвеєрної лінії	24
2.2 Розрахунок телескопічного стрічкового конвеєра СМ	27
2.3 Визначення параметрів схеми заміщення двигуна	40
2.4 Побудова механічних характеристик двигуна	42
2.5 Механічна система електроприводу та її параметри	44
2.6 Вибір перетворювача частоти	45
2.7 Розрахунок характеристик системи ПЧ-АД	46
Розділ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК	
3.1 Функціональна схема електроприводу конвеєра	51
3.2 Моделювання електроприводу конвеєра	51
3.3 Дослідження струму і моменту двигуна в електроприводі зі скалярним керуванням	55
3.4 Обмеження струму двигуна при великих перевантаженнях	56
3.5 Оптимізація контуру для обмеження струму двигуна	57
3.6 Реалізація обмеження струму в приводі зі скалярним керуванням	58
3.7 Дослідження роботи модернізованого електроприводу конвеєра	59
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65
ДОДАТКИ	67

ВСТУП

Актуальність теми. В наш час дуже важливим в Україні є зростання темпів економіки, а для цього необхідно впроваджувати нові технології для усіх виробничих процесів, в тому числі і для машин безперервного транспорту, які мають високу продуктивність, значну протяжність транспортування, що дає змогу витіснити машини циклічної дії з традиційних областей та збільшувати вантажообіг завантажувального портового терміналу з порівняно невеликими витратами на перевантаження однієї тонни вантажу, а отже дозволяє зменшити термін окупності термінального устаткування, в порівнянні з машинами циклічної дії.

Відомо, що електроприводи портових завантажувальних терміналів, що використовуються в даний час, зношені майже на 75-80%, а використання старих типів двигунів (здебільшого АД з фазним ротором і реостатним регулюванням,) є низькоефективним. Тому використання сучасних електроприводів для здійснення вантажних робіт в портових терміналах є досить актуальною темою.

Метою роботи є модернізація електропривода машини для завантаження суден, а саме електропривода стрічкового конвеєра, як однієї з найенергоємніших ланок цієї машини. Це призведе до економії електроенергії, підвищення надійності системи, виключення простоїв в розвантажувально-навантажувальних роботах.

Об'єктом дослідження є технологічний процес перевантаження продукції на Одеському терміналі за допомогою суднозавантажувальної машини. Предмет дослідження - електропривод конвеєрної лінії суднозавантажувальної машини.

Основними завданнями роботи є розрахунок потужності та вибір сучасного електродвигуна та перетворювача частоти. Необхідно спроектувати електропривод, який би забезпечував потрібний діапазон регулювання швидкості при заданій кратності пускового і максимального моменту.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика Одеського портового терміналу

Одеський порт є одним з найбільших терміналів Чорноморсько-Азовського басейну. Він здійснює перевалку багатьох видів різних вантажів - контейнери всіх типів та розмірів, нафта та різні типи нафтопродуктів, рослинні та технічні масла, зерно, цукор-сирець, метали та багато іншого [1].

Інфраструктура порту складається з восьми перевантажувальних комплексів з переробки сухих вантажів, одного пасажирського комплексу, нафтового і двох контейнерних терміналів. Також є комплекси з перевалки рослинних і технічних масел, спеціалізовані причали для прийому суден, перевалки зернових вантажів. На території Карантинного молу діє вільна (спеціальна) економічна зона «Порто-Франко».

Порт обладнаний розвиненою транспортною інфраструктурою, яка дає змогу відправляти усі потрібні вантажі до терміналів залізничним транспортом, автомобілями, а також річковим та морським транспортом.

1.2 Аналіз технологічного процесу пункту перевантаження на причалі

Розглянемо процеси транспортування та перевантаження мінеральних добрив, які відносяться до найбільш складних навалочних вантажів, що змінюють свої властивості під впливом вологи, схильні до пилення при перевантаженні і тому вимагають критого способу зберігання, транспортування і перевантаження [2]. Для їх транспортування використовують спеціальні вагони-хопери.

Конструкція вагона дозволяє здійснювати завантажувальні роботи механізованим способом через чотири завантажувальних люки, що забезпечують рівномірне завантаження кузова з однієї установки. У нижній частині кузова по обидва боки вагона розташовані по два розвантажувальних люки. Механізм розвантаження з пневмоприводом забезпечує як парне

відкривання і закривання кришок люків, так і одночасне – всіх чотирьох. Спеціальний блокуючий пристрій запобігає мимовільному відкриттю кришок розвантажувальних люків як в шляху прямування, так і на стоянці.

Зберігання мінеральних добрив здійснюється в герметичному критому складі, а перевантаження – по герметизованим конвеєрним трасам з використанням систем пиловловлювання і локалізації розповсюдження пилу. Спеціальний блокуючий пристрій запобігає мимовільному відкриттю кришок розвантажувальних люків як на шляху прямування, так і на стоянці.

Пилять навалочні вантажі при переході зі стану спокою в стан пересипання, змінюючи свою пористість. При цьому збільшення парового простору визначає підсос повітря, а зменшення при укладанні призводить до виділення повітря з одночасним захопленням пилоподібних фракцій. З огляду на цю особливість, необхідно використовувати системи локалізації замкнутого типу.

Система знепилювання вузла перекидання вантажу з одного транспортера на інший і пилоприбивна насадка для завантаження суден з рециркуляцією повітря при підсосі і викиді в струмені перевантажувального матеріалу наведена на рисунку 1.1.

Пилоприбивні насадки для завантаження суден системи конусів-воронок гасять кінетичну енергію подаючого потоку, а витіснене повітря повертається до місця підсосу в матеріал на початку падіння.

Для розвантаження вагонів з мінеральними добривами використовують спеціалізовану вагонорозвантажувальну установку, яка не тільки запобігає потраплянню вологи на вантаж і поширення пилу на перевантажувальному терміналі, але й підвищує продуктивність обробки залізничних вагонів. Перевантажувальний комплекс (далі ПК) призначений для вивантаження мінеральних добрив із залізничних вагонів, короткочасного зберігання вантажу і навантаження його на судна.

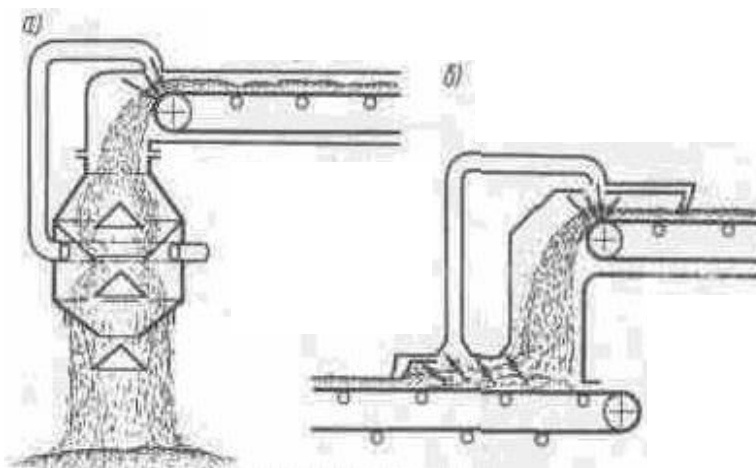


Рисунок 1.1 – Системи знепилювання вузлів скидання пилоподібних навалювальних вантажів

а – при завантаженні трюму; б – при скиданні з одного транспортера на інший

В якості засобів транспортування та відвантаження мінеральних добрив прийняті стрічкові конвеєри [2]. Конвеєри обладнані цілим рядом пристроїв і пристосувань, що забезпечують надійну і безпечну роботу ПК. Сюди відносяться прилади контролю сходу стрічки, датчики завалів в вузлах перекидання з конвеєра на конвеєр і т.ін. Зважування вантажу проводиться за допомогою конвеєрних ваг.

Технологією передбачено роботу конвеєрних ліній за варіантами:

- вагон - склад;
- вагон - судно;
- склад - судно.

Вагони в маршрутах залишаються на станції, звідки локомотив по 15 одиниць подає їх в порт і встановлює на технологічні залізничні колії, що розташовані поруч з вузлом розвантаження вагонів (далі ВРВ). На території порту подача вагонів до ВРВ здійснюється локомотивом. ВРВ призначений для вивантаження вагонів мінераловозів. Вагони подаються з торцевого боку будівлі вузла розвантаження по одній залізничній лінії. ВРВ розрахований на

одночасне розвантаження до 15 вагонів. Порожні вагони виводяться локомотивом з ВРВ і встановлюються на технологічні залізничні колії, що розташовані поруч з будівлею вузла розвантаження.

Під залізничною лінією ВРВ розташовані приймальні бункери. На 1-му поверсі будівлі під бункерами встановлені стрічкові живильники, призначені для рівномірної подачі вантажу з бункерів на магістральні конвеєри, що транспортують мінеральні добрива або в вузол навантаження судів (за прямим варіантом) або на склад.

Вузол завантаження суден включає в себе дві вантажні машини і берегову вантажну галерею, в якій розташовані стрічкові конвеєри, котрі подають вантаж на машини для завантаження судна.

Вантажна машина являє собою металоконструкцію порталного типу, що пересувається по рейках уздовж причалу. До порталу шарнірно прикріплена підйомна галерея з встановленим в ній телескопічним стрічковим конвеєром і спеціальною телескопічною трубою, через яку відбувається скидання вантажу в трюм судна. Керування роботою машини відбувається зі спеціальної кабіни керування.

У береговій вантажній галереї мінеральні добрива з конвеєрів за допомогою двох самохідних скидаючих візків, що рухаються по спеціальним рейковим шляхам, передаються на вантажні машини, на одну з яких вантаж з візків потрапляє через відвальний конвеєр. Передача вантажу з конвеєрів на вантажні машини здійснюється через наскрізну безперервну щілину, що передбачено конструкцією галереї і має по всій довжині укриття з гумової тканини.

Для короткочасного зберігання мінеральних добрив у порту передбачені 3 склади, виконані у вигляді будівель купольного типу. Діаметр кожного складу 55 м, висота – 20 м, місткість кожного – 20000 тонн. Завантаження здійснюється з верхньої позначки посередині складу стрічковими конвеєрами. У нижній частині кожного складу розташовані по одному стрічкового конвеєру, з встановленими над ними бункерами. За допомогою цього

обладнання здійснюється самовивантаження приблизно 70% вантажу. Частина, що залишилася (приблизно 30%), перевантажується за допомогою ковшових навантажувачів.

Розроблена технологія перевантажувальних робіт забезпечує експлуатацію комплексу без негативного впливу на навколишнє середовище.

1.3 Огляд типів машин для завантаження суден

Суднозавантажувальні машини (СМ) призначені для навантаження навалочних вантажів в суднах різної вантажопідйомності для річкових і морських портів [3].

Машини поділяються на малі (стаціонарні та пересувні) і середні. Малі суднозавантажувальні машини призначені для річкових портів, а також можуть використовуватися в морських портах для рейдового навантаження.

Середня суднозавантажувальна машина призначена для рейдового навантаження суден, а також навантаження суден вантажопідйомністю до 60000 тонн.

Суднозавантажувальна машина мала стаціонарна призначена для завантаження суден вантажопідйомністю до 5500 тонн (в окремих випадках до 13 000 тонн) сипучими вантажами, в т.ч. небезпечними і пиловими.

Розглянемо машину суднозавантажувальну малу стаціонарну (СПМ–МС) з телескопічним конвеєром (конвеєром з телескопічною стрілою). Така суднозавантажувальна машина стаціонарно встановлюється на причалі. Сипучий вантаж перевантажується на неї з бункера-живильника, або з подаючого конвеєра (рис. 1.2).

У міру протягування судна уздовж причалу оператор суднозавантажувальної машини за допомогою зміни довжини виліту телескопічної стріли забезпечує рівномірне пошарове завантаження сипучого вантажу в трюм судна.

Характеристики машини СПМ–МС наведені в табл. 1.1.

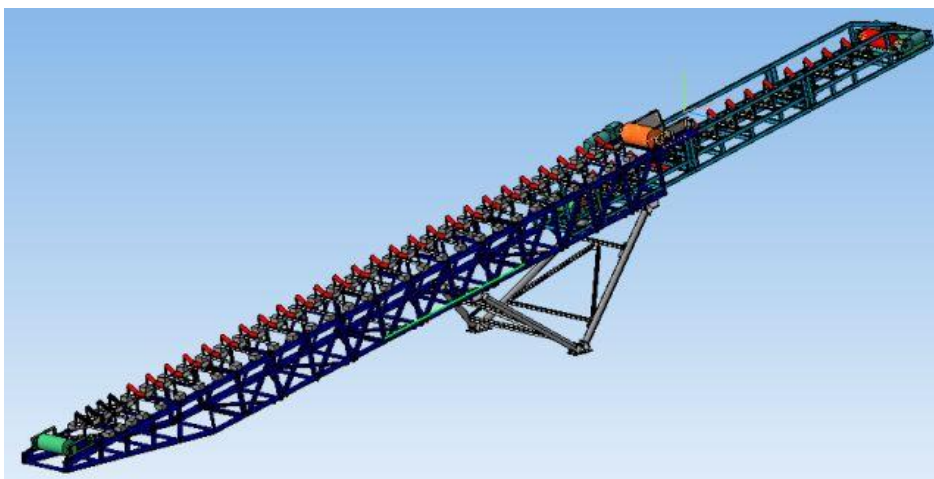


Рисунок 1.2 – Конвеєр машини суднозавантажувальної малої стаціонарної (СПМ–МС)

Можливе виконання машини з оцинкованими металоконструкціями (такий тип дає подорожчання на 20% по металоконструкціях).

У разі придбання малої стаціонарної суднозавантажувальної машини в комплекті з бункером живильником або подаючим конвеєром (конвеєрною інфраструктурою), автоматизована система керування розробляється для всього комплексу. Оператор здійснює керування або зі стаціонарного поста, або з пульта керування (проводового або радіо).

Якщо довжина стаціонарної частини машини суднозавантажувальної не перевищує 30 метрів, то СПМ–МС може бути виконана як частково мобільною (semimobile), тобто на полозах; або повністю мобільною на колесах. Таке виконання дозволяє транспортувати суднозавантажувальну машину за допомогою тягача (трактор, навантажувач і т.ін.).

Це найбільш бюджетна і проста конструкція, при цьому вона успішно виконує свої завдання. У найпростішому випадку навіть не вимагає облаштування конвеєрної інфраструктури.

Машина суднозавантажувальна мала пересувна (СПМ–МП) призначена для навантаження навалочних вантажів в судна вантажопідйомністю до 13000 тонн. Це недороге рішення для роботи річкових портів, а також для

навантаження суден «річка-море» або для рейдового навантаження. Вона не потребує постійного протягування судна уздовж причалу.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики суднозавантажувальної машини типу СПМ–МС

Параметр	Значення	Оптимальні характеристики
Продуктивність	від 200 до 2000 т/год	1000 т/год
Ширина конвеєрної стрічки	від 650 до 1400 мм	1000 мм
Кут нахилу	до 18 градусів	10-15 градусів
Довжина стаціонарної частини	8-40 м	18 м
Виліт стріли	5-15 м	10 м
Швидкість пересування стріли	0,1-0,8 м/с	0,2 м/с
Мобільність	стаціонарна/частково мобільна/мобільна	
Вага	5-15 т	10 т
Швидкість вітру (робочі операції)	до 15 м/с	
Температурний діапазон	від -45 до +45 °С	від -10 до +40 °С
Кількість робочих годин за добу, мах	20	16
Середня тривалість одного включення	постійна робота на період повного навантаження судна	
Виконання	річне/морське/оцинковане	річне

Ця суднозавантажувальна машина працює за принципом стакера (поворотного телескопічного конвеєра). Вона спирається на поворотну опору, а приводні колеса, що розташовані практично перпендикулярно вісі конвеєра (по дотичній до дуги траєкторії руху), дозволяють суднозавантажувальній машині виробляти радіальні переміщення. Здійснюючи радіальні переміщення і змінюючи виліт телескопічної стріли, оператор виробляє рівномірне пошарове навантаження в трюми судна.

Сипучий (навалювальний) вантаж перевантажується на суднозавантажувальну машину з бункера-живильника, або з подаючого конвеєра.

У разі наявності даної поворотної суднозавантажувальної машини в комплекті з бункером живильником або подаючим конвеєром (конвеєрною інфраструктурою), автоматизована система керування розробляється для всього комплексу разом. Оператор здійснює керування або зі стаціонарного поста, або з пульта керування (проводового або радіо). Тут також можливе виконання з оцинкованими металоконструкціями.

Можлива модифікація малої пересувної суднозавантажувальної машини з транспортним становищем коліс. У такій модифікації, колеса можуть розгортатися вздовж вісі конвеєра і їх приводу відключаються, що дозволяє транспортувати суднозавантажувальну машину тягачем (трактором, бульдозером і т.ін.).

На відміну від стаціонарної суднозавантажувальної машини, така пересувна машина не вимагає протягування судна уздовж причалу. Рационально використовувати дві суднозавантажувальні машини для вантаження навалочних вантажів в судна довжиною більше 80 метрів. В цьому випадку не потрібна його перешвартовка.

У найпростішому випадку це не вимагає облаштування спеціальної конвеєрної інфраструктури. Характеристики машини СПМ–МП наведені в табл. 1.2.

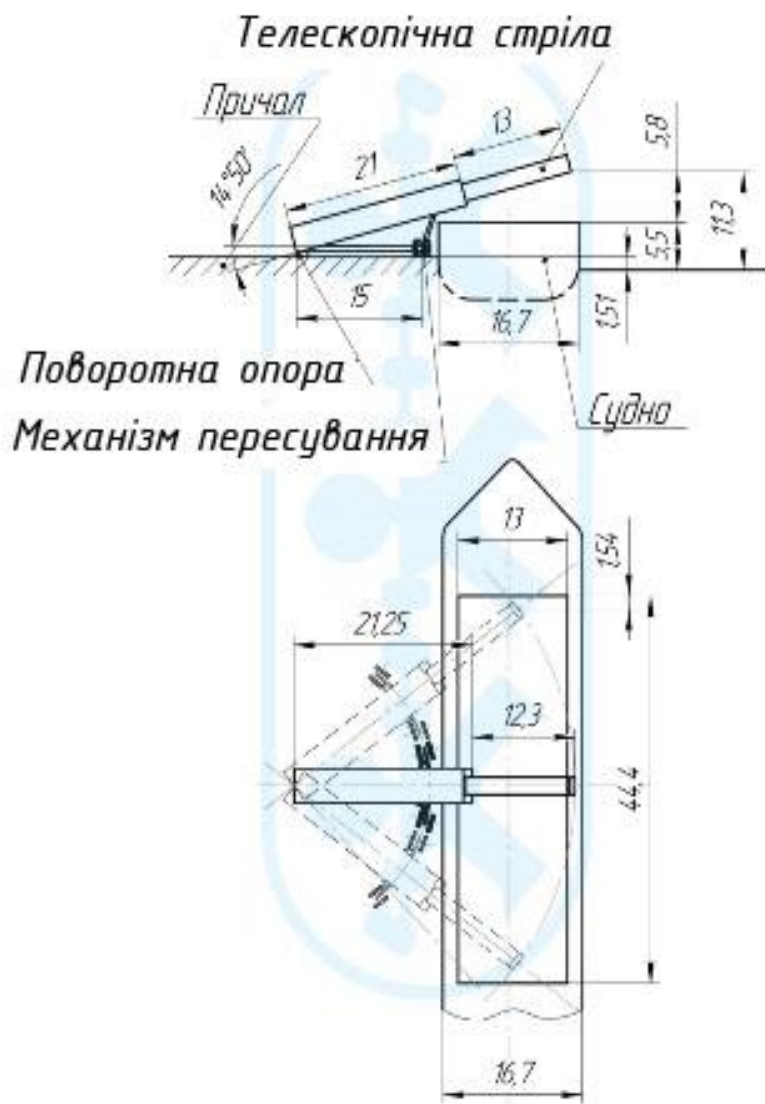


Рисунок 1.3 – Схема механізму для завантаження трюму судна

Це є недорогим і продуктивним рішенням для навантаження навалочних вантажів в трюм судна. У тих випадках, коли це можливо (дозволяють висота і розміри причалу, габарити судна) використання 2-3 малих пересувних судонавантажувальних машин дешевше, ніж однієї середньої судонавантажувальної машини.

Суднозавантажувальна машина середня (СПМ-С) призначена для завантаження суден вантажопідйомністю до 13 000 тонн (річка і річка-море) та до 60 000 тонн (Рапатах) сипучими вантажами, в тому числі і небезпечними і пиловими.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики суднозавантажувальної машини типу СПМ–МП

Параметр	Значення	Оптимальні характеристики
Продуктивність	від 200 до 2000 т/год	1000 т/год
Ширина конвеєрної стрічки	від 650 до 1400 мм.	1000 мм
Кут нахилу	до 18 градусів	8-15 градусів
Довжина стаціонарної частини	8-40 м	21 м
Виліт стріли	5-15 м	13 м
Швидкість пересування стріли	0,1-0,8 м/с	0,2 м/с
Швидкість пересування машини	0,05-0,2 м/с	0,1 м/с
Тип механізму пересування	автомобільні колеса або металеві колеса по рельсі	автомобільні колеса
Наявність транспортного положення коліс (для автомобільних коліс)	да/ні	ні
Вага	5-27 т	15 т
Швидкість вітру (робочі операції)	до 15 м/с	
Температурний діапазон, °С	від -45 до +45	від -10 до +40
Кількість робочих годин за добу, мах	20	16
Середня тривалість одного включення	постійна робота на період повного навантаження судна	
Виконання	річне/морське/оцинковане	річне

Характеристики машини СПМ–С наведені в табл. 1.3.

Завантаження сипучих вантажів відбувається з конвеєра, розташованого на естакаді уздовж причалу (на рис. 1.3 не показаний). Така машина суднозавантажувальна переміщається уздовж причалу по рейковому шляху. За рахунок похилої стріли, що працює за принципом пересувного барабанного вивантажувача (візка барабанного розвантажувального), сипучий вантаж перевантажується з конвеєра, розташованого вздовж причалу на верхній конвеєр суднозавантажувальної машини в будь-якому місці.

