

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового
підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства
«Продовольча компанія «Поділля»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-18мз
галузь знань 14 – Електрична інженерія
спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

Пилипчак Артур Вікторович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Бабій С. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

д.т.н., проф.

В. М. Кутін

“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пилипчак Артур Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля»

керівник роботи Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року № ___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: вантажопідйомність 1100...1300 кг; маса скіпа 800 кг; висота підйому 50 м; кут нахилу 76 град.; діаметр барабана підйомної лебідки 0,6 м; передаточне число механічної передачі 63; кількість циклів за годину 8.

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

1 Характеристика об'єкта проектування. 2 Розрахунок силового привода скіпового підйомника. 3 Розробка системи керування скіпового підйомника. 4 Економічна частина. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

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

1 Мета та задачі дослідження. 2 Характеристика об'єкта проектування. 3 Схема кінематична скіпового підйомника. 4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. 5 Характеристика приводного двигуна скіпового підйомника. 6 Схема функціональна САЕП скіпового підйомника. 7 Схема структурна САЕП скіпового підйомника. 8 Схема структурна підйомної лебідки скіпового підйомника. 9 Модель підйомної лебідки скіпового підйомника в Simulink. 10 Моделювання перехідних процесів САЕП скіпового підйомника. 11 Вибір елементної бази САЕП скіпового підйомника. 12 Схема електрична принципова САЕП скіпового підйомника.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Економічна частина	Мельничук Л. М., к.е.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

_____ (підпис)

Пилипчак Артур Вікторович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабій С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пилипчак Артур Вікторович «Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2020.– 119 с. Бібліогр. :23. Іл. : 29. Табл. : 15.

Магістерська кваліфікаційна робота спрямована на підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» (Крижопільський цукровий завод).

В роботі дано загальну характеристику об'єкта проектування та розраховано силовий привод скіпового підйомника. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода скіпового підйомника типу ПЧ-АД. Вибрано основну елементну базу автоматизованого електропривода скіпового підйомника, а також розроблено необхідні електричні схеми. Перевірено правильність проведених розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання в Matlab.

На основі аналізу кінематичної схеми скіпового підйомника наведено систему рівнянь, які описують механічну частину лебідки скіпового підйомника. Запропоновано відповідну структурну схему механічної частини лебідки скіпового підйомника, яку реалізовано в середовищі Matlab у вигляді елемента бібліотеки Simulink.

Ключові слова: скіповий підйомник, електропривод, перетворювач частоти.

АННОТАЦИЯ

Пилипчак Артур Викторович «Повышение энергетической эффективности электропривода скипового подъемника известняковой печи в условиях Частного акционерного общества «Продовольственная компания «Подолье». Магистерская квалификационная работа. – Винница : ВНТУ. 2020. – 119 с. Библиогр. : 23. Ил. : 29. Табл. : 15.

Магистерская квалификационная работа направлена на повышение энергетической эффективности электропривода скипового подъемника известняковой печи в условиях Частного акционерного общества «Продовольственная компания «Подолье» (Крыжопольский сахарный завод).

В работе дана общая характеристика объекта проектирования и рассчитан силовой привод скипового подъемника. На основе технико-экономических показателей выбрано систему электропривода скипового подъемника типа ПЧ-АД. Выбрано основную элементную базу автоматизированного электропривода скипового подъемника, а также разработаны необходимые электрические схемы. Проверена правильность проведенных расчетов путем компьютерного моделирования в Matlab.

На основе анализа кинематической схемы скипового подъемника приведена система уравнений, описывающих механическую часть лебедки скипового подъемника. Предложено соответствующую структурную схему механической части лебедки скипового подъемника, которую реализовано в среде Matlab в виде элемента библиотеки Simulink.

Ключевые слова: скиповой подъемник, электропривод, преобразователь частоты.