Вантаж з верхнього конвеєра машини перевантажується на конвеєр телескопічної стріли (висувної консолі), а потім за телескопічним рукавом засипається в трюм судна.

Оператор суднозавантажувальної машини, переміщаючи машину уздовж причалу і змінюючи виліт консолі висувної, забезпечує рівномірне пошарове завантаження сипучого вантажу в трюм судна. У міру завантаження трюму, оператор СПМ зменшує довжину телескопічного рукава або це робиться автоматично (за допомогою датчика рівня на телескопічному рукаві).

Керування суднозавантажувальною машиною здійснює оператор, який знаходиться в кабіні керування. Він керує за допомогою джойстиків і кнопок керування. Як правило, оператор також керує усією конвеєрною лінією, що подає сипучі вантажі від складу (бункерів або відкритого типу) до суднозавантажувальної машини (портовий завантажувальний комплекс).

Для зменшення навантаження на оператора СПМ, запуск і зупинка всього комплексу (суднозавантажувальна машина, конвеєри і живильники) проводиться автоматично, натисканням однієї кнопки. Аварійні сценарії також відпрацьовуються автоматично.

Переглянути інформацію про стан портового завантажувального комплексу оператор може або за допомогою індикаторів, або на екрані дисплея.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики суднозавантажувальної машини типу СПМ–С

Параметр	Для суден до 13 000 тонн	Для суден від 13 000 до 60 000 тонн
Продуктивність	від 200 до 2000 т/год	від 2500 т/год
Ширина конвеєрної стрічки	від 650 до 1400 мм	від 1200 до 1400 мм
Висота від причалу до нижніх елементів телескопічної стріли (консолі висувної)	від 1 до 10 м	від 5 до 17 м
Максимальний виліт консолі висувної	15 м	28 м
Колія	7.5, 10.5, 15.3 м	від 10.5 до 32 м
Вага	від 20 до 80 т	від 60 до 140 т
Швидкість вітру (робочі операції)	до 15 м/с	до 15 м/с
Швидкість вітру (переміщення в паркувальне положення)	до 25 м/с	до 25 м/с
Швидкість вітру (неробочий стан)	до 46 м/с	до 46 м/с
Температурний діапазон	від -40 до +45 °С	від -40 до +45 °С
Сейсмостійкість	до 9 балів	до 9 балів
Кількість робочих годин на добу	20	20
Кількість робочих днів у році	250	250
Середня тривалість одного включення	постійна робота на період повного вантаження судна	постійна робота на період повного вантаження судна

При пересуванні машини суднозавантажувальної по рейкових шляхах за допомогою енкодерів відстежується перекіс конструкції порталу. У разі його виникнення, він автоматично усувається системою керування. Для підвищення терміну служби механізмів суднозавантажувальної машини, забезпечення плавності ходу і комфорту оператора, керування приводами пересування здійснюється за допомогою перетворювачів частоти. Для розміщення електрообладнання передбачено спеціалізоване електроприміщення з кліматичною установкою.

1.4 Суднозавантажувальна машина як об'єкт модернізації

В даній роботі в якості об'єкту модернізації розглядається суднозавантажувальна машина типу СПМ–МП, яка призначена для завантаження мінеральних добрив та інших сипучих матеріалів в трюм судна і є складовою частиною спеціалізованого конвеєрного комплексу [3]. Машина пересувається уздовж причалу по рейкових шляхах. Вздовж кранових колій розташовується конвеєрна галерея, в якій знаходяться магістральні конвеєри, котрі подають вантаж зі складу на суднозавантажувальну машину.

Магістральний конвеєр обладнаний пристроєм для проміжного розвантаження – розвантажувальним візком, який переміщується вздовж конвеєра. Розвантажувальний візок з'єднаний шарнірно з вантажною машиною і забезпечує подачу вантажу на конвеєр фронтальної машини.

Телескопічний конвеєр, розташований в підйомній галереї, а також телескопічна труба, встановлена в місці розвантаження конвеєра, дозволяє приймати судна практично всіх типів.

Технічні характеристики даної суднозавантажувальної машини наведені в таблиці 1.4.

Суднозавантажувальна машина являє собою металоконструкцію портального типу, яка встановлена на 4 ходові візки. Портал являє собою просторову жорстку раму коробчатого профілю, що складається з декількох частин, з'єднаних при монтажі болтами. Колія порталу становить 10,5 м, що

дозволяє розташувати під ним двоколіїні залізничні рейки. Кожен візок, котрий знаходиться у складі механізму пересування машини, обладнаний б ходовими колесами і має власний привід. Для утримання усього механізму у справному стані при великому вітрі, на візках встановлюються рейкові захвати, що мають ручний привід.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики суднозавантажувальної машини типу СПМ–МП

Параметр	Значення
Продуктивність	від 200 до 2000 т/год
Перевантажуючий вантаж	мінеральні добрива
Насипна щільність вантажу	1,2 т/м ³
Довжина галереї від вісі обертання	30 м
Швидкість конвеєрної стрічки	1,25 м/с
Тип роlikоопори	жолобчаста
Ширина конвеєрної стрічки	650 мм
Швидкість пересування машини	0,33 м/с
Швидкість підйому галереї	0,5 м/с
Колія порталу	10,5 м
Число ходових коліс	24
Максимальний виліт конвеєра	24 м
Мінімальний виліт конвеєра	4,5 м
Швидкість зміни вильоту	0,5 м/с

До порталу шарнірно прикріплена підйомна галерея, виконана у вигляді просторової ферми, в якій розташовується телескопічний стрічковий конвеєр. Також на порталі розташована опорна металокопструкція для механізму підйому галереї, яка виконана у вигляді коробчатої конструкції. На опорній частині розміщені кабіна, машинне відділення, механізм підйому галереї, також там встановлене обладнання для забезпечення керування усіма механізмами.

Портал і опорна конструкція обладнані сходами і майданчиками для обслуговування механізмів і складових частин судноавантажувальної машини. Машинне приміщення і кабіна керування закріплені на опорній конструкції судноавантажувача. Машинне приміщення виконане з листової сталі і предназначене для розміщення механізму підйому і електроустаткування. Знімний дах встановлений для зручності монтажу і демонтажу обладнання. Кабіна керування також виконана з листової сталі, передня і бічні стінки мають вікна, що відчиняються для огляду робочої зони.

Механізм підйому галереї виконаний у вигляді барабанної лебідки з двоканатним нарізним барабаном і призначений для підйому галереї в верхнє положення для закріплення її «по штормовому», а також для безпечного пересування судноавантажувальної машини вздовж причалу при стоянці судна. Закріплення галереї «по штормовому» відповідає неробочому стану машини, і використовується при силі вітру більше 20 м/с. Для обмеження підйому галереї по висоті, а також для обмеження пересування судноавантажувальної машини встановлені кінцеві вимикачі. Стрічковий конвеєр розташований в галереї і виконаний телескопічним з жолобчастими роликкоопорами, ширина стрічки 650 мм, швидкість руху 1,25 м/с. Довжина телескопічної частини становить 19,5 м. Привід конвеєра виконаний у вигляді мотор-барабана для економії місця, а також зручного доступу до нього. Розвантаження конвеєра здійснюється за допомогою телескопічної труби діаметром 300 мм, довжина якої змінюється в межах від 3 до 10 м.

Привід всіх механізмів – електричний. Живлення судноавантажувача електроенергією здійснюється гнучким кабелем від наземних колонок. Довжина кабелю дозволяє крану пересуватися на 100 м в кожену сторону від колонки. Для намотування кабелю служить кабельний барабан, установний на порталі. Керування судноавантажувачем здійснюється кранівником з кабіни керування. В комплект крана входять запасні частини та інструмент, переліки яких включені до складу технічної документації, що поставляється з краном.

1.5 Вимоги до електропривода суднозавантажувальної машини та постановка задач на кваліфікаційну роботу

Проаналізувавши основні вимоги, що пред'являються до сучасних систем автоматичного керування електроприводами, можна виділити основні вимоги, які можуть бути пред'явлені до системи керування електроприводом конвеєру суднозавантажувальної машини СПМ–МП:

1) Електропривод повинен забезпечувати необхідний діапазон регулювання швидкості при заданій кратності пускового і максимального моменту $k_{\pi} = k_{\text{м}} = 2$ і точності підтримки швидкості не менше 5%.

2) Оптимальне налаштування вольт-частотної характеристики перетворювача, а також вибір та налагодження задатчика інтенсивності для забезпечення необхідної плавності перехідних процесів і мінімізації часу регулювання.

3) Економічна доцільність впровадження частотно-керованого електроприводу на основі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

З метою прискорення науково-технічного прогресу поряд із заміною застарілого обладнання вирішальне значення має робота по модернізації діючих машин та механізмів для підвищення їх надійності та ефективності, зниження енергетичних витрат.

Як показує досвід експлуатації електромеханічного обладнання Одеського терміналу, якість цього обладнання не задовольняє вимогам сьогодення. Має місце завищене споживання електроенергії, завищені потужності електроприводу, які ведуть до низького коефіцієнту корисної дії, велика кількість обслуговуючого персоналу. Вказані проблеми вимагають модернізації діючого електрообладнання та електроприводу суднозавантажувальної машини. Пропонується замінити існуючий застарілий і відслуживший свій термін електропривод на сучасний частотно-регульований асинхронний електропривод змінного струму.

Це дозволить збільшити обсяг перевантажувальної продукції, підвищити надійність механічної та електричної складових системи регулювання, зменшить вплив динамічних моментів на електропривод, що подовжить їх термін служби та скоротить кількість вимушених простоїв.

Враховуючи проблеми, які виявились при дослідженні роботи суднозавантажувальної машини, при аналізі наукової літератури та технологічних рекомендацій персоналу, перед дослідженням по даній темі поставлені такі завдання:

- 1) Дослідити та аргументувати доцільність вибору частотно-регульованого електроприводу на основі трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
- 2) Виконати розрахунок конвеєрної лінії та підібрати електродвигун.
- 3) Розробити керований електропривод для конвеєра, його функціональну схему керування.
- 4) Виконати інженерні розрахунки з метою вияснення доцільності використання обладнання встановленої потужності.
- 5) Провести дослідження модернізованого електропривода конвеєра.

Висновки за розділом

Проведено аналіз роботи Одеського причалу та сутності перевантажувальних робіт в ньому. Виявлено, що суднозавантажувальна машина є однією з найважливіших елементів у технологічному процесі перевантаження. Проаналізовані види суднозавантажувальних машин, їх переваги та недоліки. Обрано об'єкт бакалаврського дослідження.

Висунуті вимоги до електропривода суднозавантажувальної машини та поставлені завдання на дослідження.

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування застосування типу електроприводу конвеєрної лінії

2.1.1 Техніко-економічні показники модернізації електроприводу конвеєра

На сьогоднішній день в більшості підприємств виконавчі механізми електроприводу стрічкового конвеєра приводяться в рух регульованими електроприводами постійного струму. Керування швидкістю машини постійного струму здійснюється тільки за допомогою тиристорних перетворювачів, що мають відносно невеликий діапазон регулювання операційної кутової швидкості обертання вала двигуна, який коливається від 500 до 1000 об/хв. Залежно від необхідної продуктивності робота може бути виконана в будь-якому діапазоні обертів, яке зазначено протягом тривалого часу. До загальної тиристорної станції підключені електроприводи необхідної заданої продуктивності, вони є єдиними для всіх електроприводів. Тривалий режим роботи не передбачає частих запусків і зупинок. Суворі вимоги до динаміки приводу, як обмеження на характер перехідних процесів під час пуску, гальмування і переходу від однієї швидкості до іншої, тут не нав'язуються.

Проте не виключається короткочасне різке збільшення навантаження, яке може супроводжувати значне зростання статичного моменту. Крім того, електричні машини працюють в середовищі, насиченому пилом, а це ускладнює експлуатацію двигунів постійного струму. З точки зору модернізації бажано забезпечити незалежний контроль роботи окремих конвеєрів.

Це передбачає перспективний перехід до використання асинхронного електроприводу стрічкового конвеєра з частотним регулюванням.

Зазначимо найбільш істотні переваги переходу до асинхронного електроприводу стрічкового конвеєра [4].

Низька вартість. Асинхронний короткозамкнений електродвигун (АД) має нижчу вартість по відношенню до електродвигуна постійного струму, володіє простою конструкцією і високою технологічністю виготовлення. Асинхронні двигуни широко поширені, ніж інші види електричних машин.

Низькі експлуатаційні витрати. Асинхронним короткозамкненим електродвигунам протягом усього часу експлуатації практично не потрібне обслуговування. А електродвигун постійного струму в перебігу експлуатації потребує регулярного обслуговування колекторних вузлів.

Ремонт електричної машини. Загальна сукупність витрат для організації та проведення ремонту електродвигунів постійного струму перевищує вартість нового асинхронного короткозамкненого електродвигуна (машини).

Ступінь захисту. Ступінь захисту електричних машин – це ступінь захищеності персоналу від зіткнення з струмоведучими частинами, обертаючими частинами і захист від влучень всередину сторонніх предметів і води. Виконання асинхронних машин мають широкий діапазон ступенів захисту. Це має важливе значення для конкретного застосування. Виробництво машин та колекторів з високим ступенем захисту ускладнює конструкцію і створення місцевих умов стає більш сприятливими. Порівняння виявляється неправильним щодо перетворювача приводів постійного струму, які використовуються. Такі двигуни на існуючих конвеєрах часто не тільки застаріли, але й вичерпали свої ресурси. Зазначені переваги асинхронної машини не враховують, що двигун буде працювати спільно з перетворювачем частоти. Незнання особливостей такої роботи може привести до нераціонального використання електроприводу, а в гіршому - неправильного його вибору.

При використанні інверторних АД їх ефективність може знижуватися на 2...3%. Додаткові високочастотні втрати, викликані несинусоїдальністю напруги, викликають нагрівання двигуна і зниження корисної потужності на його валу (до 25%) та додаткових втрат в обмотках і сталевих осердях через

вищі гармоніки струму і магнітного потоку [5]. Тому при використанні асинхронних приводів з частотним регулюванням необхідно вживати заходів щодо поліпшення гармонійної структури (встановити додатковий пристрій, налаштування параметрів перетворювача, і т.ін.).

2.1.2 Вибір частотно-регульованого електроприводу

Розглянемо особливості використання частотно-регульованого електроприводу для конвеєрної лінії. У стрічкових конвеєрів діапазон регулювання швидкостей невеликий, тому для них можна використовувати широко відомий метод керування – вольт-частотний, який може гарно забезпечувати необхідну для даного типу навантаження сталість критичного моменту. Для електроприводів конвеєрів при виборі стандартизованих перетворювачів частоти вагомими перевагами є гарно організована система попереджень та захисних функцій; значна перевантажувальна здатність; можливість налаштування частотної характеристики у потрібних межах.

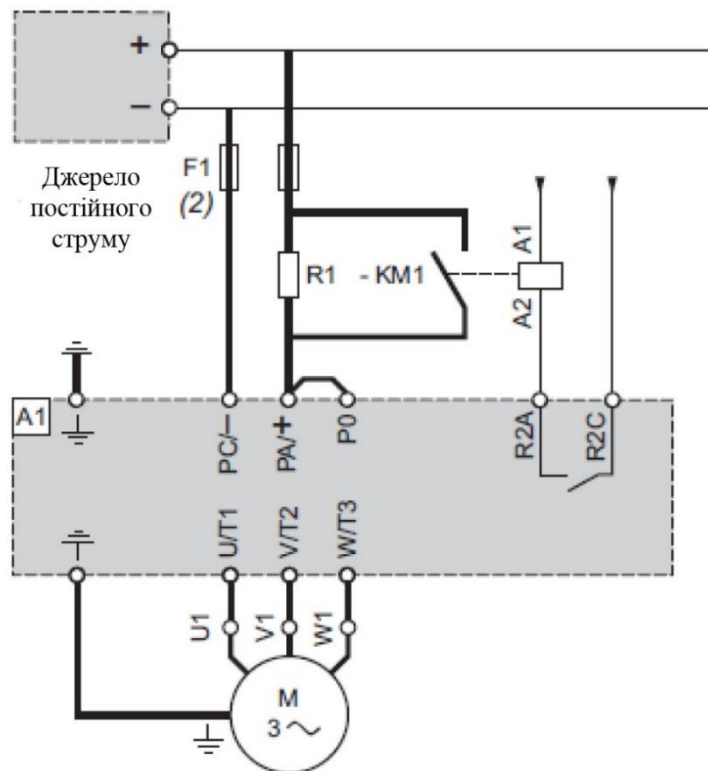


Рисунок 2.1 – Елементи частотно-регульованого електроприводу

Крім самого перетворювача частоти у системі необхідні додаткові пристрої: вхідні і вихідні фільтри, реактори, гальмівні резистори (рис. 2.1).

При установці вхідного фільтра необхідне дотримання умов електромагнітної сумісності. Одночасне використання реакторів постійного і змінного струму сприяє досягненню найкращого ефекту на впливі на гармонійну структуру напруги. Для зупинки конвеєрної лінії використовується гальмування вільним вибігом, тому встановлення гальмівних резисторів тут не потрібне.

Керування перетворювачем частоти відбувається за відомою схемою: в якості завдання швидкості виступає аналоговий сигнал потрібної величини, а завдання режимів і контроль стану перетворювача здійснюється дискретними сигналами, при цьому додаткові опціональні пристрої у колах керування не потрібні [6].

2.2 Розрахунок телескопічного стрічкового конвеєра для СМ

2.2.1 Розрахунок класу використання конвеєра, розрахунок і вибір стрічки

Розрахунок проводимо відповідно до методики джерела [7]. Залежно від класу використання конвеєра приймаємо важкий режим роботи.

Визначимо коефіцієнт планового використання конвеєра в добу, рік, за формулою:

$$k_{BC} = \frac{t_{ПС}}{t_C}, \quad (2.1)$$

де $t_{ПС}$ – час фактичної роботи конвеєра в добу, з огляду на заданий клас використання конвеєра за часом В4, приймаємо $t_{ПС} = 23$ год;

t_C – кількість годин у добі, $t_C = 24$ год.

$$k_{BC} = \frac{23}{24} = 0,96 \text{ год.}$$

Визначимо коефіцієнт планового використання конвеєра у рік за формулою:

$$k_{\text{ВГ}} = \frac{t_{\text{ПГ}}}{t_{\text{Г}}}, \quad (2.2)$$

де $t_{\text{ПГ}}$ – час фактичної роботи конвеєра в році, год, з огляду на клас використання конвеєра за часом В4, приймаємо $t_{\text{ПГ}} = 6300$ год;

$t_{\text{Г}}$ – кількість годин на рік, $t_{\text{Г}} = 8760$ год.

$$k_{\text{ВГ}} = \frac{6300}{8760} = 0,72 \text{ год.}$$

Визначимо необхідну розрахункову ширину стрічки, м, за формулою:

$$B_{\text{р}} = 1,1 \left(\sqrt{\frac{Q}{v \rho k k_B}} + 0,05 \right), \quad (2.3)$$

де Q – продуктивність конвеєра, (відповідно до завдання $Q = 300 \text{ т/год}$);

v – швидкість стрічки, приймаємо швидкість стрічки з урахуванням режиму роботи ($v = 2 \text{ м/с}$);

ρ – щільність вантажу, ($\rho = 1,2 \text{ т/м}^3$);

k – коефіцієнт, який визначаємо залежно від кута природного укосу даного вантажу, ($k = 730$), [7];

k_B – коефіцієнт, який визначаємо залежно від кута нахилу конвеєра, в даному випадку ($k_B = 0,97$), [7].

В результаті розрахунку маємо

$$B_{\text{р}} = 1,1 \left(\sqrt{\frac{300}{2 \cdot 1,2 \cdot 730 \cdot 0,9}} + 0,05 \right) = 0,534 \text{ м.}$$

Вибираємо резинотканеву конвеєрну стрічку ТЛК-100 шириною $B = 650$ мм з трьома ($z = 3$) тяговими прокладками товщиною $\delta_0 = 1$ мм, які допускають робоче навантаження величиною $K_p = 100 \text{ Н/мм}$, при цьому маємо товщину гумової обкладки робочої поверхні $\delta_p = 3$ мм, а для неробочої поверхні $\delta_n = 1$ мм [8].

Перевіримо обрану ширину, B мм, стрічки за умовою розміщення шматків:

$$B'_p = 2a' + 200, \quad (2.4)$$

де a' – розмір типового відрізка, мм, $a' = 5$ мм.

$$B'_p = 2 \cdot 5 + 200 = 210 < 650 \text{ мм}.$$

Істотне збільшення стрічки вимагає уточнення швидкості стрічки $v_{розр}$, м/с, за формулою:

$$v_{p'} = \frac{B_{p'}^2}{B} v, \quad (2.5)$$

$$v_p = \frac{0,534^2}{0,65^2} 2 = 1,349 \text{ м/с}.$$

Приймаємо швидкість стрічки з нормального ряду $v_\phi = 1,6 \text{ м/с}$ [10].

Визначимо товщину стрічки δ , мм, за формулою:

$$\delta = z\delta_0 + \delta_p + \delta_H, \quad (2.6)$$

де z – кількість тягових тканинних прокладок;

δ_0 – товщина тягової тканинної прокладки, мм;

δ_p – товщина гумової обкладки на робочій поверхні даної конвеєрної стрічки, мм;

δ_H – товщина гумової обкладки на неробочій поверхні даної стрічки, мм.

$$\delta = 3 \cdot 1 + 3 + 1 = 9 \text{ мм} = 0,009 \text{ м}.$$

Відтепер можна розрахувати, яке навантаження буде створювати маса вантажу q_z , кг/м, за формулою:

$$q_z = \frac{Q}{3,6 \cdot v}, \quad (2.7)$$

$$q_z = \frac{300}{3,6 \cdot 1,6} = 52,1 \text{ кг/м}.$$

Далі розраховуємо навантаження від маси стрічки q_0 , кг/м, за формулою:

$$q_0 = p \cdot B \cdot \delta, \quad (2.8)$$

де p – щільність стрічки, ($p = 1100 \text{ кг/м}^3$);

$$q_0 = 1100 \cdot 0,65 \cdot 0,009 = 6,4 \text{ кг/м.}$$

Визначимо висоту конвеєра H , м, за формулою:

$$H = L_1 \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.9)$$

де L_1 – довжина похилої ділянки конвеєра, ($L_1 = 19 \text{ м}$);

α – це кут нахилу конвеєрної лінії, ($\alpha = 7,5^\circ$).

$$H = 19 \operatorname{tg} 7,5 = 2,5 \text{ м.}$$

Відтепер можна визначити попереднє тягове зусилля в стрічці W_0 за формулою:

$$W_0 = k_0 L g \left[(q_z + q_0 + q_p) \omega + (q_0 + q'_p) \omega' \right] + q_z g H, \quad (2.10)$$

де k_0 – величина узагальненого коефіцієнту місцевих опорів, ($k_0 = 1,5$), вибираємо з [7];

q_p – розподілена маса обертових частин роликів опор для робочої гілки, (кг/м), [7];

q'_p – розподілена маса обертових частин роликів опор для холостої гілки, (кг/м), [7];

ω – коефіцієнт опору для робочої гілки, ($\omega = 0,06$), [7];

ω' – коефіцієнт опору для холостої гілки, ($\omega' = 0,04$), [7];

$$W_0 = 1,5 \cdot 47 \cdot 9,81 \left[(52,1 + 6,4 + 10,2) 0,06 + (6,4 + 4,4) 0,04 \right] + 52,1 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 4428 H.$$

Визначаємо величину попереднього максимального натягу стрічки S_{\max} , H , за формулою:

$$S_{\max} = k_3 W_0 \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1}, \quad (2.11)$$

де k_3 – величина коефіцієнту запасу зчеплення стрічки з барабаном, ($k_3 = 1,25$), [7];

$e^{\mu\alpha}$ – тяговий фактор, ($e^{\mu\alpha} = 2,83$), [7].

$$S_{\max} = 1,25 \cdot 4428 \frac{2,83}{2,83 - 1} = 8560 \text{ Н}.$$

Перевіримо необхідну мінімальну кількість тягових прокладок в стрічці z за формулою:

$$z_{\min} = \frac{S_{\max} C_{II}}{K_p B} \leq z, \quad (2.12)$$

де z – прийняте число тягових прокладок, ($z=3$);

C_{II} – запас міцності обраної стрічки, ($C_{II} = 8$), [8];

K_p – максимально допустиме робоче навантаження прокладок, ($K_p = 200 \text{ Н/мм}$).

$$z_{\min} = \frac{8560 \cdot 9}{100 \cdot 650} = 1,18 \leq 3.$$

Таким чином, були розрахована та вибрана стрічка конвеєрної лінії, зроблена перевірка стрічки на міцність, а також визначене попереднє тягове зусилля та максимально можливий натяг стрічки.

2.2.2 Розрахунок і вибір підтримуючих пристроїв

Виходячи з ширини і швидкості стрічки, вибираємо з нормального ряду діаметр роликів жолобчастої роликкоопори $d_p = 89 \text{ мм}$ і відстань між роликкооперами робочої гілки конвеєра $l_p = 1300 \text{ мм}$ [8].

Визначимо відстань між опорами роликів холостої гілки конвеєра l_x , мм, за формулою:

$$l_x = (2 \div 3) l_p, \quad (2.13)$$

$$l_x = 2,5 \cdot 1300 = 2600 \text{ мм}.$$

Визначимо відстань між опорами роликів в зоні завантаження на опуклій ділянці траси $l_{з.кр.}$, мм, за формулою:

$$l_{з.кр.} = 0,5 l_p, \quad (2.14)$$

$$l_{з.кр.} = 0,5 \cdot 1300 = 650 \text{ мм}.$$

Визначимо найменший діаметр приводного барабана $D_{n.б}^{\min}$, мм, за формулою:

$$D_{n.б}^{\min} = K_1 K_2 z, \quad (2.15)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує міцність прокладок стрічки, ($K_1 = 155$), [7];

K_2 – коефіцієнт, який залежить від призначення барабана, ($K_2 = 1$), [7].

$$D_{n.б}^{\min} = 155 \cdot 1 \cdot 3 = 465 \text{ мм.}$$

З нормального ряду приймаємо діаметр приводного барабана $D_{n.б} = 500$ мм [8].

Визначимо діаметр відхиляючих барабанів $D_{o.б}$, мм, за формулою:

$$D_{o.б}^{\min} = K_1 K_2 z, \quad (2.16)$$

де $K_2 = 0,5$ – для відхиляючих барабанів, встановлених на трасі;

$K_2 = 0,85$ – для натяжних барабанів і відхиляючих, встановлених поряд з приводним.

$$D_{o.б} = 155 \cdot 0,85 \cdot 3 = 395,25 \text{ мм.}$$

З нормального ряду приймаємо діаметр відхиляючих барабанів, встановлених на трасі $D_{o.б} = 250$ мм, натяжного барабана і відхиляючого, встановленого поруч з приводним $D_{o.б} = 400$ мм [8].

Визначаємо довжину приводного і відхиляючого барабанів $l_б$, мм, за формулою:

$$l_б = B + 100 \text{ мм}, \quad (2.17)$$

$$l_б = 650 + 100 = 750 \text{ мм.}$$

Таким чином, провівши розрахунок, була обрана жолобчата роликкоопора діаметром $d_p = 89$ мм, а також прийнятий діаметр приводного барабана $D_{n.б} = 500$ мм, а відхиляючого – $D_{o.б} = 250$ мм.

2.2.3 Уточнений розрахунок конвеєра

Уточнений тяговий розрахунок проводимо з метою більш точного визначення максимального натягу тягового елемента, натягу його в характерних точках конвеєрної лінії, визначення зусилля і потужності приводу конвеєра.

Визначимо тягове зусилля конвеєрної лінії шляхом обходу по її контуру. Суть такого методу полягає в тому, що всю трасу конвеєра, починаючи з точки збігання тягового елемента з приводу, необхідно розбити на окремі ділянки (рис.2.2), опір в яких є постійним за своїм характером.

Обхід краще починати з точки найменшого натягу тягового елемента, користуючись загальним правилом: натяг тягового елемента в кожній наступній по ходу контуру точці дорівнює натягу в попередній точці з додаванням опору на ділянці між цими точками:

$$S_{i+1} = S_i + W_{i-(i+1)}, \quad (2.18)$$

де S_{i+1} і S_i – натяги в двох сусідніх точках контуру;

$W_{i-(i+1)}$ – опір руху тягового елемента на ділянці між цими точками.

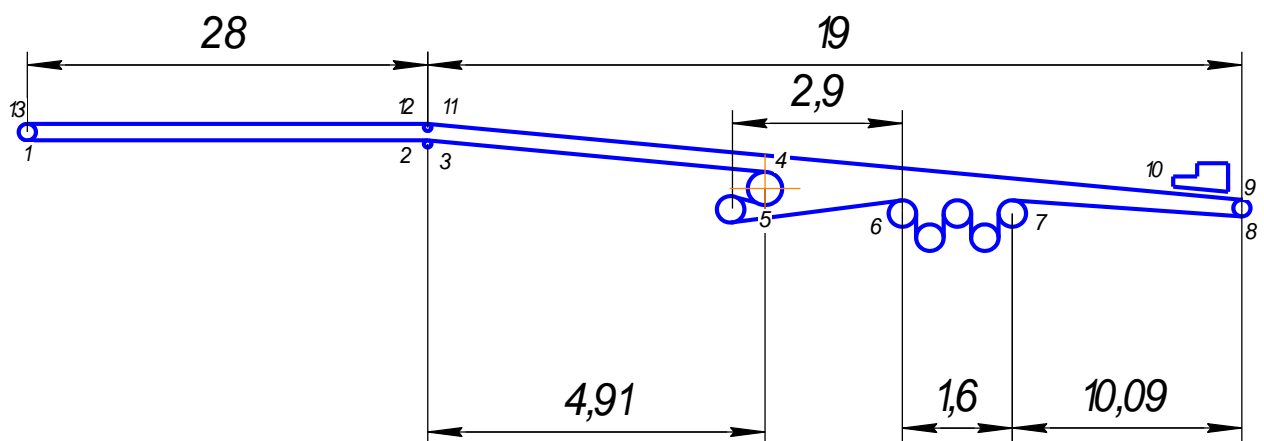


Рисунок 2.2 – Схема траси конвеєра для визначення тягового зусилля

Якщо місце знаходження точки найменшого натягу стрічки встановити неможливо, то за початок відліку можна прийняти будь-яку з точок.

Припустимо, що найменший натяг очікується в точці сходу конвеєрної стрічки з приводного барабана (точка 1), з якої і почнемо тяговий розрахунок. Найменша сила натягу стрічки дорівнює силі попереднього натягу стрічки:

$$S_{c\bar{o}} = S_1 = S_{\min}, \quad (2.19)$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 2 S_2, H , за формулою:

$$S_2 = S_1 + (q_0 + q_p')Lg\omega', \quad (2.20)$$

$$S_2 = S_1 + 119H.$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 3 S_3, H , за формулою:

$$S_3 = \lambda S_2, \quad (2.21)$$

$$S_3 = 1,035S_1 + 123H.$$

де λ – коефіцієнт збільшення натягу тягового органу від опору при обгинанні роликів батареї, ($\lambda = 1,035$), [7].

Визначимо силу натягу стрічки в точці 4 S_4, H , за формулою:

$$S_4 = S_3 + (q_0 + q_p')Lg\omega' - q_0gH, \quad (2.22)$$

$$S_4 = 1,035S_1 + 103H.$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 5 S_5, H , за формулою:

$$S_5 = K_{\Pi} S_4, \quad (2.23)$$

де K_{Π} – коефіцієнт збільшення натягу тягового органу від опору на поворотному пункті, ($K_{\Pi} = 1,06$), [7].

$$S_5 = 1,09S_1 + 109H,$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 6 S_6, H , за формулою:

$$S_6 = S_5 + (q_0 + q_p')Lg\omega', \quad (2.24)$$

$$S_6 = 1,09S_1 + 121H.$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 7 S_7, H , за формулою:

$$S_7 = K_{\Pi}^3 S_6, \quad (2.25)$$

$$S_7 = 1,29S_1 + 144H.$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 8 S_8, H , за формулою:

$$S_8 = S_7 + (q_0 + q_p')Lg\omega' - q_0gH, \quad (2.26)$$

$$S_8 = 1,29S_1 + 107H,$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 9 S_9, H , за формулою:

$$S_9 = K_{II}S_8, \quad (2.27)$$

$$S_9 = 1,36S_1 + 113H,$$

Визначимо опір на вантажному пункті від повідомлення вантажу швидкості тягового органу $S_{нозр}, H$, за формулою :

$$S_{нозр} \approx \frac{Qgv}{36}, \quad (2.28)$$

$$S_{нозр} \approx \frac{300 \cdot 9,81 \cdot 1,6}{36} = 131H.$$

Визначимо опір від напрямних бортів завантажувального лотка S_l, H , за формулою:

$$S_l \approx 50 \cdot l_l, \quad (2.29)$$

де l_l – довжина лотка, ($l_l = 3м$).

$$S_l \approx 50 \cdot 3 = 150H.$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 10 S_{10}, H , за формулою:

$$S_{10} = S_9 + S_{нозр} + S_l + (q_z + q_0 + q_p)gl_l\omega + (q_z + q_0)gH_l, \quad (2.30)$$

$$S_{10} = 1,36S_1 + 629H,$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 11 S_{11}, H , за формулою:

$$S_{11} = S_{10} + (q_z + q_0 + q_p)(L - l_l)g\omega + (q_z + q_0)g(H - H_l), \quad (2.31)$$

$$S_{11} = 1,36S_1 + 2483H,$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 12 S_{12}, H , за формулою:

$$S_{12} = \lambda S_{11}, \quad (2.32)$$

$$S_{12} = 1,4S_1 + 2570H,$$

Визначимо силу натягу стрічки в точці 13 S_{13}, H , за формулою:

$$S_{13} = S_{12} + (q_z + q_0 + q_p)Lg\omega, \quad (2.33)$$

$$S_{13} = 1,4S_1 + 3702H = S_{наб}.$$

Позначимо величини $A_S = 1,4$, $B_S = 3702$, тоді:

$$S_{ii} = A_S \cdot S_i + B_S \cdot H \quad (2.34)$$

де A_S , B_S – постійні, що отримані в результаті обчислень.

Визначимо натяг на сбігаючій гільці $S_{сб}$, H , за формулою:

$$S_{сб} = \frac{k_3 B_S}{e^{\mu\alpha} - k_3 A_S}, \quad (2.35)$$

$$S_{сб} = \frac{1,25 \cdot 3702}{2,83 - 1,25 \cdot 1,4} = 4285H.$$

Визначимо натяг на набігаючій гільці $S_{наб}$, H :

$$S_{наб} = S_{сб} \frac{e^{\mu\alpha}}{k_3}, \quad (2.36)$$

$$S_{наб} = 4285 \frac{2,83}{1,25} = 9701H.$$

Відтепер можна визначити натяг стрічки в усіх розглянутих точках:

$$S_{сб} = 4285H. \quad (2.37)$$

$$S_2 = 4285 + 119 = 4404H.$$

$$S_3 = 1,035 \cdot 4285 + 123 = 4558H.$$

$$S_4 = 1,035 \cdot 4285 + 103 = 4538H.$$

$$S_5 = 1,09 \cdot 4285 + 109 = 4780H.$$

$$S_6 = 1,09 \cdot 4285 + 121 = 4792H.$$

$$S_7 = 1,29 \cdot 4285 + 144 = 5672H.$$

$$S_8 = 1,29 \cdot 4285 + 107 = 5635H.$$

$$S_9 = 1,36 \cdot 4285 + 113 = 5941H.$$

$$S_{10} = 1,36 \cdot 4285 + 629 = 6457H.$$

$$S_{11} = 1,36 \cdot 4285 + 2483 = 8311H.$$

$$S_{12} = 1,4 \cdot 4285 + 2570 = 8569H \quad S_{12} = 8569H.$$

$$S_{наб} = 9701H.$$

За уточненим значенням $S_{\max} = S_{13} = 9701H$ перевіряємо міцність стрічки:

$$z_{\min} = \frac{9701 \cdot 9}{100 \cdot 650} = 1,34 \leq 3.$$

Визначимо тягове зусилля конвеєра W_0, H , за формулою:

$$W_0 = S_{\max} - S_{\min}, \quad (2.38)$$

$$W_0 = 9701 - 4285 = 5416H.$$

Таким чином, в даному підрозділі було проведено уточнений тяговий розрахунок конвеєра. Визначені такі показники як максимально-можливий натяг стрічки, тягове зусилля і кількість тканинних прокладок, що забезпечують міцність стрічки.

2.2.4 Розрахунок потужності електродвигуна

Даний двигун працює в тривалому режимі S1, котрий характеризується постійним навантаженням протягом тривалого часу [4].



Рисунок 2.3 – Навантажувальна діаграма режиму S1

Визначимо максимальну статичну потужність:

$$P_{c.\max} = \frac{k_z \cdot Q}{\eta} \cdot (c \cdot L + H) \cdot 10^{-3}, \quad (2.39)$$

де k_z – коефіцієнт запасу (зазвичай береться $1,1 \div 1,25$);

Q – продуктивність конвеєра, т/год.;

L – довжина конвеєра, м;
 H – висота підйому, м;
 η – ККД механізму конвеєра (зазвичай береться у межах $0,75 \div 0,85$);
 c – дослідний коефіцієнт, що залежить від виду конвеєра і його продуктивності (зазвичай береться $1.1 \div 2$).

$$P_{c.макс} = \frac{1,25 \cdot 300000}{0,75} \cdot (1,1 \cdot 47 + 13,075) \cdot 10^{-3} = 32,39 \text{ кВт.}$$

Момент опору статичного навантаження на валу двигуна:

$$M_{c.нав} = \frac{P_{c.макс}}{\omega_{дв.макс}} ; \quad (2.40)$$

$$M_{c.нав} = \frac{34130}{98,462} = 346,67 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$\omega_{дв.макс} = \frac{\pi \cdot n_{дв.макс}}{30}, \quad (2.41)$$

$$\omega_{дв.макс} = \frac{3,14 \cdot 940}{30} = 98,462 \text{ рад/с.}$$

де $n_{дв.макс} = 940 \text{ об/хв}$ – необхідна максимальна швидкість приводного двигуна конвеєра.

Електродвигун вибираємо з умови:

$$P_{c.н} \geq \frac{M_{c.макс} \cdot \omega_{двн}}{0,5 + \frac{\omega_{епхв}}{\omega_{двн}}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.42)$$

$$M_{дв.макс} \geq M_{еп.макс}; \quad \omega_{двн} \geq \omega_{еп.макс}.$$

В результаті з [10] було обрано електродвигун типу АІР 250S6, характеристики якого наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двигуна АІР 250S6

Тип двигуна	Синхронна частота обертання, об / хв	Потужність, кВт	При номінальному навантаженні		
			Ковзання, %	ККД, %	cosφ
АІР 250 S6	1000	45	1,6	92	0,7

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики двигуна АІР 250S6 (продовження)

$m_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$m_m = \frac{M_{\text{мін}}}{M_n}$	$k_{\text{ідв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	Ступінь захисту	Кліматичне виконання	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
2,2	2,8	1	5,5	IP54	У2	1,2

$Z_p = 3$ – число пар полюсів.

Проведемо розрахунок основних параметрів електродвигуна [5].

Розраховуємо синхронну кутову швидкість обертання двигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (2.43)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Розраховуємо номінальну кутову швидкість обертання двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_{\text{двн}}}{30}, \quad (2.44)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 940}{30} = 98,437 \text{ рад/с.}$$

Визначаємо номінальний струм двигуна:

$$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}, \quad (2.45)$$

$$I_{1n} = \frac{45000}{3 \cdot 220 \cdot 0,7 \cdot 0,85} = 114,6 \text{ А.}$$

Визначаємо номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H}, \quad (2.46)$$

$$M_H = \frac{45 \cdot 10^3}{98,437} = 457,147 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином було зроблено розрахунок потрібної потужності електродвигуна, його вибір та розрахунок основних параметрів двигуна.

2.3 Визначення параметрів схеми заміщення двигуна

Далі необхідно провести розрахунок електромеханічних характеристик обраного двигуна, для моделювання вибираємо Т-подібну еквівалентну схему заміщення, яка, як відомо, є найбільш зручною для простих інженерних розрахунків двигуна (рис. 2.4).

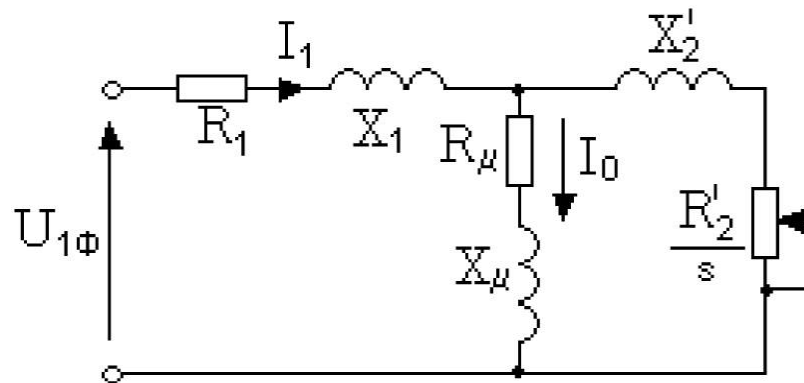


Рисунок 2.4 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Визначимо параметри Т-подібної схеми заміщення обраного асинхронного двигуна AIP250S6 за його каталожними даними (табл 2.1).

Розрахунки виконаємо при наступних основних припущеннях:

- магнітні та механічні втрати в двигуні складають не більше 0,02 P_H ;
- активні опори обмотки і роторних обмоток є незалежними від режиму роботи двигуна.

Для цього розрахунку використовуємо стандартні методики та програму Mathcad, що орієнтована на проведення різноманітних обчислень і відрізняється легкістю користування. За відомими виразами [5] було визначено активний опір обмотки ротора, що приведений до обмотки статора двигуна:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{двн}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)}, \quad (2.47)$$

активний опір обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta, \quad (2.48)$$

індуктивний опір при короткому замиканні:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2', \quad (2.49)$$

індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, що приведений до обмотки статора :

$$X_{2\text{н}}' = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1}, \quad (2.50)$$

індуктивний опір розсіювання обмотки статора:

$$X_{1\text{н}} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}}, \quad (2.51)$$

індуктивний опір контуру намагнічування:

$$X_\mu = \frac{\dot{A}_\mu}{2_0}, \quad (2.52)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення, що були отримані в результаті проведених розрахунків за допомогою програми Mathcad, зводимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри Т-подібної схеми заміщення

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2', \text{ Ом}$	$X_{\text{кн}}, \text{ Ом}$	$X_{1\text{н}}, \text{ Ом}$	$X_{2\text{н}}', \text{ Ом}$	$X_\mu, \text{ Ом}$
0,048	0,045	0,517	0,217	0,285	2,936

2.4 Побудова механічних характеристик двигуна

Відомо, що природну механічну характеристику асинхронного двигуна через отримані параметри схеми заміщення можна розрахувати за виразом [5]:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, \quad (2.53)$$

$$M(s) = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,045}{104,72 \cdot s \cdot \left[0,517^2 + \left(0,048 + \frac{0,045}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,045}{s \cdot 2,936} \right)^2 \right]}.$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1-s).$$

Номинальний електромагнітний момент електродвигуна:

$$M_{емн} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}, \quad (2.54)$$

$$M_{емн} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,045}{104,72 \cdot 0,016 \cdot \left[0,517^2 + \left(0,048 + \frac{0,045}{0,016} \right)^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,045}{0,016 \cdot 2,936} \right)^2 \right]} = 461,44 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Природна механічна характеристика двигуна наведена на рисунку 2.5.