ANNOTATION

Pylypchak Artur Viktorovych «Increasing the energy efficiency of the electric drive of the skip lift of the limestone kiln in the conditions of the Private Company «Food Company «Podillya». Master's qualification work. – Vinnitsa : VNTU. 2020. – 119 p. Refs. : 23. Il. : 29. Table. : 15.

The master's qualification work is aimed at increasing the energy efficiency of the electric drive of the skip lift of the limestone kiln in the conditions of the Private Company «Food Company «Podillya»(Kryzhopil Sugar Plant).

The general characteristic of the design object is given in the work and the power drive of the skip hoist is calculated. On the basis of technical and economic indicators the system of the electric drive of the skip elevator of the PCh-AD type is chosen. The main element base of the automated electric drive of the skip hoist is chosen, and also the necessary electric schemes are developed. The correctness of the calculations was verified by computer simulation in Matlab.

Based on the analysis of the kinematic scheme of the skip hoist, a system of equations describing the mechanical part of the skip hoist winch is given. An appropriate block diagram of the mechanical part of the skip hoist winch, which is implemented in the Matlab environment as an element of the Simulink library, is proposed.

Keywords: skip hoist, electric drive, frequency converter.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
1.1 Технологічний процес виробництва цукру-піску із цукрового буряка	9
1.2 Характеристика об’єкта проектування	13
2 РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ПРИВОДА СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА	19
2.1 Розрахунок тахограми	19
2.2 Розрахунок статичних навантажень.....	23
2.2.1 Підйом завантаженого скіпа	23
2.2.2 Опускання розвантаженого скіпа.....	25
2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	26
2.4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	29
2.5 Вибір приводного двигуна	36
2.6 Розрахунок динамічних навантажень	41
2.7 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску	44
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА	46
3.1 Розробка функціональної схеми САЕП скіпового підйомника	46
3.2 Вибір силового перетворювача	48
3.3 Розробка структурної схеми САЕП скіпового підйомника та розрахунок регуляторів	51
3.4 Структурна схема механічної частини лебідки скіпового підйомника	58
3.5 Моделювання перехідних процесів САЕП	62

	4
3.6 Вибір контролера	65
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	69
4.1 Розрахунок капітальних вкладень	69
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	70
4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	71
4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	71
4.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію	73
4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	74
4.2.5 Інші витрати	77
4.3 Визначення економічної ефективності проекту	77
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	80
5.1.1 Електробезпека	80
5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	81
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	84
5.2.1 Мікроклімат	84
5.2.2 Виробниче освітлення	85
5.2.3 Виробничий шум	86
5.2.4 Виробнича вібрація	88
5.2.5 Психофізіологічні фактори	89
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	91
5.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії іонізуючих випромінювань	91
5.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії електромагнітного імпульсу	93

ВИСНОВКИ.....	98
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	100
Додаток А Технічне завдання.....	103
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	107

ВСТУП

Актуальність роботи. Однією з найстаріших галузей промисловості України є цукрова промисловість, яка бере свій початок відліку ще з XIX ст. з відкриття першої українська цукроварня. У більшості друкованих джерел вказується, що перший цукровий завод в Україні був збудований у 1824 році в селі Трощин, Канівського повіту, Київської губернії (зараз – Канівський район, Черкаської області) [1]. Існує також і думка, що перша цукроварня України була відкрита в 1825 році в м. Бершадь Вінницької області [1].

До недавнього часу Вінниччину називали «цукровим Донбасом України», оскільки вона одна могла виробити стільки цукру скільки потрібно для забезпечення потреб усієї країни.

Зараз на Вінниччині працює менше десяти цукрових заводів, але через не прості політичні та економічні умови і ті закривають та здають на металолом.

Таким чином, з метою недопущення подальшого закриття цукрових виробництв та збереження робочих місць потрібно проводити їх модернізацію, що дозволить знизити енергоємність та підвищити продуктивність виробництв, підвищити якість продукції.

Однією із таких організацій, де регулярно проводяться роботи по модернізації виробничих потужностей є Продовольча компанія «Поділля». Вона являє собою вертикально-інтегрований комплекс, до складу якого входять 5 виробничих відділень, які обробляють більше 51 тис. га у Крижопільському, Томашпільському, Тростянецькому та Ямпільському районах Вінницької області [2].

Магістерська кваліфікаційна робота спрямована на підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» (Крижопільський цукровий завод).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» за рахунок використання сучасної елементної бази з високими енергетичними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Здійснити коротку характеристику технологічного процесу виробництва цукру-піску із цукрового буряка. Виділити в ньому роль та місце об'єкта проектування.

2. Розрахувати потужність привода скіпового підйомника вапнякової печі та вибрати приводний двигун.

3. Розробити систему керування електропривода скіпового підйомника вапнякової печі та вибрати його елементи.

4. Перевірити правильність отриманих проектних рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

5. Провести економічні розрахунки.

6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

Об'єкт дослідження – процес виробництва цукру.

Предметом дослідження є система автоматизованого електропривода скіпового підйомника вапнякової печі.

Методи дослідження. У процесі роботи застосовувалися такі методи дослідження: теорії електричного привода – для розрахунку потужності приводного двигуна; теорії автоматичного керування та систем керування – для

синтезу системи керування; оптимізації – для оптимального налаштування регуляторів системи керування; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для перевірки прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано математичну модель підйомної лебідки скіпового підйомника, яка на відміну від існуючих враховує зміну коефіцієнта корисної дії механічної передачі при зміні навантаження.

Практичне значення одержаних у роботі результатів полягає в розробці у середовищі Matlab Simulink структури підйомної лебідки скіпового підйомника, яку можна використовувати при проектуванні автоматизованих електроприводів скіпових підйомників.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на таких конференціях:

1. Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінниця, 2020 р.

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Технологічний процес виробництва цукру-піску із цукрового буряка

Цукор (згідно ДСТУ 4623:2006) – харчовий продукт, який являє собою очищену і кристалізовану сахарозу у вигляді окремих кристалів (кристалічний цукор) або окремих кусків (пресований цукор) [3].

В Україні цукор отримують шляхом переробки цукрового буряка. Процес отримання цукру-піску із цукрового буряка складається з таких етапів:

- подача буряків і очищення їх від домішок;
- отримання дифузійного соку з бурякової стружки;
- очищення дифузійного соку;
- згущення соку випаровуванням;
- варіння утфелю і отримання кристалічного цукру;
- сушка, охолодження і зберігання цукру-піску [4].

Схема технологічної лінії виробництва цукру-піску із цукрового буряка зображена на рисунку 1.1 [4].

Цукрові буряки подаються в завод з бурячної або з кагатного поля. По гідравлічному конвеєру вони піднімаються спеціальними насосами на висоту близько 20 м. Подальше переміщення буряка для здійснення різних операцій технологічного процесу відбувається самопливом. По довжині гідравлічного конвеєра 1 послідовно встановлені уловлювачі соломи 2, уловлювачі каміння 4 і водороздільники 5. Це технологічне обладнання призначене для відділення легких (солома, бадилля) і важких (пісок, каміння) домішок, а також для відділення транспортерно-мийної води. Для інтенсифікації процесу уловлювання соломи і бадилля в поглиблення 3 подається повітря. В подальшому цукрові буряки після водовідкремлювачів надходять в бурякомийку 6, яка призначена для остаточного очищення буряків [4].