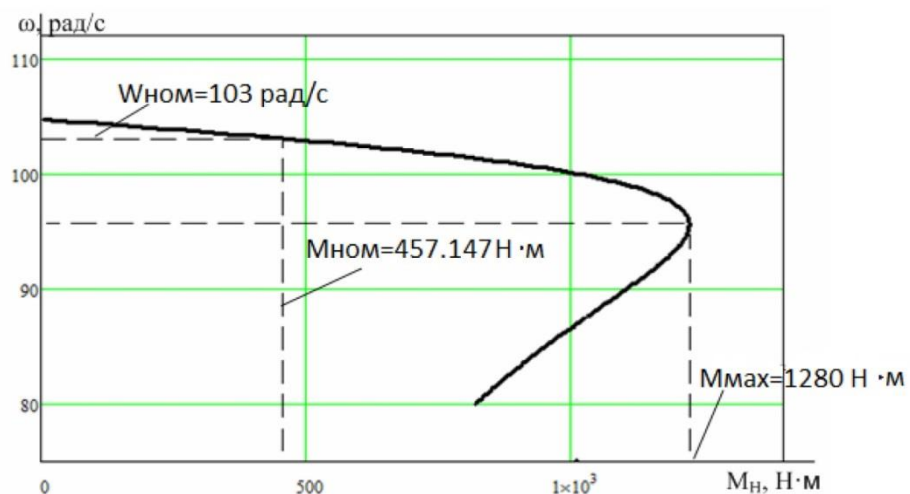


Рисунок 2.5 – Природна механічна характеристика двигуна

У відповідності з паспортними даними електродвигуна (табл. 2.1)

$$M_{\text{мін}} = m_{\text{м}} \cdot M_{\text{дан}}, \quad (2.55)$$

$$M_{\text{мін}} = 1 \cdot 457,147 = 457,147 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{макс}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дан}}, \quad (2.56)$$

$$M_{\text{макс}} = 2,8 \cdot 457,147 = 1280 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{п}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дан}}, \quad (2.57)$$

$$M_{\text{п}} = 2,2 \cdot 457,147 = 1006 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Природні електромеханічні характеристики $\omega(I_1)$ і $\omega(I_2)$ асинхронного двигуна розраховуються за виразами:

$$I_2(s) = \frac{U_{\text{Іфн}}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}}\right)^2}}, \quad (2.58)$$

$$I_2(s) = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,048 + \frac{0,045}{s}\right)^2 + 0,517^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,045}{s \cdot 2,936}\right)^2}}.$$

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2}, \quad (2.59)$$

$$I_1(s) = \sqrt{67,739^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot 67,739 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2},$$

$$I_0 = \frac{U_{\text{Іфн}}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{\text{Ін}} + X_{\mu})^2}}, \quad (2.60)$$

$$I_0 = \frac{220}{\sqrt{0,048^2 + (0,217 + 2,936)^2}} = 67,739 \text{ А}.$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1-s),$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}}, \quad (2.61)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{0,517}{\sqrt{\left(0,048 + \frac{0,045}{s}\right)^2 + 0,517^2}}$$

Природні електромеханічні характеристики двигуна ω (I_1) і ω (I_2) наведені на рисунку 2.6.

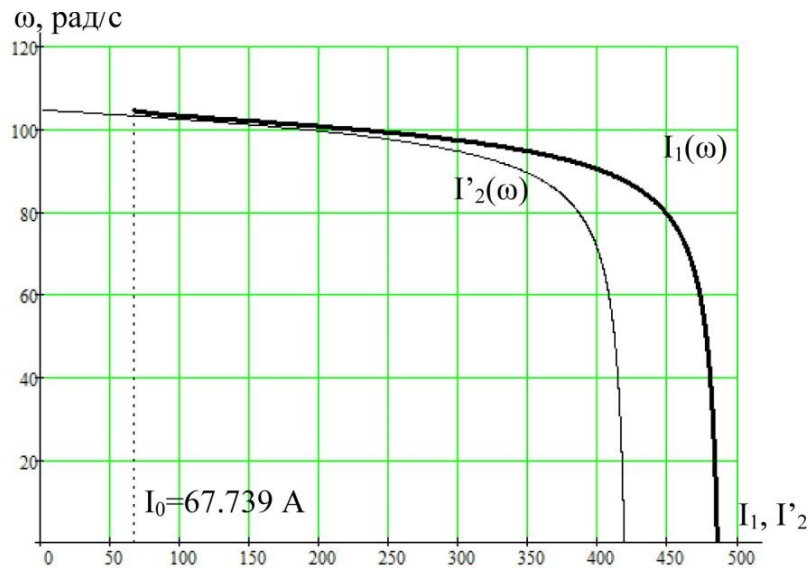


Рисунок 2.6 – Електромеханічні характеристики двигуна

З даних рисунків можна побачити, що характеристики двигуна на робочих ділянках досить добре відповідають його каталожними параметрам, це свідчить, що розраховані параметри схеми заміщення (табл. 2.2) можна використовувати для подальшого дослідження динамічних процесів у двигуні.

2.5 Механічна система електроприводу та її параметри

Розрахункова схема заміщення механічної системи електроприводу конвеєра може бути представлена у вигляді одномасової системи (рис. 2.7).

На схемі прийняті наступні позначення:

$M_{дв}$ – момент на валу електродвигуна;

M_c – момент навантаження з урахуванням втрат в механізмі, приведений до валу двигуна;

ω – кутова швидкість;

J_e – еквівалентний момент інерції приводу, наведений до валу двигуна.

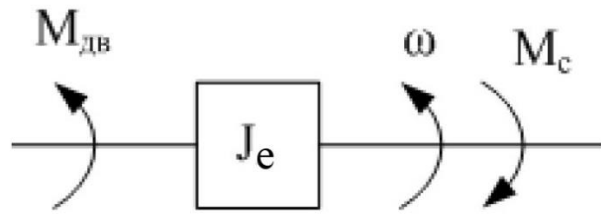


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема механічної системи приводу

Розраховуємо еквівалентний момент інерції навантаженого конвеєра:

$$J_e = (1,1 \div 1,3) \cdot J_{дв} + (m_{нав} + m_{л}) \cdot \left(\frac{V_{л}}{\omega_{дв}} \right), \quad (2.62)$$

$$J_e = 1,2 \cdot 1,2 + (4000 + 30200) \cdot \left(\frac{1,6}{98,462} \right) = 10,471 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Еквівалентний момент інерції порожнього конвеєра:

$$J_e = (1,1 \div 1,3) \cdot J_{дв} + m_{л} \cdot \left(\frac{V_{л}}{\omega_{дв}} \right)^2, \quad (2.63)$$

$$J_e = 1,2 \cdot 1,2 + 30200 \cdot \left(\frac{1,6}{98,462} \right)^2 = 9,4146 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2.6 Вибір перетворювача частоти

Для регулювання частоти обертання двигуна застосовують як методи скалярного керування, які є більш простими у реалізації, так і методи векторного керування, які складніші у реалізації, але дозволяють отримати більш високі якісні показники регулювання. Для електроприводу конвеєра маємо невисоки технічні вимоги, тому, в принципі, можна застосовувати розімкнуту систему зі скалярним керуванням, але при цьому потрібно перевірити, чи достатньої буде величина запасу по моменту не тільки в нижній, а і у верхній частині діапазону регулювання швидкості.

У відповідності до вищезазначених технічних вимог до електроприводу конвеєра було вирішено обрати перетворювач частоти типу ATV71HD55N4 компанії Schneider Electric (Франція), який характеризується гарними технічними, експлуатаційними та енергетичними характеристиками.

Технічні характеристики перетворювача наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики перетворювача частоти типу ATV71HD55N4

Найменування параметру	Од. виміру	Значення
Потужність	кВт	55
	к.с.	75
Лінійний струм (при 380 В)	А	120
Повна потужність (при 380 В)	кВА	79
Мах лінійний струм в режимі к.з.	кА	22
Мах струм в уст. режимі (при 380 В)	А	116
Мах перехідний струм протягом 60 с.	А	174
	А	191
Діапазон регулювання швидкості		1:40- скалярне управління 1:100- векторне розімкнуте управління
Частота комутації	кГц	2,5
Захисне виконання		IP20
Маса	кг	44
Рівень шуму	дБА	63,7

2.7 Розрахунок характеристик системи ПЧ–АД

Навантаження електроприводу конвеєра є постійним за значенням в технологічному циклі, тому регулювання швидкості вниз від основної

(номінальної) швидкості двигуна $n_{\text{рном}} = 1000$ об/хв до мінімальної робочої швидкості $n_{\text{рмін}} = 500$ об/хв здійснюється при реалізації закону управління $U_1 / f_1 = \text{const}$.

Механічні характеристики двигуна $\omega = f(M)$ при змінних значеннях частоти і напруги живлення розраховуються за виразами [5] :

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} \quad (2.64)$$

$$= \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot 0,045}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \left[0,517^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,048 + \frac{0,045}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,045}{s \cdot 2,936 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]}$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1-s),$$

$$U_1(f_1) = U_{1\phi} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \quad \text{при } f_1 < f_{1H},$$

де f_{1H} - номінальна частота.

За результатами розрахунку побудовано сімейство механічних характеристик (рис. 2.8).

На рисунку 2.8 наведено механічні характеристики системи перетворювач-двигун після налаштування вольт-частотної характеристики. Тут же показані характеристики навантаження $M_{\text{смакс}}(\omega)$ і $M_{\text{епмакс}}(\omega)$ і залежність тривало допустимого моменту двигуна $M_{\text{дв.трив. доп}}(\omega)$.

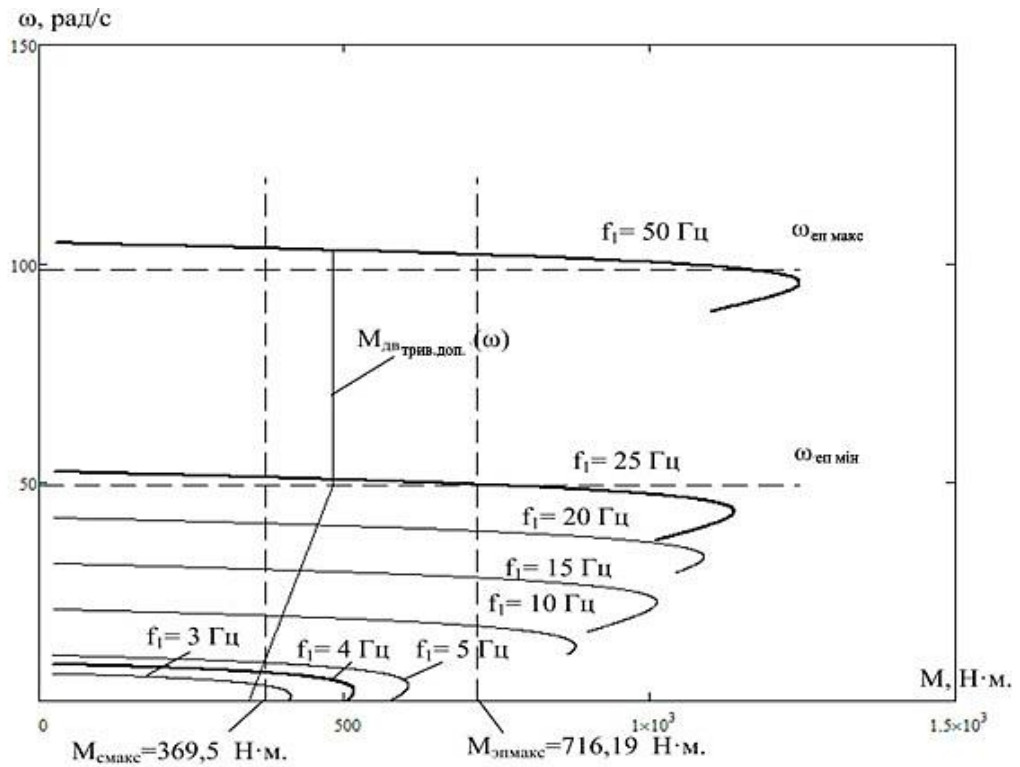


Рисунок 2.8 – Механічні характеристики $\omega(M)$ системи перетворювач-двигун при скалярному управлінні і законі регулювання $U_1/f_1 = \text{const}$

Електромеханічні характеристики двигуна $\omega(I_1)$ при змінних значеннях частоти і напруги живлення розраховуються за виразами:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0(f_1)^2 + I_2'(s, f_1)^2 + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}, \quad (2.65)$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}}}\right)}} = \quad (2.66)$$

$$= \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,048 + \frac{0,045}{s}\right)^2 + 0,517^2 \cdot \left(\frac{f_2}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,048 \cdot 0,045}{s \cdot 2,936 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)}},$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{0,517 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,048 + \frac{0,045}{s}\right)^2 + 0,517^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}},$$
(2.67)

$$I_0(f_1) = \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (x_{1H} + x_{\mu})^2 \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{U_{1\phi}(f_1)}{\sqrt{0,048^2 + (0,217 + 2,936)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2}},$$
(2.68)

За результатами розрахунків побудовано сімейство електромеханічних характеристик $\omega(I_1)$ (рис. 2.9).

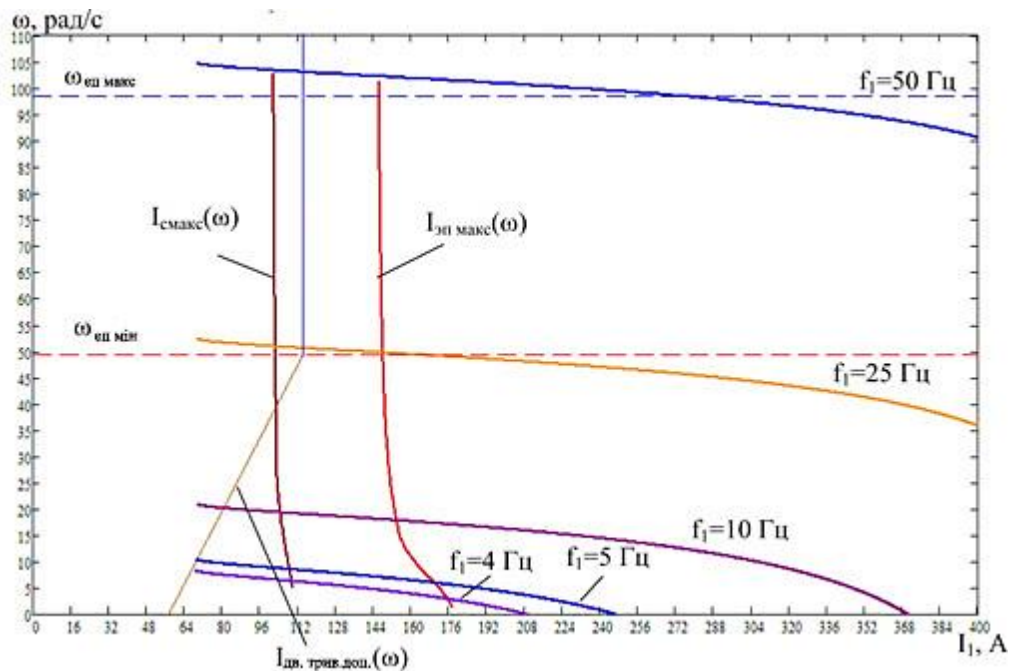


Рисунок 2.9 – Електромеханічні характеристики $\omega(I_1)$ системи ПЧ-Д при скалярному управлінні і законі керування $U_1 / f_1 = \text{const}$.

На рисунку 2.8 приведена відповідна залежність тривало-допустимого моменту двигуна, $M_{п\text{ дв.трив.}}(\omega)$. Для її побудови для ряду значень частоти в інтервалі $f_1 = f_{\text{мін}} + f_{\text{макс}}$ знайдено спільне чисельне рішення щодо ковзання s рівнянь електромеханічної характеристики двигуна і характеристики тривало-допустимого струму двигуна:

$$I_{\text{дв.трив.п.}}(s) = I_{\text{дв.п.}} \left(0,5 + \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot \frac{1-s}{1-s_n} \right) \text{ при } f_1 \leq 25 \cdot \text{Гц}, \quad (2.69)$$

$$I_{\text{дв.трив.п.}}(s) = I_{\text{дв.п.}} \text{ при } f_1 > 25 \cdot \text{Гц}, \quad (2.70)$$

Для знайдених значень ковзання s розраховані відповідні значення тривало допустимого моменту двигуна $M_{\text{дв трив доп}}(\omega)$. Також на рисунку 2.8 приведені характеристики повного моменту навантаження:

$$M_{\text{смакс}}(\omega) = M_{\text{сдв}} \cdot M_{\text{с}}, \quad (2.71)$$

$$M_{\text{смакс}}(\omega) = 346,667 \cdot 22,857 = 369,524 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент від сил тертя двигуна і максимального моменту навантаження:

$$\Delta M_{\text{сдв}} = (0,05 \div 0,1) \cdot M_{\text{двн}}, \quad (2.72)$$

$$\Delta M_{\text{сдв}} = (0,05 \div 0,1) \cdot 346,667 = 22,857 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{епмакс}}(\omega) = k_{\text{епм}} \cdot M_{\text{смакс}}(\omega), \quad (2.73)$$

$$M_{\text{епмакс}}(\omega) = (1,9 \div 2) \cdot 369,524 = 716,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунку 2.9 приведені електромеханічні характеристики $\omega(1_1)$ при реалізації залежності $U_1(f_1)$, характеристики статичного струму навантаження $I_{\text{смакс}}(\omega)$ і $I_{\text{епмакс}}(\omega)$ і перетворювача частоти. Додатково тут побудована характеристика тривало-допустимого струму двигуна $I_{\text{дв.трив}}(\omega)$.

Висновок. Аналіз приведених на рисунках 2.8 і 2.9 характеристик показує, що реалізація розімкнутої системи скалярного керування при налаштуванні вольт-частотної характеристики перетворювача для даної конвеєрної лінії дозволяє забезпечити заданий діапазон регулювання швидкості (від $\omega_{\text{рмін}} = 49,23$ рад/с до $\omega_{\text{рмакс}} = 98,46$ рад/с) при необхідній кратності пускового і максимального моменту ($k_{\text{пеп}} = 2$, $k_{\text{меп}} = 2$).

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ САК

3.1 Функціональна схема електроприводу конвеєра

Розглянемо попередньо запропоновану функціональну схему частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі скалярним керуванням для конвеєрної лінії судонавантажувальної машини (рис. 3.1).

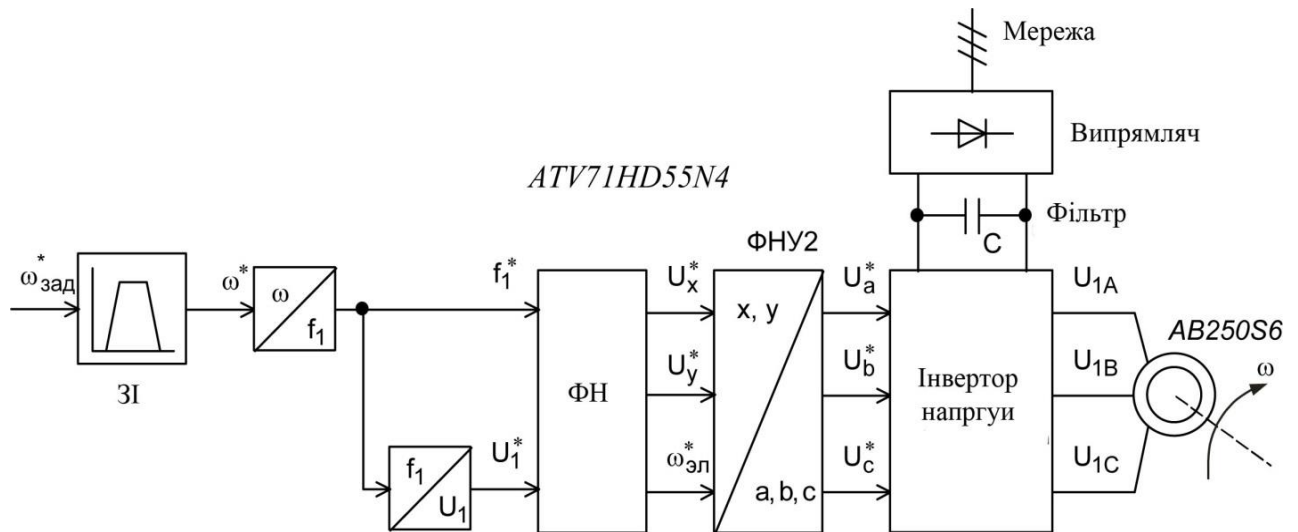


Рисунок 3.1 – Функціональна схема електроприводу конвеєрної лінії зі скалярним керуванням

Вона складається з вхідного задатчика інтенсивності (ЗІ), обраного перетворювача частоти ATV71HD55N4, інвертора напруги з випрямлячем та асинхронного двигуна, що було обрано.

На схемі маємо 3 впливні величини:

- дві напруги U_x і U_y , величини яких рівні фазним напругам двигуна, їх визначають по залежності, що обрано U_1, f_1 ;
- величини кутової частоти обертання поля статора $\omega_{\text{эл}}$.

3.2 Моделювання електропривода конвеєра

3.2.1 Моделювання асинхронного електродвигуна

В кваліфікаційній роботі була використана методика імітаційного моделювання, яка здатна досліджувати процеси в системах регульованого

електропривода. В якості засобу для моделювання використовувався програмний пакет MATLAB [12].

На підставі функціональної схеми рисунку 3.1 було розроблено імітаційну модель для двофазного асинхронного електродвигуна при реактивному навантаженні в системі координат x, y . Ця модель в подальшому буде використовуватися як блок – Асинхронний двигун (рис. 3.2).

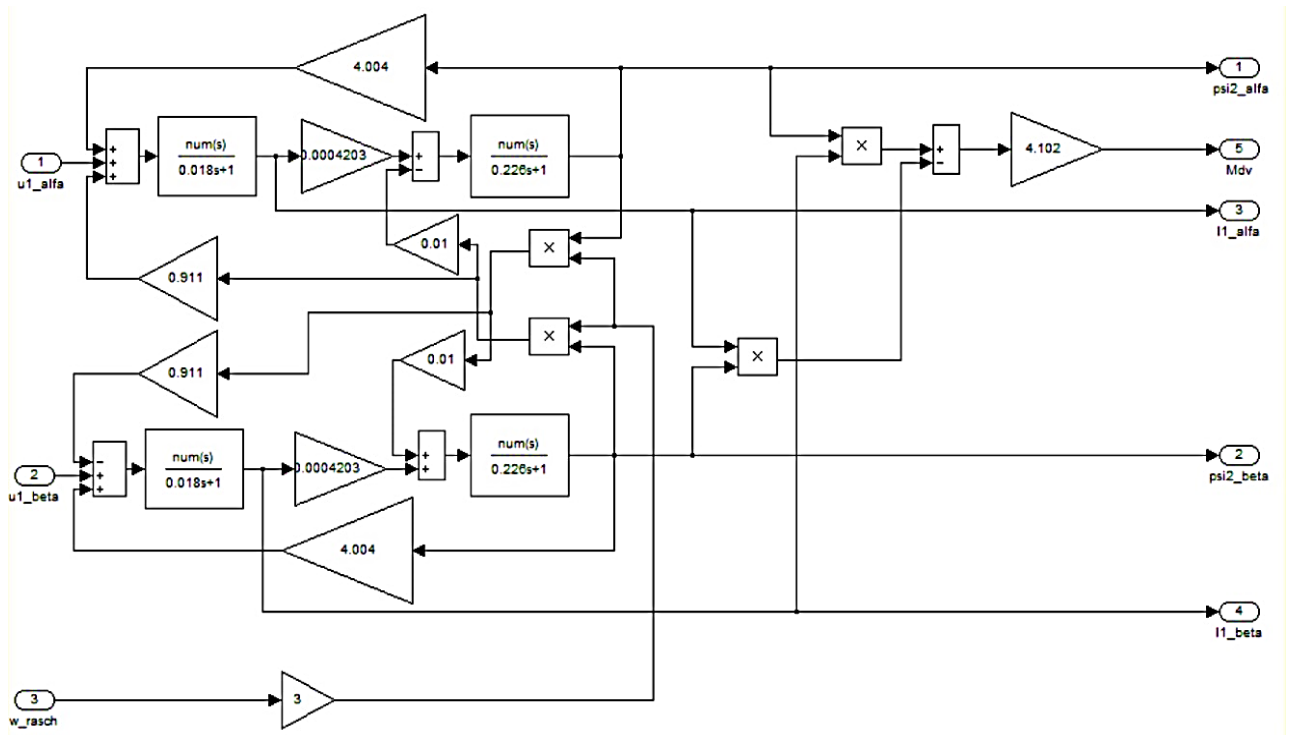


Рисунок 3.2 – Схема моделі двофазного асинхронного електродвигуна

3.2.2 Моделювання силового кола електропривода конвеєра

На рисунку 3.3 показана розроблена схема блоків моделі силового кола електроприводу конвеєра з двофазним асинхронним двигуном.

На схемі маємо такі блоки - Двигун (асинхронний електродвигун, що обрано) ПЧ – блок перетворювача частоти, ЗІ - датчик інтенсивності швидкості.

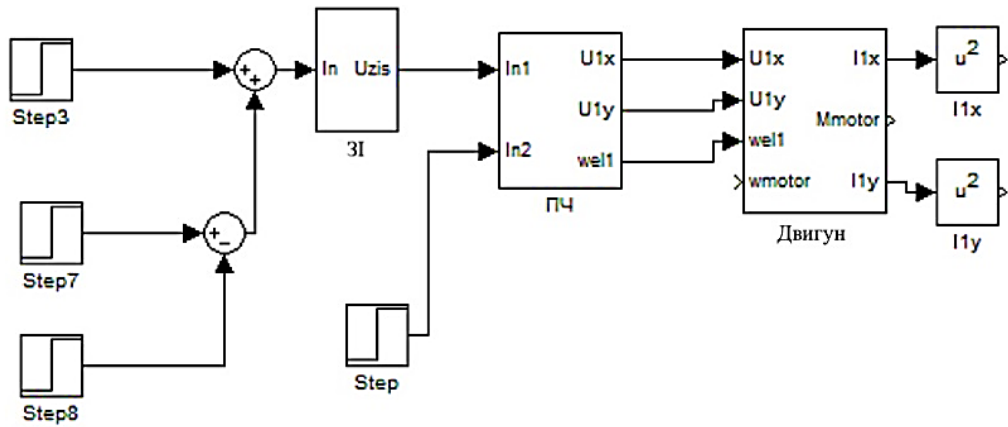


Рисунок 3.3 – Схема моделі силового кола електроприводу конвеєра

Схема моделі ПЧ приведена на рисунку 3.4.

При налаштуванні блоку перетворювача частоти були прийняті такі параметри:

$$x_1 = 0, 5, 30, 50, 100; \quad x_2 = 5.5, 27.5, 132, 220.$$

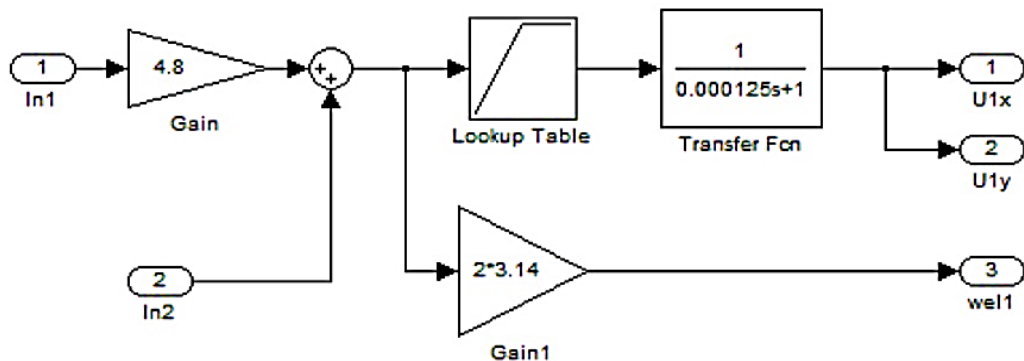


Рисунок 3.4 – Схема моделі перетворювача частоти

3.2.3 Моделювання задатчика інтенсивності ЗІ

Для обмеження моменту двигуна при його пуску в розімкнених системах електроприводу використовують задатчики інтенсивності (ЗІ) швидкості, які встановлюють на вході схеми управління електроприводом [13]. Використаний лінійний задатчик для швидкості здатний забезпечувати зростання (або падіння при режимі гальмування) швидкості, тобто постійне прискорення (чи уповільнення) приводу, яке досягається за рахунок утримання незмінної величини динамічного моменту цього приводу.

В дані бакалаврські роботі було вирішено використовувати ЗІ з S-образною характеристикою (рис. 3.5) і параметрами:

$$r_1 = 0,5\text{c}; t_2 = 3\text{c}; T_{i1} = t_1 = 0,5\text{c}; T_{i2} = t_1 + t_2 = 0,5 + 3 = 3,5\text{c};$$

$$k = 0,05 \cdot \frac{t_1}{r_1 + t_2} = 0,05 \cdot \frac{0,5}{0,5 + 3} = 0,0071\text{c}.$$

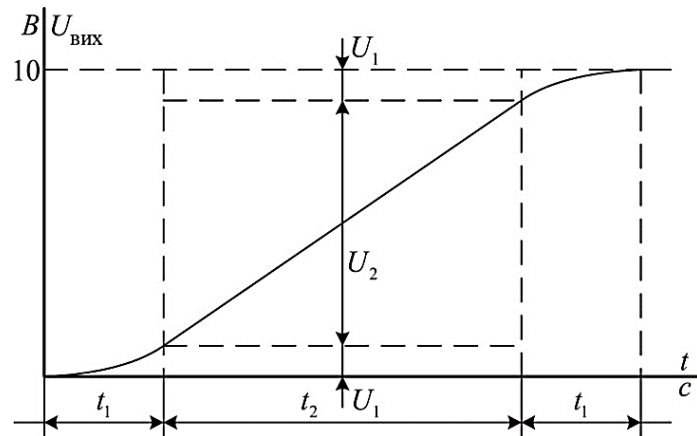


Рисунок 3.5 – S-подібна характеристика ЗІ по швидкості

Схема імітаційної моделі задатчика ЗІ по швидкості з S-образною характеристикою приведена на рисунку 3.6.

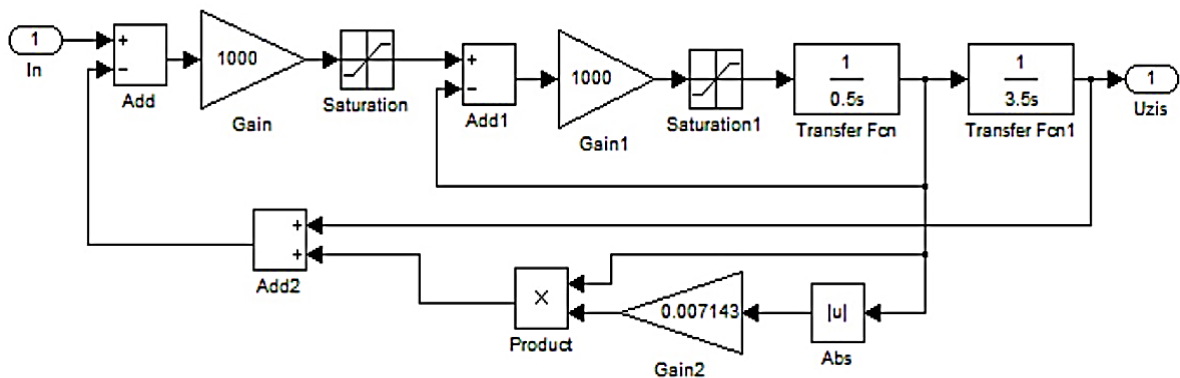


Рисунок 3.6 – Схема моделі задатчика інтенсивності швидкості

Модель усього приводу з частотним регулюванням конвеєрної лінії із ЗІ по швидкості представлена на рисунку 3.7 . Також ту показаний Блок Навантаження та Блок – Інерційна маса.

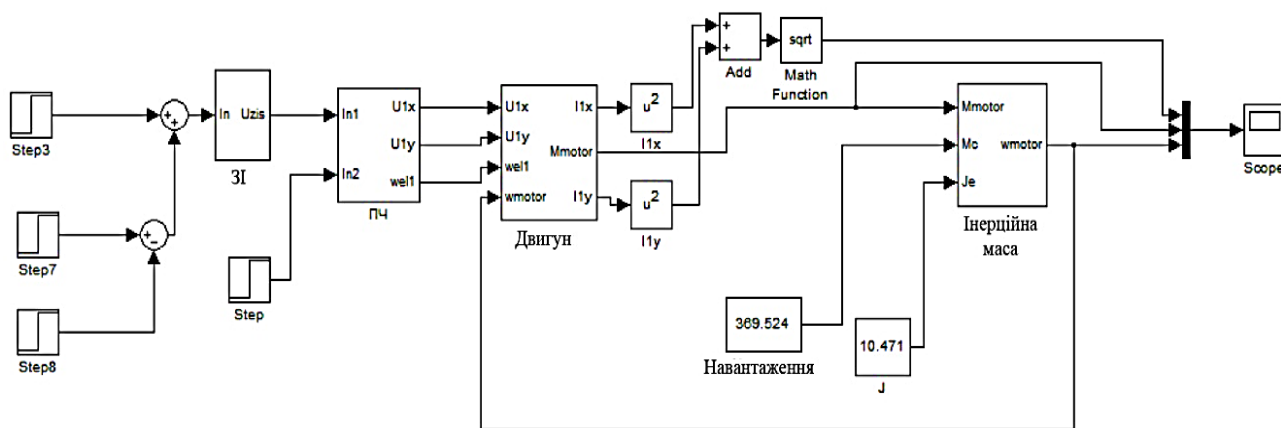


Рисунок 3.7 – Моделювання електроприводу конвеєра з частотним керуванням

Тут блок «Інерційна маса» являє собою стандартну модель одномасової механічної системи, в якій момент навантаження має реактивний характер.

3.3 Дослідження величин струму і моменту в приводі при використанні скалярного керування

На вході приводу встановлюють Задавачі по швидкості, вони і визначають як буде змінюватися швидкість двигуна при пуску та гальмуванні, при цьому відбувається обмеження першої похідної по швидкості (режим для прискорення) – тоді варто використати задавач з лінійною характеристикою виходу, а також по другій похідній по швидкості (режим для ривка). В цьому випадку використовують задатчик з S-подібною характеристикою виходу.

При відпрацюванні потрібної траєкторії руху в режимах пуску й гальмування електропривода необхідно обмежувати величини динамічних моментів та струмів електродвигуна, а при використанні S-образної характеристики задатчика – також треба обмежити додатково і швидкість, з якою ці величини змінюються. Однак, відомо, що реальні величини моментів на валу двигуна і його струму будуть визначатися також значенням статичних моментів та характером реальних навантажень [6].

Великі значення статичного моменту механізму конвеєра, які виникають при великих перевантаженнях і при можливому стопорінні

електродвигуна, можуть характеризувати аварійні режими механізмів конвеєра, але можуть виникати і в робочих режимах технологічного процесу транспортування зернових сумішей. Тоді потрібно швидко обмежити максимальний струм електродвигуна до спрацювання захисних елементів.

3.4 Обмеження струму двигуна при можливих великих перевантаженнях

При виконанні умови $I_{1\phi} > I_{\text{сп.дод}}$ в роботу повинен вступити регулятор, що здійснюватиме обмеження величини струму.

Такого обмеження величини для струму досягають шляхом зменшення частоти напруги живлення двигуна (відповідно до вольт-частотної характеристики), або можна тільки зменшувати напругу. При цьому таке обмеження величини струму можна проводити і у першій, і у другій зонах для регулювання швидкості.

При перевищенні величини допустимого моменту приводу можна ввести в схему керування слабкий негативний зв'язок по лінії управління напругою на двигуні. Це призведе до зменшення моменту. А при зменшенні моменту понад припустимої межі треба ввести в схему слабкий позитивний зв'язок по тій же лінії управління. При цьому потрібно, щоб по каналу управління частотою інвертора цей зворотній зв'язок мав постійне налаштування в усьому діапазоні регулювання.

Для проведення оптимізації контуру обмеження струму потрібно визначити передавальну функцію системи «ПЧ-АД» по каналу управління для напруги.

$$W_{\text{пч-ад}}(p) = \frac{\Delta I_{1\phi}(p)}{\Delta U_1(p)}, \quad (3.1)$$

Так як визначити точні значення передавальної функції по структурних схемах силового каналу приводу доволі важко через їх складності, то систему «ПЧ-АД» в контурі для струмового обмеження можна описувати і спрощеною

передавальною функцією (при цьому нехтують впливом відносно повільно протікаючих механічних процесів в приводі конвеєрної лінії) :

$$W_{\text{пч-ад}}(p) = \frac{k_{\text{ін}}}{(T_{\text{н}} \cdot p + 1) \cdot (T_{\text{е}} \cdot p + 1)}, \quad (3.2)$$

де $k_{\text{ін}}$ – коефіцієнт передачі ланки по каналу управління напругою.

3.5 Оптимізація контуру для обмеження струму двигуна

Розглянемо структурну схему для контуру обмеження струму (рис. 3.8). У колії прямого каналу контуру розміщуються дві інерційні ланки першого порядку. У колії зворотного зв'язку також розміщена інерційна ланка, котру можна визначити через час перетворення при обчисленні діючого значення фазного струму статора.

Контур налаштовуємо на МО (модульний оптимум), тут використовуємо ПІ-регулятор.

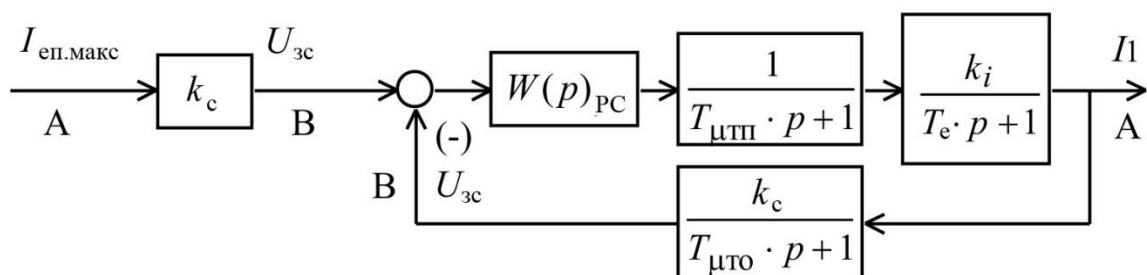


Рисунок 3.8 – Вигляд структурної схеми контуру струму

На рисунку прийняті наступні позначення:

$I_{\text{еп.макс}} = 200\text{А}$ – максимально-припустимий струм приводу;

$U_{\text{зс}} = 8\text{В}$ – величина напруги завдання на струм;

$T_{\text{цтп}} = 1/f_{\text{шим}} = 1/2500 = 0,0004\text{ с}$ – величина постійної часу в прямому каналі;

$T_{\text{цто}} = T_{\text{ст}} / 3 = 0,0012 / 3 = 0,0004\text{ с}$ – величина постійної часу кола зворотного

зв'язку за струмом;

$T_e = 1 / f_{\text{ШИМ}} \cdot n_T = 1 / 2500 \cdot 3 = 0,0012 \text{ с}$ – інтервал перетворення результатів вимірювання струму;

$$k_T = \frac{U_{\text{ст.макс}}}{I_{\text{ст.макс}}} = \frac{8}{200} = 0,04 \text{ В/А} - \text{коєфіцієнт для зворотного зв'язку за}$$

струмом.

Передавальна функція для ПІ-регулятора струму:

$$W_{\text{pc}}(p) = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} \cdot p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}, \quad (3.3)$$

Маємо коєфіцієнт підсилення для регулятора струму:

$$k_{\text{pc}} = \frac{T_e}{k_{\text{iu}} \cdot k_T \cdot a_T \cdot (T_{\text{мпп}} + T_{\text{мто}})}, \quad (3.4)$$

де a_T – величина коєфіцієнту для оптимізації контуру струму при налаштуванні на МО;

$T_{\text{pc}} = T_e = 0,018 \text{ с}$ – постійна часу для регулятора.

Тоді можна розрахувати величину цього коєфіцієнту:

$$k_{\text{рв}} = \frac{0,018}{11,689 \cdot 0,04 \cdot 2 \cdot (0,0004 + 0,0004)} 18,959.$$

Якщо зовнішні збурення не змінюють швидкість обертання двигуна, то перехідні процеси, що виникають в струмовому контурі, будуть близькими до очікуваних параметрів. А якщо швидкість двигуна почне істотно змінюватися, то в струмовому контурі з'явиться статична помилка по збуренню, а її величина залежатиме від похідної по швидкості. Шляхом моделювання можна підбирати таку величину коєфіцієнту струмового підсилення, щоб величина помилки зменшувалася.

3.6 Реалізація обмеження струму в приводі зі скалярним керуванням

При значних перевантаженнях необхідно обмежувати струм в електроприводі (при скалярному керуванні ним). Цього можна досягти,

провівши оптимізацію контуру для регулювання струму двигуна. Треба враховувати, що обмеження струму при інверторному управлінні двигуном можливо лише у 1 зоні для регулювання його швидкості

Функціональна схема для роботи електроприводу з обмеженням струму по каналу управління напругою інвертора при роботі двигуна в зоні малих швидкостей обертання і обмеженням струму при значних перевантаженнях приведена на рисунку 3.9. Робота даної схеми не залежить від системи координат, в якій представлений двофазний двигун. Тут використаний негативний зворотній зв'язок у статорному струмовому колі.

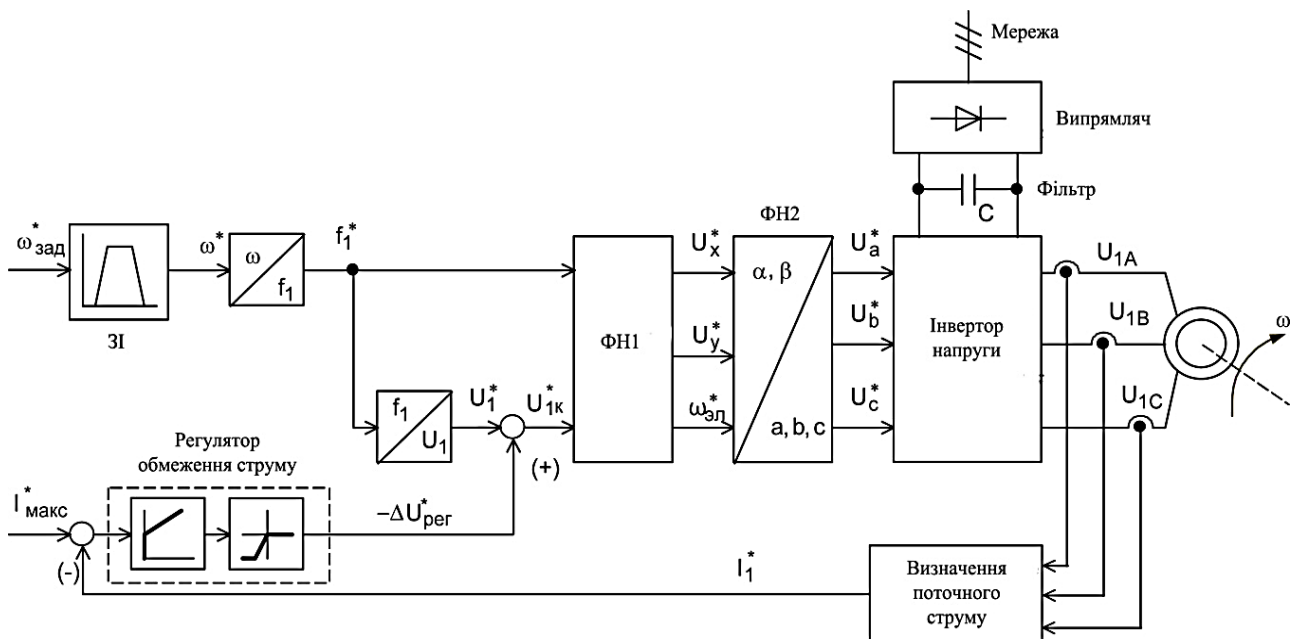


Рисунок 3.9 – Функціональна схема електроприводу з обмеженням струму

При роботі по такій схемі відбувається надійне обмеження струму у випадках перевантаження, а при дуже малій величині моменту на валу – двигун буде швидко стопориться.