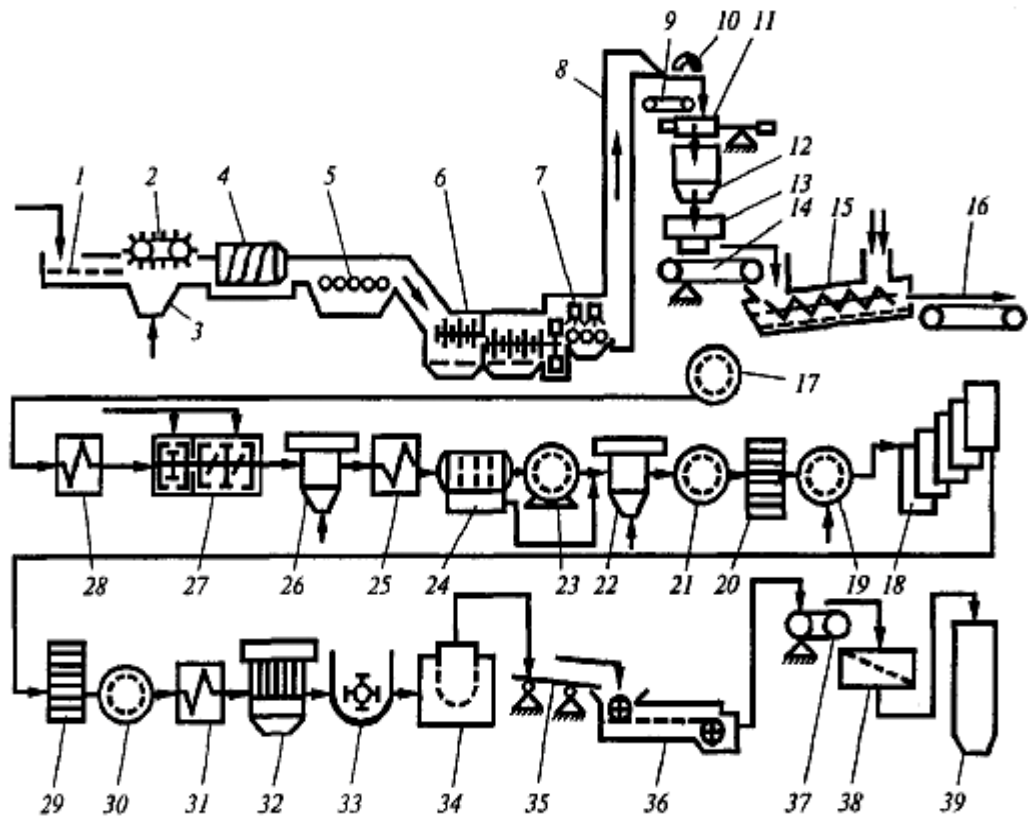


Рисунок 1.1 – Технологічна лінія виробництва цукру-піску

Кількість води, яка подається на миття буряка, залежить від ступеня його забрудненості, конструкції машини і в середньому становить від 60% до 100% маси буряка. У стічні води гідравлічного конвеєра і мийної машини потрапляють відламані хвостики буряків, невеликі шматочки і дрібні коренеплоди, тому транспортерно-мийні води попередньо направляються в сепаратор для відділення від них хвостиків і шматочків буряка, які після обробки надходять на стрічковий конвеєр 14 [4].

Відмиті цукрові буряки зрошуються чистою водою зі спеціальних пристроїв 7, піднімаються елеватором 8 і надходить на конвеєр 9, де електромагніт 10 відокремлює металеві предмети, які випадково потрапили в буряк. Потім буряк зважують на вагах 11 і з бункера 12 направляють в подрібнюючі машини-бурякорізки 13 [4].

Бурякова стружка з подрібнюючих машин за допомогою стрічкового конвеєра 14, на якому встановлені конвеєрні ваги, подається в дифузійну установку 15 [4].

Цукор, розчинений в буряковому сокові, витягується з клітин дифузією, Жом відводиться з дифузійних установок конвеєром 16 в цех для пресування, сушіння та брикетування [4].

Дифузійний сік пропускається через фільтр 17, підігрівається в пристрої 28 і направляється в апарати попередньої та основної дефекації 27, де він очищається в вапняному молоці [4].

Дефекований сік подається в котел першої сатурації 26, де він додатково очищається. Сік першої сатурації подається через підігрівач 25 в гравітаційний відстійник 24. У відстійниках сік ділиться на дві фракції: освітлену (80% всього соку) і згущене суспензію, що надходить на вакуум-фільтри 23 [4].