3.7 Дослідження роботи модернізованого електроприводу конвеєра

Нам необхідно дослідити роботу електропривода конвеєрної лінії суднозавантажувальної машини в основних режимах його роботи, тобто про пускові на найменшу та найбільшу швидкості; а також при стрімкому збільшенні та зменшенні навантаження [13]. Для цього було проведене

моделювання електроприводу за наявності у схемі задатчика інтенсивності швидкості як без вантажу (рис. 3.10), так і з вантажем (рис. 3.12).

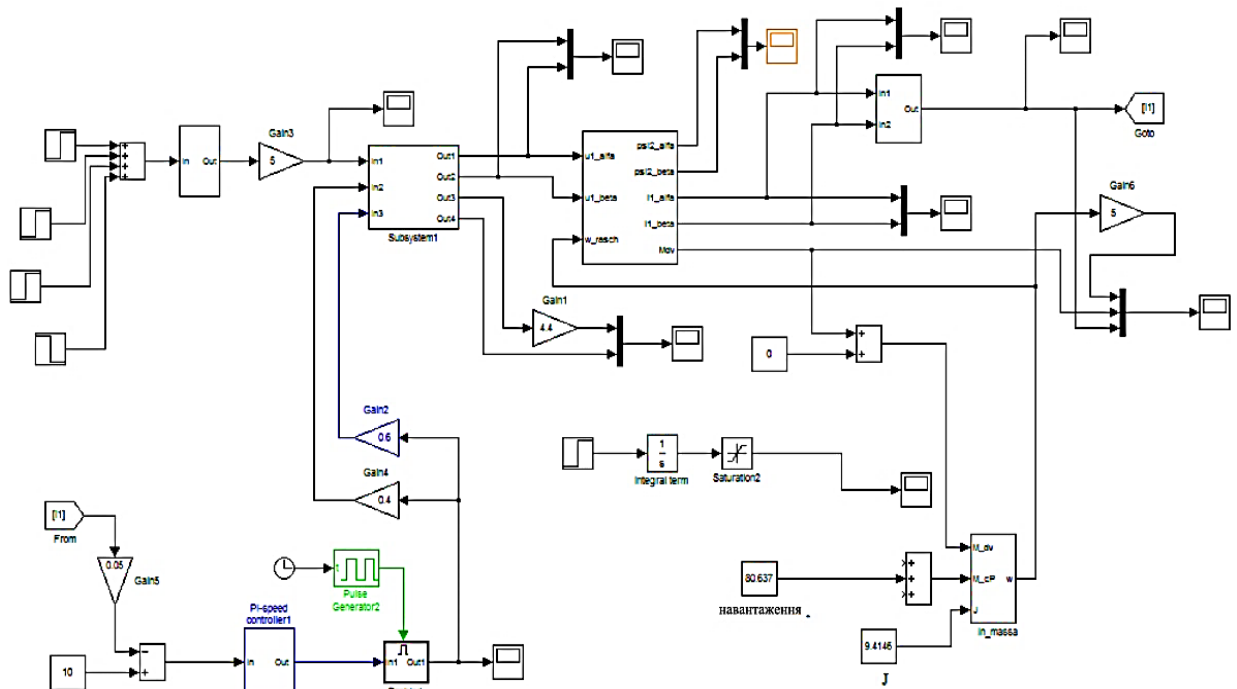


Рисунок 3.10 – Модель частотно-регульованого електроприводу конвеєра без вантажу

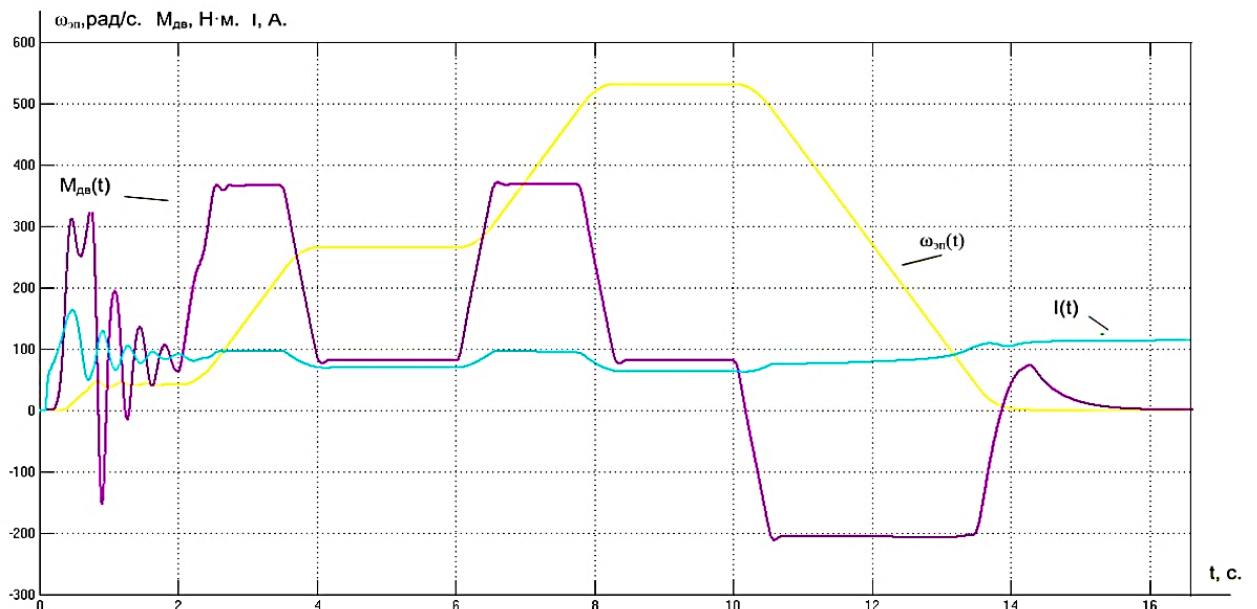


Рисунок 3.11 – Характеристики роботи електроприводу конвеєра без вантажу

Результати досліджень, які були отримані (рис. 3.11 та рис. 3.13), підтвердили здатність модернізованого електроприводу конвеєрної лінії

забезпечувати технічні вимоги по всьому перепаду зміни швидкості і по перевантажувальній здатності як без вантажу, так і за наявності вантажу.

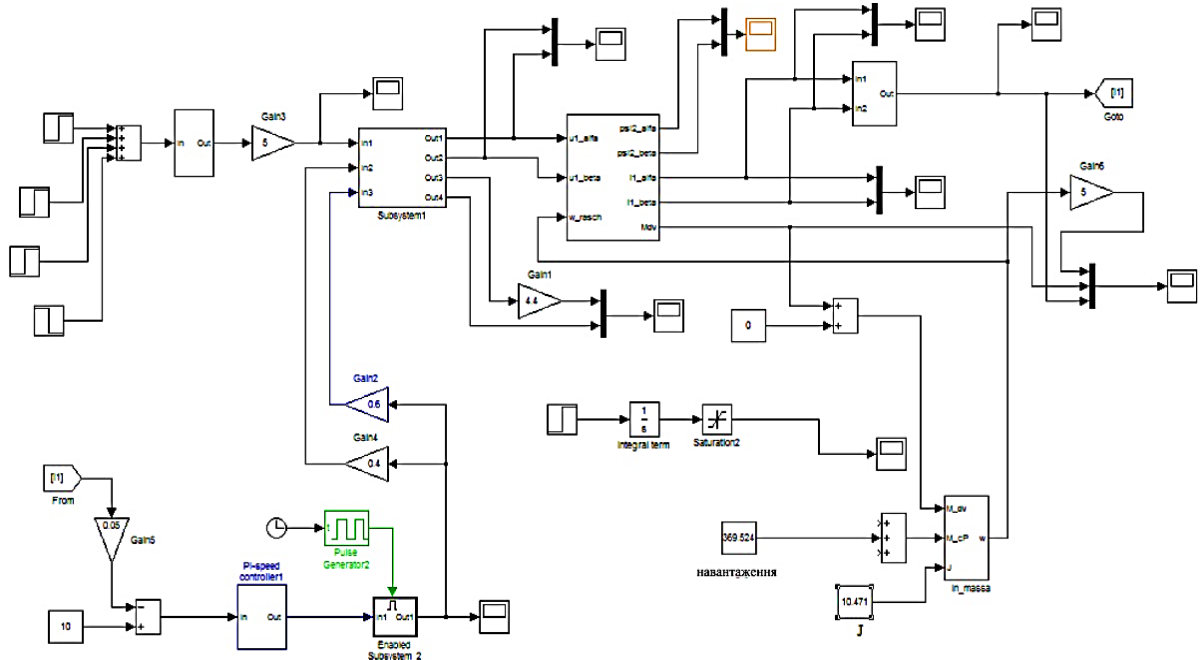


Рисунок 3.12 – Блокова схема моделі регульованого приводу конвеєра з вантажем

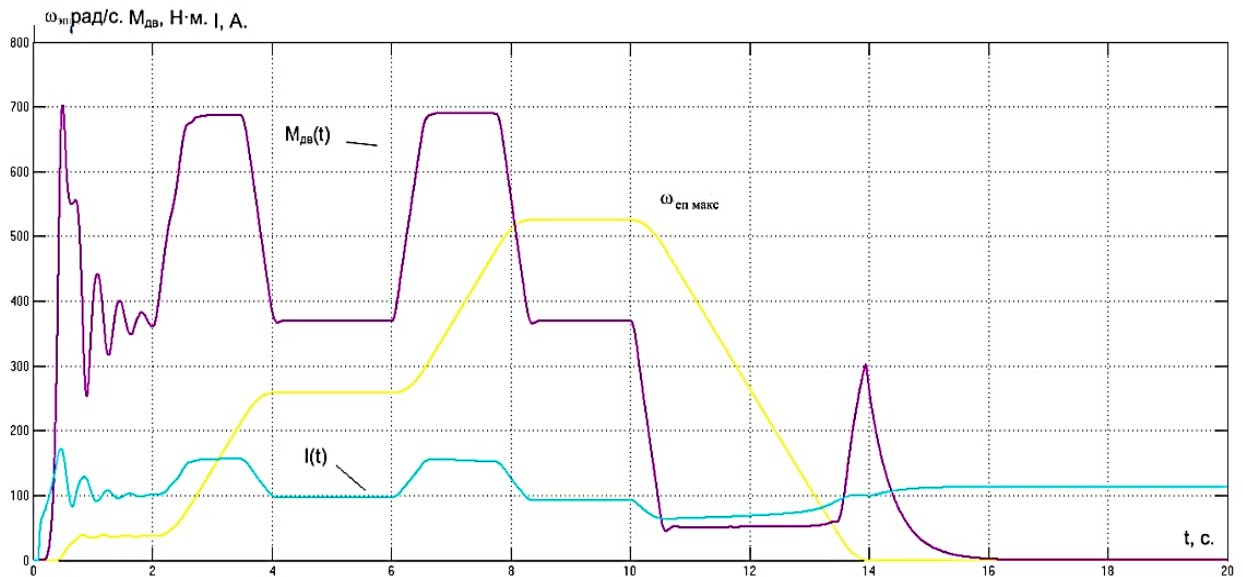


Рисунок 3.13 – Часові діаграми при роботі приводу конвеєра з вантажем

Були досліджені зміна моменту $M(t)$, швидкості $\omega(t)$, та струму двигуна конвеєра $I(t)$. Далі розглянемо роботу електроприводу конвеєрної лінії з обмеженням струму.

Модель електропривода для даного режиму (рис. 3.14) розроблена з врахуванням вищеописаної моделі двигуна при його обертанні зі швидкістю $\omega(t)$ у системі координат x, y .

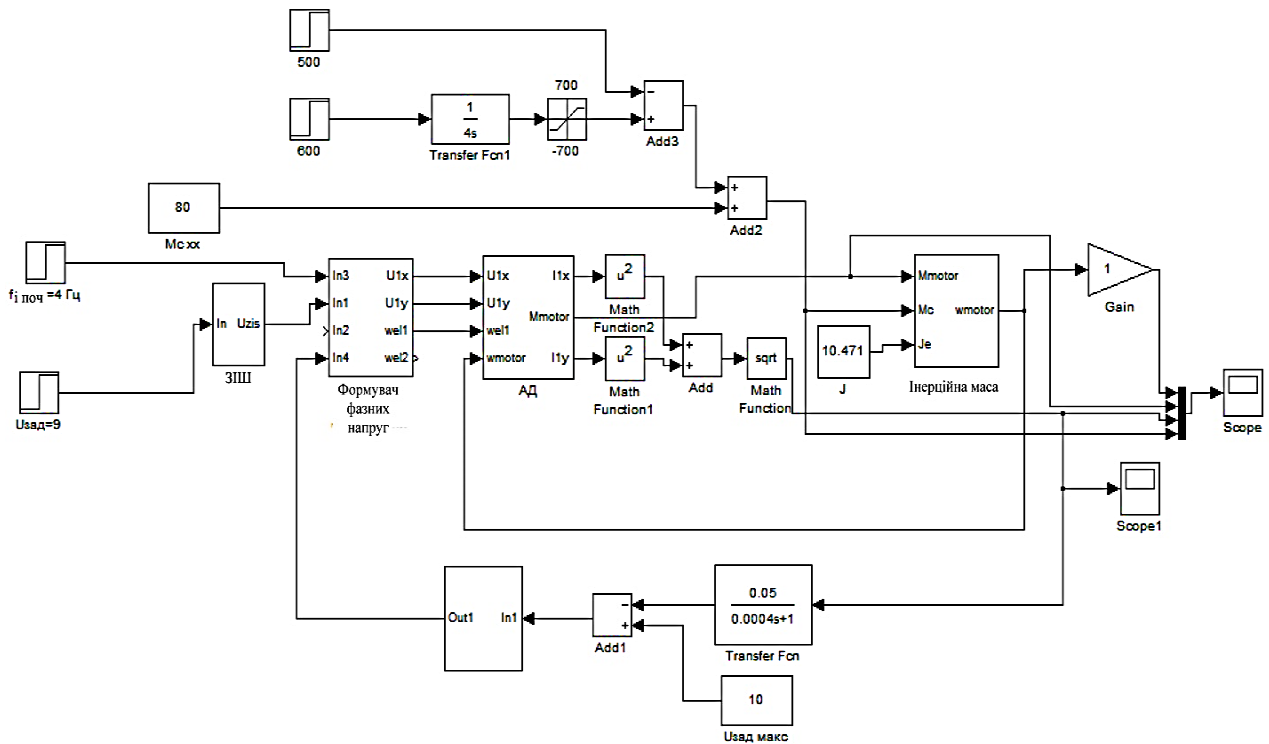


Рисунок 3.14 – Блокова схема моделі привода зі струмовим обмеженням

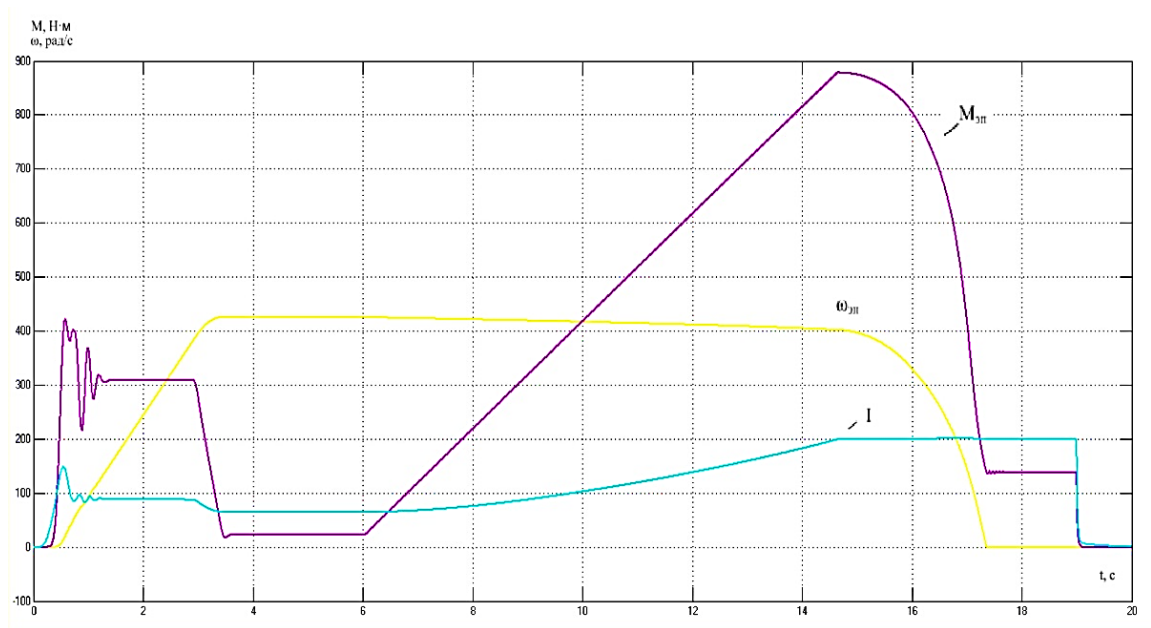


Рисунок 3.15 – Графіки перехідних процесів $I_1(t)$, $\omega(t)$, $M_{дв}(t)$ в режимі перевантаження двигуна

На рисунку 3.15 приведені графіки перехідних процесів основних параметрів $I_1(t)$, $\omega(t)$, $M_{дв}(t)$.

Тут можна побачити, що за наявності перевантаження в аварійному режимі, буде спрацьовувати режим струмообмеження, при цьому буде відбуватися обмеження струму відповідно до заданого рівня ($I_{зад} = 200 \text{ A}$), також буде обмежений і момент.

При подальшому перевантаженні конвеєрної лінії відповідними схеми захисту електропривод вимикається від живлення. Коли перевантаження зникає, системи автоматики знов запускають роботу приводу.

Проведені дослідження показали, що даний модернізований електропривод конвеєрної лінії суднозавантажувальної машини типу СПМ–МП повністю відповідає поставленим задачам як з точки зору плавності його роботи, так і необхідному діапазону швидкості.

ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи бакалавра є модернізація електроприводу конвеєрної лінії судонавантажувальної машини типу СПМ–МП. Запропоновано замінити існуючий застарілий привод на сучасний частотно-регульований асинхронний електропривод.

В результаті проведених розрахунків був обраний сучасний двигун необхідної потужності типу AIP 250S6, а також перетворювач частоти типу ATV 71HD55N4 від французької фірми Schneider Electric. Проведені дослідження показали, що модернізований електропривод конвеєрної лінії виконаний відповідно до вимог завдання, він здатний забезпечити потрібний діапазон регулювання швидкості. В роботі рекомендоване, як треба проводити роботи по налаштуванню частотної характеристики перетворювача, а також рекомендовані операції по налагодженню датчика інтенсивності для забезпечення необхідної плавності перехідних процесів і зменшення часу регулювання.

Можна визначити основні результати при заміні нерегульованого електроприводу конвеєра на базі ДПС на сучасний регульований електропривод на базі АД:

- можливість плавного пуску конвеєрної лінії при різних навантаженнях як для механічної, так і для електричної частин приводу і зменшеним впливом на загальну мережу живлення;
- розроблена система управління конвеєрною лінією дозволить робити регулювання швидкості плавним;
- обраний перетворювачі частоти доволі легко можна інтегрувати в загальну систему управління в якості низового інтелектуального елемента автоматики. При цьому не потрібні складні узгоджувальні схеми, таким чином зменшуються витрати на обслуговування та ремонт даної конвеєрної лінії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Одеський морський торговельний порт. – Режим доступу: <https://omtp.com.ua/ua#>
2. Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 152 с.
3. Суднозавантажувальні машини. – Режим доступу: <https://www.mhm-ukraine.com/produktsiya/tekhnika-dlya-perevalki-zernovykh/sudopogruzochnye-mashiny>
4. Павленко Т.П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т.П. Павленко, О.В. Донець, О.М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 132с.
5. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
6. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
7. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник / В. С. Бондарєв та ін. Київ: Вища шк., 2009. 734 с.
8. Пасіка В. Р., Малащенко В. О., Коруняк П. С. Пропозиції до проектування стрічкових конвеєрів з розширеними функціональними можливостями. Підйомно-транспортна техніка. 2020. No 1. С. 61–66.

9. Коруняк П., Баранович С., Ковальчук Т. Шляхи вдосконалення конструкцій стрічкових конвеєрів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2014. № 18. С. 245–250.
10. Каталог електродвигунів серії АІР. – Режим доступу: https://air.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/
11. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
12. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
13. Farhan A.S Ayman A.Aly.El. Fundamentals of Automatic Control: Theory and Application. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 616 p.
14. Bavafa-Toosi Y. Introduction to Linear Control Systems – Academic Press, 2017. — 929 p. — ISBN 978-0-12-812748-3.
15. Шефер О.В., Єрмілова Н.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності G3 «Електрична інженерія» (141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»). – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. – 18 с.

ДОДАТКИ

1 ANALYTICAL PART

1.1 Characteristics of the Odessa port terminal

The Odessa Port is one of the largest terminals of the Black Sea-Azov basin. It transfers many types of different cargoes - containers of all types and sizes, oil and different types of petroleum products, vegetable and technical oils, grain, raw sugar, metals and more [1].

The port infrastructure consists of eight reloading complexes for the processing of dry cargoes, one passenger complex, oil and two container terminals. There are also complexes for transshipment of vegetable and technical oils, specialized jackets for receiving ships, transshipment of grain cargoes. There is a free (special) economic zone "Porto -Franco" on the territory of the quarantine. The port is equipped with a developed transport infrastructure that allows you to send all the necessary cargoes to terminals by rail, cars, as well as river and sea transport.

1.2 Analysis of the technological process of the Overload point on the pier

Consider the processes of transportation and overload of mineral values, which are the most complex bulk cargoes, which change their properties under the influence of moisture, prone to dust when overload and therefore require a covered way of storage, transportation and overload [2]. Special horses are used for their transportation.

The construction of the wagon allows the loading work in a mechanized way through four loading hatches, which provide uniform loading of the body from one installation. At the bottom of the body on both sides of the wagon are two unloading hatches. The mechanism of unloading with a pneumatic actuator provides both paired opening and closing of hatches, and simultaneous - all four. A special locking device prevents the opening of the discharge hatch lids both in the route and parking.

The storage of mineral fertilizers is carried out in a sealed covered composition, and overload - by sealed conveyor trails using dusting systems and localization of dust distribution systems. A special locking device prevents the opening of the discharge hatch lids both in the route and parking.

Powls are sawed when moving from rest to a state of sprinkling, changing their porosity. In this case, the increase in the steam space determines the suction of the air, and the decrease in laying leads to the release of air with simultaneous capture of dust -shaped fractions. Given this feature, it is necessary to use closed - type localization systems.

Dust attraction for loading vessels of the cone system-waistline is extinguished by the kinetic energy of the supply flow, and the displaced air returns to the place of the suction in the material at the beginning of the fall.

For unloading of wagons with mineral fertilizers use a specialized wagon unloading plant, which not only prevents moisture from entering the load and distribution of dust at the reloading terminal, but also increases the productivity of rail wagons. The reloading complex (hereinafter PC) is intended for unloading of mineral fertilizers from railway cars, short -term storage of cargo and loading it on the ship.

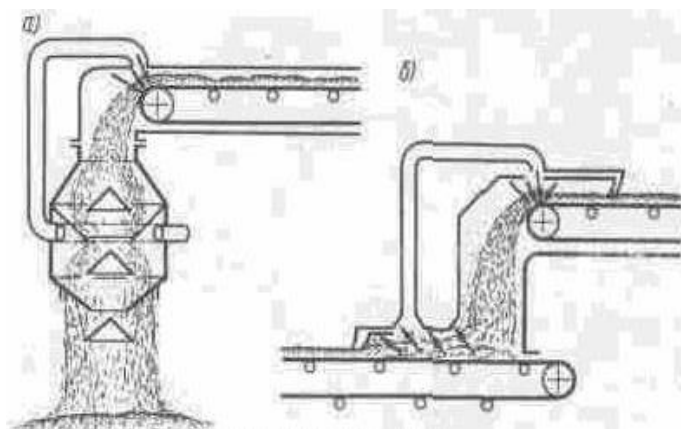


Figure 1.1 - Systems of dusting nodes of dumping of dust -shaped cargo
 a - when loading the hold; б - when dumped from one conveyor to another

Tape conveyors are accepted as means of transportation and shipment of mineral fertilizers [2]. Conveyors are equipped with a number of devices and gadgets that provide reliable and safe operation of the PC. These include devices of control of the east of the tape, rubble sensors at the nodes of the tipping from the conveyor to the conveyor, etc. Weighing cargo is carried out with the help of conveyor scales.

The technology provides for the operation of conveyor lines by options:

- wagon - warehouse;
- wagon - ship;
- warehouse - ship.

The wagons in the routes remain at the station, from where the locomotive of 15 units feeds them to the port and installs on technological railway tracks located near the unloading unit of the wagons (hereinafter VRV). On the territory of the port, the supply of wagons to the VRV is carried out by a locomotive. BPV is intended for unloading of mineral carriages. The wagons are fed from the end of the building of the unloading unit on one railway line. BPV is designed for simultaneous unloading up to 15 wagons. Empty cars are removed from the VRV locomotive and are mounted on technological railway tracks located near the unloading unit.

Under the BPV rail line are the receiving bins. On the 1st floor of the building under the bins are installed tape feeders intended for uniform supply of cargo from bins to the main conveyors, which transport mineral fertilizers or into the loading knot of vessels (in a direct version) or on the warehouse.

The loading knot includes two trucks and a shore truck gallery, which houses tape conveyors that feed the load on the vessel loading machines.

The truck is a metal structure of the portal type that moves along the rails along the pier. A lifting gallery with a telescopic tape conveyor and a special telescopic pipe, which is being discharged into a vessel, is attached to the portal. The operation of the machine comes from a special control cabin.

In the shore cargo gallery, mineral fertilizers from conveyors with the help of two self-propelled dropping carts moving in a special rail route are transferred to trucks, one of which carries from the carts from the blade conveyor. The transfer of cargo from conveyors to trucks is carried out through a through continuous gap, which is provided by the design of the gallery and has the entire length of shelter of rubber fabric.

For short-term storage of mineral fertilizers in the port provides 3 warehouses, made in the form of domestic buildings. The diameter of each composition is 55 m, height - 20 m, the capacity of each - 20000 tons. Loading is made from the upper

mark in the middle of the composition with ribbon conveyors. At the bottom of each warehouse are one tape conveyor, with bins installed above them. With this equipment, about 70% of cargo is self-unloading. The remaining part (approximately 30%) is overloaded with buckets.

The developed technology of reloading works provides the operation of the complex without negative impact on the environment.

1.3 Inspection of machines for loading vessels

Swing machines (cm) are intended for loading of bulk cargoes in vessels of different load capacity for river and seaports [3].

Machines are divided into small (stationary and mobile) and medium.

Small shipping machines are designed for river ports and can also be used in seaports for raid load.

The average shipping machine is intended for raid loading of ships, as well as loading of vessels with a capacity of up to 60,000 tons.

The shipping machine had a stationary stationary for loading vessels with a capacity of up to 5500 tons (in some cases up to 13,000 tons) with loose cargoes, incl. dangerous and dust.

Consider the car of the shipping small stationary (SPM -MS) with a telescopic conveyor (conveyor with a telescopic boom). Such a loading machine is stationary installed on the pier. The bulk cargo is overloaded with a bunker-dinner or from a conveyor.

As the vessel extends along the pier, the operator of the shipping machine, by changing the length of the departure of the telescopic boom provides a uniform layer of loading of the bulk load into the vessel.

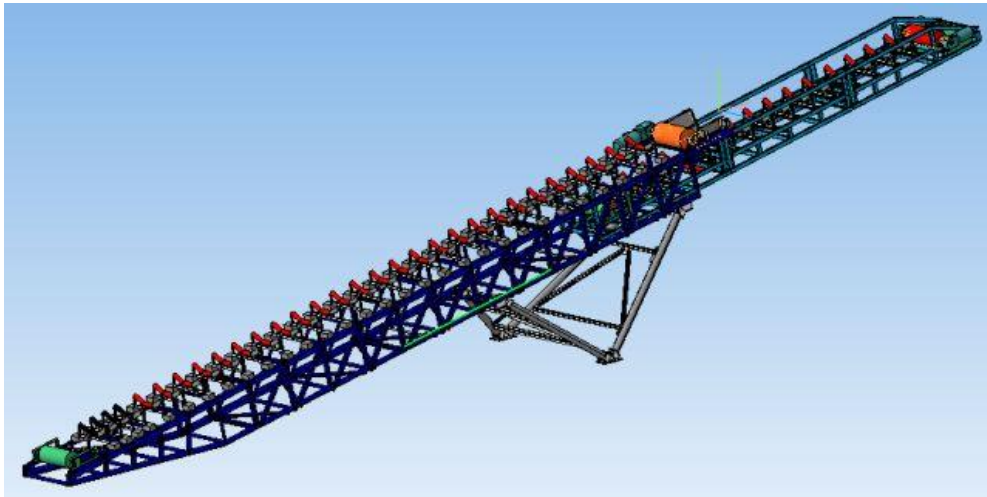


Figure 1.2 - Conveyor of the car of a shipping small inpatient (SPM -MS)

The characteristics of the SPM -MS machine are given in Table. 1.1.

It is possible to perform a machine with galvanized metal structures (this type gives a rise in price by 20% by metal structures).

In the case of purchase of a small stationary shipping machine complete with a bun with a feeder or supply conveyor (conveyor infrastructure), an automated control system is developed for the whole complex. The operator manages either from a stationary post or from the control panel (wired or radio).

If the length of the stationary part of the car does not exceed 30 meters, then the SPM -MS can be made as partially mobile (semimobile), ie on the skates; or completely mobile on wheels. This execution allows you to transport a shipping machine by means of a tractor (tractor, loader, etc.).

It is the most budgetary and simple design, and it successfully fulfills its tasks. In the simplest case, the conveyor infrastructure does not even require the arrangement of the conveyor infrastructure.

The car -loading machine small mobile (SPM -MP) is intended for loading of bulk cargoes in a ship with a capacity of up to 13,000 tons. This is an inexpensive solution for river ports, as well as for loading of river-sea vessels or for raid load. It does not require constant extension of the vessel along the pier.

Table 1.1 - The main characteristics of a shipping machine type SPM –MS

Parameter	Value	Optimal characteristics
Productivity	from 200 to 2000 t/h	1000 t/h
The width of the conveyor tape	from 650 to 1400 mm	1000 mm
The angle of tilt	up to 18 degrees	10-15 degrees
The length of the stationary part	8-40 m	18 m
Arrow departure	5-15 m	10 m
Speed arrow movement	0,1-0,8 m/s	0,2 m/s
Mobility	stationary/partially mobile/mobile	
Weight	5-15 t	10 t
Wind speed (work operations) up to 15 m/s	up to 15 m/s	
Temperature range	from -45 to +45 °C	from -10 to +40 °C
Number work hours per day max	20	16
The average duration of one inclusion	constant work for the full load period of the vessel	
Performance	river /sea/galvanized	river

This shipping machine operates on the principle of a glass (rotary telescopic conveyor). It relies on the rotary resistance, and the drive wheels, which are located almost perpendicular to the axis of the conveyor (tangent to the arc of the trajectory), allow the shipping machine to produce radial movements. By performing radial movements and changing the departure of the telescopic boom, the operator produces a uniform layer -by -layer load into the vessels.

The bulk (moving) cargo is overloaded with a shipping machine from the hopper or from the supply conveyor.

In the case of this rotary shipping machine, complete with a bin with a feeder or a supply conveyor (conveyor infrastructure), an automated control system is

developed for the whole complex together. The operator manages either from a stationary post or from the control panel (wired or radio). It is also possible to perform galvanized metal structures.

Modification of a small mobile shipping machine with a wheel transportation is possible. In such a modification, the wheels can be unfolded along the axis of the conveyor and they are disconnected, which allows to transport the shipping machine by a tractor (tractor, bulldozer, etc.).

Unlike a stationary shipping machine, such a mobile machine does not require stretching the vessel along the pier. It is rational to use two shipping machines for loading bulk cargoes into a ship over 80 meters long. In this case, it does not require its peeler.

In the simplest case, it does not require the arrangement of a special conveyor infrastructure. The characteristics of the SPM -MP machine are given in Table. 1.2.

This is an inexpensive and productive solution for loading of bulk cargoes in the hold of the ship. In cases where this is possible (the height and size of the berth, the dimensions of the vessel) the use of 2-3 small mobile shipping machines is cheaper than one average shipping machine.

The medium-sized shipment (SPM-C) is intended for loading vessels with a capacity of up to 13,000 tons (river and river-sea) and up to 60,000 tons (Panamax) with loose cargoes, including dangerous and dust.

This is an inexpensive and productive solution for loading of bulk cargoes in the hold of the ship. In cases where this is possible (the height and size of the berth, the dimensions of the vessel) the use of 2-3 small mobile shipping machines is cheaper than one average shipping machine.

The medium-sized shipment (SPM-C) is intended for loading vessels with a capacity of up to 13,000 tons (river and river-sea) and up to 60,000 tons (Panamax) with loose cargoes, including dangerous and dust.

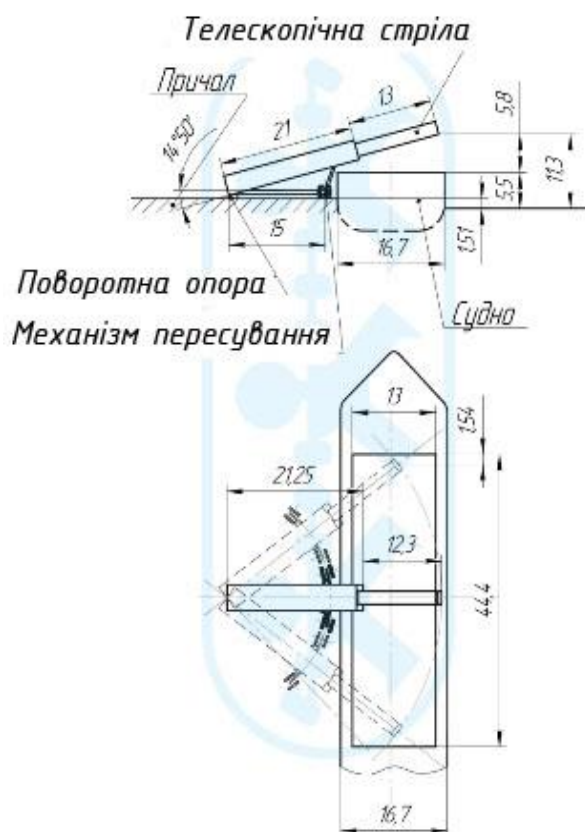


Figure 1.3 - Scheme of the mechanism for loading the hold of the vessel
The characteristics of the SPM -C machine are given in Table. 1.3.

Loading of bulk loads comes from a conveyor located on the trestle along the pier (Fig. 1.3 is not shown). Such a car shipment machine moves along the pier along the rail path. Due to the sloping boom, which works on the principle of mobile drum unloader (trolley of the drum unloading), the bulk load is overloaded from the conveyor, located along the pier to the top conveyor of the shipping machine anywhere.

The cargo from the upper conveyor of the machine is overloaded to the conveyor of the telescopic arrow (the sliding console), and then the telescopic sleeve is filled with a vessel.

Table 1.2 - The main characteristics of a shipping machine type SPM –MP

Parameter	Value	Optimal characteristics
Productivity	from 200 to 2000 t/h 1000 t/h	1000 t/h
The width of the conveyor tape	from 650 to 1400 mm	1000 mm

The angle of tilt	to 18 degrees	8-15 degrees
The length of the stationary part	8-40 m	21 m
Arrow departure	5-15 m	13 m
Speed arrow movement	0,1-0,8 m/s	0,2 m/s
Speed machine movement	0,05-0,2 m/s	0,1 m/s
Type of transportation	of car wheels or metal wheels on the rail	car wheels
Availability of wheel transportation (for car wheels)	yes/no	no
Weight	5-27 t	15 t
Speed wind (work operations)	до 15 m/s	
Temperature range, °C	від -45 до +45 °C	від -10 до +40 °C
Number of working hours per day, max	20	16
Medium the duration of one inclusion	is permanent work per period full load of the vessel	
Performance annual/sea/galvanized annual	annual/sea/galvanized	annual

The operator of the shipping machine, moving the machine along the pier and changing the departure of the sliding console, provides a uniform layer of loading of the bulk load into the vessel. As the hold is loaded, the SPM operator reduces the length of the telescopic sleeve or this is done automatically (using the level sensor on the telescopic sleeve).

The driving machine is managed by the operator in the control cabin. It controls with the help of joysticks and control buttons. As a rule, the operator also manages the entire conveyor line that supplies bulk loads from the warehouse (bins or open type) to the shipping machine (port loading complex).

To reduce the load on the SPM operator, start and stop the entire complex (shipping machine, conveyors and feeders) is carried out automatically by pressing one button. Emergency scenarios are also automatically worked out.

The operator can either see information about the port of the port boot complex either using indicators or on the display screen.

Table 1.3 - The main characteristics of a shipping machine type SPM – C

Parameter	For ships up to 13,000 tons	For vessels from 13 000 to 60,000 tons
Productivity	from 200 to 2000 t/h	from 2500 t/h
The width of the conveyor tape	from 650 to 1400 mm	from 1200 to 1400 mm
Height from the pier to the lower elements of the telescopic boom (the sliding console)	from 1 to 10 m	from 5 to 17 m
Maximum departure of the sliding console	15 m	28 m
Track	7.5, 10.5, 15.3 m	from 10.5 до 32 m
Weight	from 20 to 80 tons	from 60 to 140 tonnes
Wind speed (work operations)	up to 15 m/s	up to 15 m/s
Wind speed (moving to parking position)	up to 25 m/s	up to 25 m/s
Wind speed (non -working condition)	up to 46 m/s	up to 46 m/s
Temperature range	from -40 to +45 °C	from -40 to +45 °C
Seismic resistance	up to 9 points	up to 9 points
Number of working hours per day	20	20
Number of working days per year	250	250
Average duration of one turn-on	continuous operation for the period of full vessel loading	continuous operation for the period of full vessel loading

1.4 Shipping Machine as an Object of Modernization

In this work, a SPM -MP -MP -loading machine is considered as an object of modernization, which is intended for loading mineral fertilizers and other bulk materials into a vessel and is an integral part of a specialized conveyor complex [3]. The machine moves along the pier on the rail. Along the crane tracks there is a

conveyor gallery, which contains the main conveyors, which feed the load from the warehouse to a shipping machine.

The main conveyor is equipped with an intermediate unloading device - a unloading trolley that moves along the conveyor. The unloading trolley is joined with a truck and provides the load on the fronting conveyor.

A telescopic conveyor, located in a lifting gallery, as well as a telescopic pipe installed at the place of unloading of the conveyor allows to receive vessels of almost all types. The technical characteristics of this shipping machine are shown in Table 1.4.

The shipping machine is a metal -type metal structure, which is mounted on 4 running trolleys. The portal is a spatial rigid box of box profile, consisting of several parts connected when installing bolts. The track of the portal is 10.5 m, which allows to place two -track rails under it. Each trolley, which is part of the machine, is equipped with 6 running wheels and has its own drive. To keep the whole mechanism in good condition at high winds, the carts are installed rail grips with a manual actuator.

Table 1.4 - Technical characteristics of a shipping machine type SPM –MP

Parameter	Value
Productivity	from 200 to 2000 t/h
Overloading cargo	mineral fertilizers
The bulk load density	1.2 t/m ³
The length of the gallery from the rotation axis	30 m
The speed of the conveyor tape	1.25 m/s
Type of roller -grooped	grooves
The width of the conveyor tape	650 mm
Machine movement speed	0.33 m/s
The rate of lifting a gallery	0.5 m/s
The track of the portal	10.5 m
The number of running wheels	24

Maximum Fleece of the conveyor	24 m
The minimum conveyor's departure	4,5 m
The speed of change of departure	0,5 m/s

A lifting gallery, made in the form of a spatial farm, which houses a telescopic belt conveyor is located to the portal. Also on the portal there is a support metal structure for the mechanism of lifting a gallery, which is made in the form of a box structure. The support part has a cabin, a machine compartment, a mechanism of lifting the gallery, and there is installed equipment to provide control of all mechanisms.

The portal and the support structure are equipped with stairs and platforms for the maintenance of mechanisms and components of the shipping machine. The machine room and control cabin are fixed to the support of the shipment. The machine room is made of sheet steel and is preinforced for placement of the lifting mechanism and electrical equipment. The removable roof is installed for ease of installation and removal of equipment. The control cabin is also made of sheet steel, the front and side walls have windows that open to inspect the work area.

The mechanism of lifting the gallery is made in the form of a drum winch with a two -canned rifled drum and is intended for lifting the gallery to the upper position for fixing it "on a storm", as well as for safe movement of a shipping machine along the pier at a vessel parking. Fixing the gallery "on the storm" corresponds to the non -working condition of the machine, and is used in wind force of more than 20 m/s. To limit the lifting of the gallery in height, as well as to limit the movement of the shipping machine, there are end switches. The tape conveyor is located in the gallery and made by telescopic with gutter roller supports, width of the tape 650 mm, speed of movement 1.25 m/s. The length of the telescopic part is 19.5 m. The drive of the conveyor is made in the form of a drum engine to save space, as well as convenient access to it. Unloading the conveyor is carried out by means of a telescopic pipe with a diameter of 300 mm, the length of which changes in the range from 3 to 10 m.

The drive of all mechanisms is electrical. Power of electricity loader is carried out by a flexible cable from terrestrial columns. The length of the cable allows the tap to move 100 m each side from the column. For winding the cable is a cable drum, a container on the portal. The shipping carrier is managed by the crane from the control cabin. The tap includes spare parts and tools whose lists are included in the technical documentation supplied with the crane.

1.5 Requirements for the electric drive of a shipping machine and setting tasks for qualification work

Analyzing the basic requirements for modern automatic drive control systems, we can distinguish the basic requirements that can be made to the control system of the electric drive of the conveyor of the SPM -MP -loading machine:

1) The electric drive must provide the required range speed adjustment at a given multiplicity of starting and maximum moment $k_p = k_m = 2$ and accuracy of speed maintenance not less than 5%.

2) Optimal adjustment of the volt frequency characteristics of the converter, as well as the choice and debugging intensity to ensure the required smoothness of transitional processes and minimizing the time of regulation.

3) The economic feasibility of the introduction of a frequency-controlled electric drive based on an asynchronous engine with a short-circuited rotor.

In order to accelerate scientific and technological progress, the work of modernization of existing machines and mechanisms to increase their reliability and efficiency, reduce energy costs is crucial, along with the replacement of outdated equipment.

As the experience of operating the electromechanical equipment of the Odessa terminal shows, the quality of this equipment does not meet the requirements of today. There is an overestimated electricity consumption, high -actuated electricity capacity, which lead to a low efficiency, a large number of service personnel. These problems require the modernization of existing electrical equipment and the drive of the shipping machine. It is proposed to replace the existing outdated and serving the term electric drive with a modern frequency-regulated asynchronous air drive.

This will increase the volume of reloading products, increase the reliability of the mechanical and electrical components of the control system, reduce the impact of dynamic moments on the electric drive, which will extend their service life and reduce the number of forced downtime.

Considering the problems that were found in the study of the work of a shipping machine, in the analysis of scientific literature and technological recommendations of staff, the following tasks were set before the study on this topic:

- 1) To investigate and argue the feasibility of choosing a frequency-adjustable electric drive based on a three-phase asynchronous engine with a short-circuited rotor.
- 2) Calculate the conveyor line and select the motor.
- 3) Develop a managed electric drive for the conveyor, its functional control circuit.
- 4) Perform engineering calculations in order to find out the feasibility of using the equipment installed.
- 5) Conduct a study of the modernized electric drive of the conveyor.

Conclusions by section

The analysis of the work of the Odessa pier and the essence of reloading work in it was carried out. It has been found that the shipping machine is one of the most important elements in the technological process of overload. The types of shipping machines, their advantages and disadvantages are analyzed. The object of bachelor's study is selected.

The requirements for the electric drive of the shipping machine and the tasks for the study were put forward.

Актуальність теми. В наш час дуже важливим в Україні є зростання темпів економіки, а для цього необхідно впроваджувати нові технології для усіх виробничих процесів, в тому числі і для машин безперервного транспорту, які мають високу продуктивність, значну протяжність транспортування, що дає змогу витіснити машини циклічної дії з традиційних областей та збільшувати вантажообіг портового завантажувального терміналу з порівняно невеликими витратами на перевантаження однієї тони вантажу. Відомо, що електроприводи обладнання портівних терміналів, що використовуються в даний час, зношені майже на 75-80%, а використання старих типів двигунів є низькоефективним. Тому використання сучасних електроприводів для здійснення вантажних робіт в портівних терміналах є досить актуальною темою.

Метою роботи є модернізація електропривода машини для завантаження суден, а саме електропривода стрічкового конвеєра, як однієї з найбільш енергоємних ланок цієї машини. Це призведе до економії електроенергії, підвищення надійності системи, виключення простойв в навантажувально-розвантажувальних роботах портового терміналу.

В ході бакалаврської роботи необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) Дослідити та аргументувати доцільність вибору частотно-регульованого електроприводу на основі трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
- 2) Виконати розрахунок конвеєрної лінії та підібрати потрібний електродвигун.
- 3) Розробити керованийний електропривод для конвеєрної лінії, його функціональну схему керування.
- 4) Виконати інженерні розрахунки з метою виявлення доцільності використання обладнання встановленої потужності.
- 5) Провести моделювання та дослідження модернізованого електропривода конвеєрної лінії.

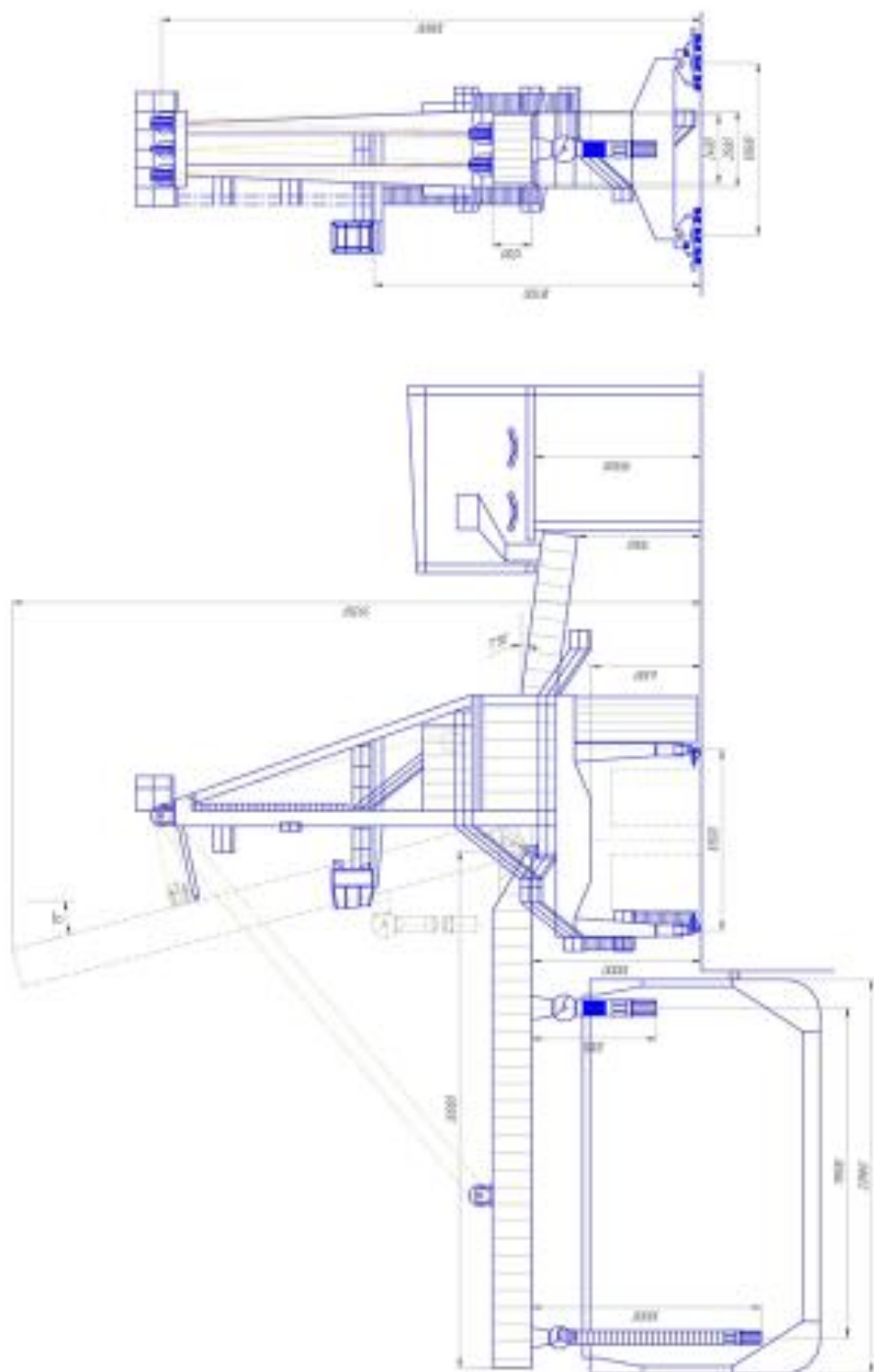
Суднозавантажувальна машина

3



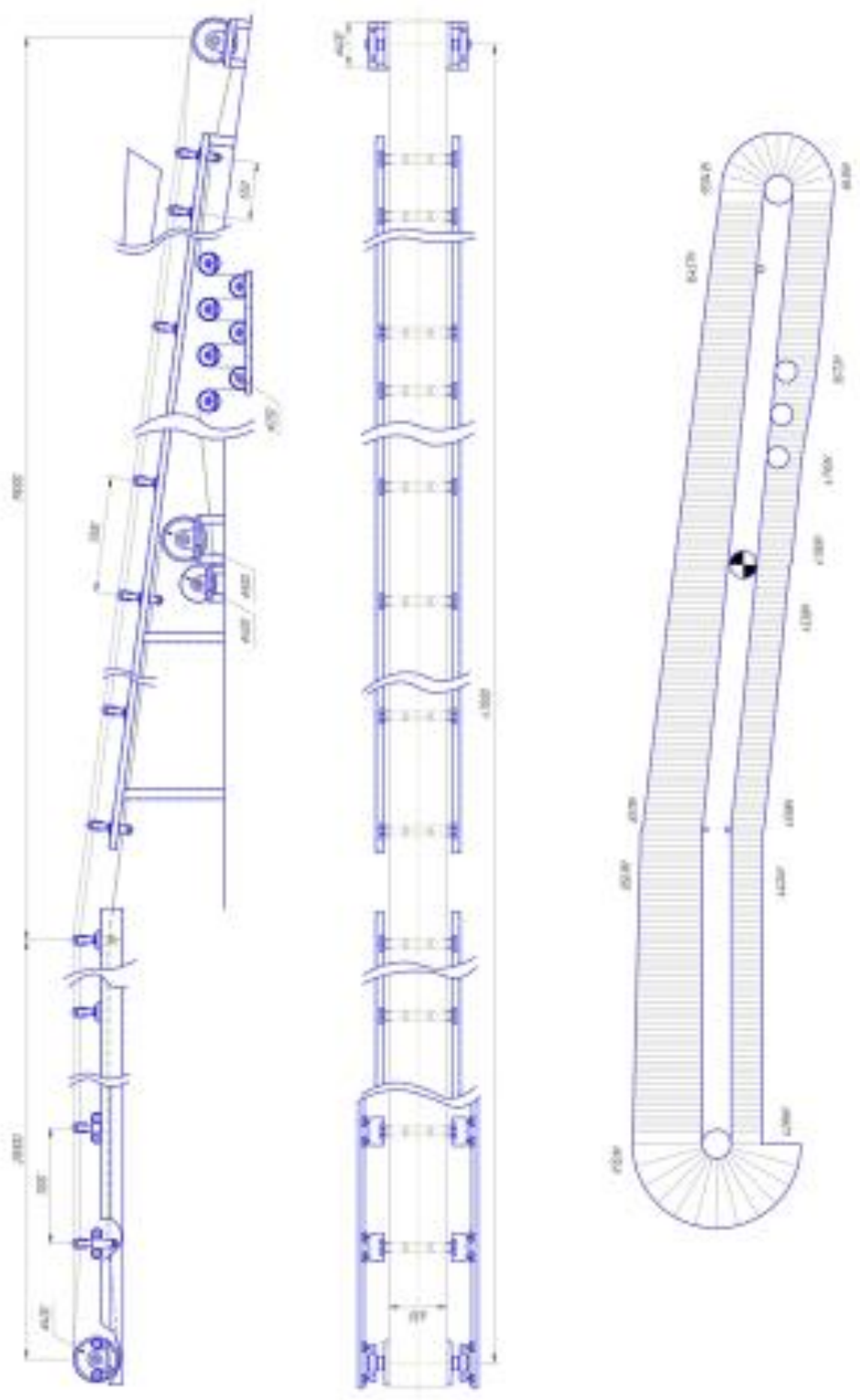
Будова суднозавантажувальної машини

4

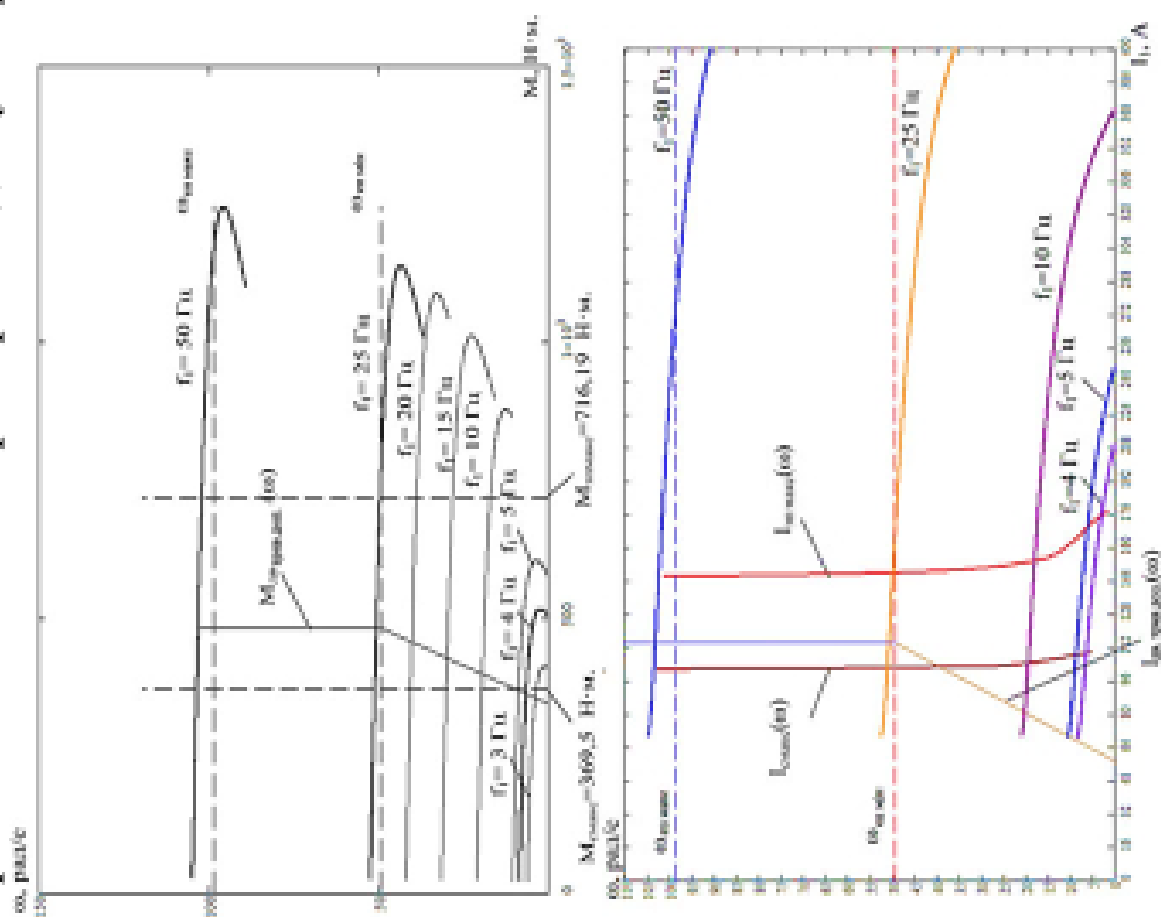


Телескопічний конвеєр як об'єкт для модернізації

5



Характеристики системи «Перетворювач-двигун» при скалярному управлінні 6

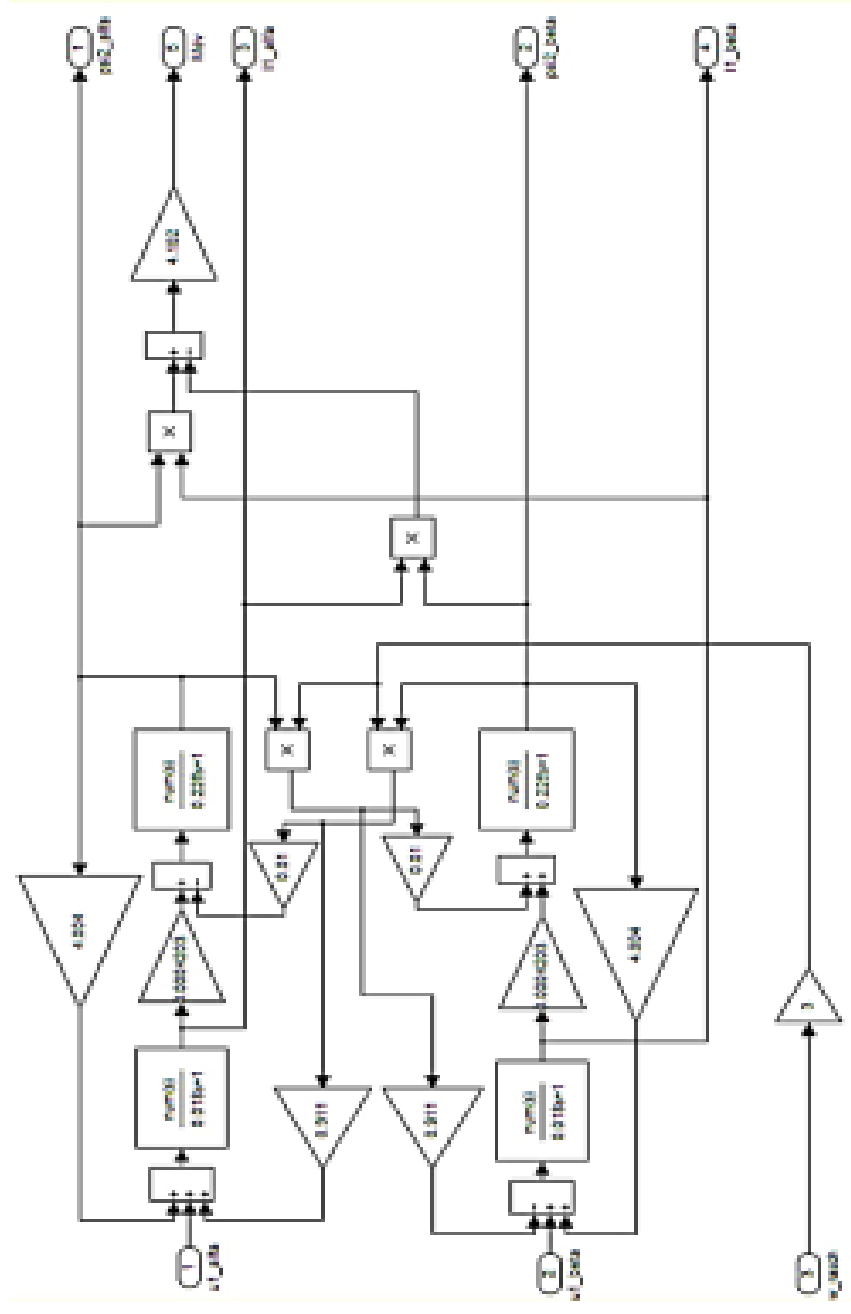


Механiчні характеристики $\omega(M)$ системи перетворювач-двигун при скалярному управлінні і законі регулювання $U_1/f_1 = const$

Електромеханiчні характеристики $\omega(f_1)$ системи перетворювач-двигун при скалярному управлінні і законі керування $U_1/f_1 = const$

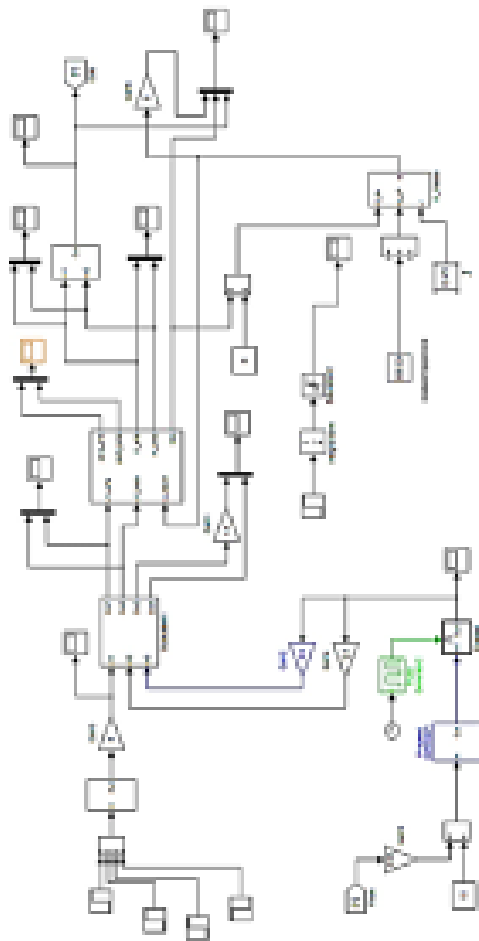
Дослідження системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням

Схема моделі асинхронного електродвигуна

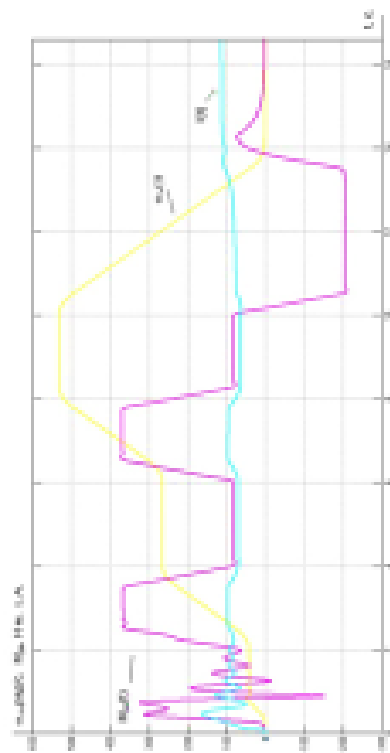


Дослідження системи ПЧ-АД конвертера з вантажем та без вантажу з задачіником інтенсивності

10



Модель частотно-регульованого електроприводу конвертера з вантажем з задачіником інтенсивності швидкості



Характеристики роботи електроприводу конвертера з 8-подібним характеристикою задачіника інтенсивності без вантажу



Характеристики роботи електроприводу конвертера з 8-подібним характеристикою задачіника інтенсивності з вантажем

Висновки

1. В роботі розглянуто різні типи суднозавантажувальних машин, для модернізації електропривода було обрано машину типу СРМ-МП (мала пересувна машина).
2. В результаті проведених розрахунків був обраний сучасний двигун необхідної потужності типу АРР 250S6, а також перетворювач частоти типу АГV71HD55N4 фірми Schneider Electric.
3. В роботі дано рекомендації з налаштування вольт-частотної характеристики перетворювача, а також по налагодженню задатчика інтенсивності для забезпечення необхідної плавності перехідних процесів і мінімізації часу регулювання.
4. Проведені дослідження показали, що модернізований електропривод конвеєрної лінії виконаний відповідно до вимог завдання, він здатний забезпечити потрібний діапазон регулювання швидкості.
5. Основними результатами, які отримані шляхом заміни нерегульованого електроприводу конвеєра на сучасний регульований асинхронний електропривод, є наступні:
 - плавний пуск конвеєрної лінії з різними навантаженнями електричної і механічної частин приводу і малим впливом на мережу живлення;
 - незалежне управління конвеєром дозволяє здійснити плавне регулювання швидкості відповідно до технологічного процесу;
 - обраний перетворювач частоти легко інтегрується в загальну систему управління як низовий інтелектуальний елемент автоматки та не вимагає складних узгоджувальних схем, це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати по обслуговуванню системи.