Фільтрований сік першої сатурації направляється в апарати другої сатурації 22, де з нього видаляється вапно [4].

Сік другої сатурації подається на фільтри 21. Відфільтрований сік подається в котел сульфитації 20. Мета сульфитації – зменшення кольоровості соку шляхом обробки його діоксидом сірки, який отримують при спалюванні сірки [4].

Сульфітований сік направляють на станцію фільтрів 19, а потім транспортують через підігрівачі в перший корпус випарної станції 18. Випарні установки призначені для послідовного згущення очищеного соку другої сатурації до концентрації густого сиропу; при цьому вміст сухих речовин в продукті збільшується з 14 ... 16% в першому корпусі до 65 .. 70% (згущений сироп) в останньому. Свіжий пар надходить тільки в перший корпус, а наступні корпуси обігріваються соковим паром попереднього корпусу [4].

Отриманий сироп направляється в сульфитатор 29, а потім на станцію фільтрації 30. Фільтрований сироп підігрівається в підігрівачі 31, звідки

надходить в вакуум-апарати першого продукту 32. Сироп в вакуум-апаратах уварюється до пересичення, цукор виділяється у вигляді кристалів. Продукт, отриманий після уварювання, називається утфелем. Він містить близько 7,5% води і близько 55% викристалізованого цукру [4].

Сироп уварюють в періодично діючих вакуум-апаратах. Утфель першої кристалізації з вакуум-апаратів надходить в приймальну утфелемішалку 33, звідки його направляють в розподільну мішалку, а потім в центрифуги 34, де під дією відцентрової сили кристали цукру відділяються від межкристалльної рідини. Ця рідина називається першим відтоком [4].

Щоб отримати з центрифуги білий цукор, його кристали промивають невеликою кількістю гарячої води – пробілюють. При пробілюванні частина цукру розчиняється, тому з центрифуги відходить відтік більш високої чистоти – другий відтік [4].

Другий і перший набряки подають в вакуум-апарат другої кристалізації, де отримують утфель другої кристалізації, що містить близько 50% кристалічного цукру. Цей утфель поступово охолоджують до температури 40°C при перемішуванні в утфелемішалках – кристалізаторах. При цьому додатково викристалізовується ще деяка кількість цукру. Нарешті, утфель другої кристалізації направляється в центрифуги, де від кристалів цукру відокремлюється меляса, яка є відходом цукрового виробництва, так як отримання з неї цукру шляхом подальшого згущення і кристалізації нерентабельно. Жовтий цукор другої кристалізації рафінують першим відтоком, отриманий утфель направляється в розподільну мішалку, а потім в центрифуги. Отриманий цукор розчиняється, і сік надходить в лінію виробництва [4].

Білий цукор, вивантажуваний з центрифуг 34, має температуру 70°C і вологість 0,5% при пробілюванні паром або вологість 1,5% при пробілюванні

водою. Він потрапляє на віброконвеєр 35 і транспортується в сушильно-охолоджувальну установку 36 [4].

Після сушіння цукор-пісок надходить на ваговій стрічковий конвеєр 37 і далі на вібросито 38. Грудочки цукру відділяються, розчиняються і повертаються в продуктивний цех [4].

Товарний цукор-пісок на склади тривалого зберігання [4].

1.2 Характеристика об'єкта проектування

Об'єктом проектування в магістерській кваліфікаційній роботі є скіповий підйомник вапнякової печі.

В умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» використовується вапнякова піч шахтного типу (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд вапнякової печі

Вапнякова піч призначена для випалювання вапняку. В печі вапняк і вугілля спочатку підігрівається, а потім проходить згорання вугілля і розкладання вапняку на вапно і вуглекислоту [4].

Продукти випалювання (вапно і вуглекислота) використовуються в технологічному процесі виробництва цукру для очищення дифузійного соку (процеси дефекації та сатурації) [4].

Вапняк і вугілля завантажуються в піч скіповим підйомником (рисунок 1.3).

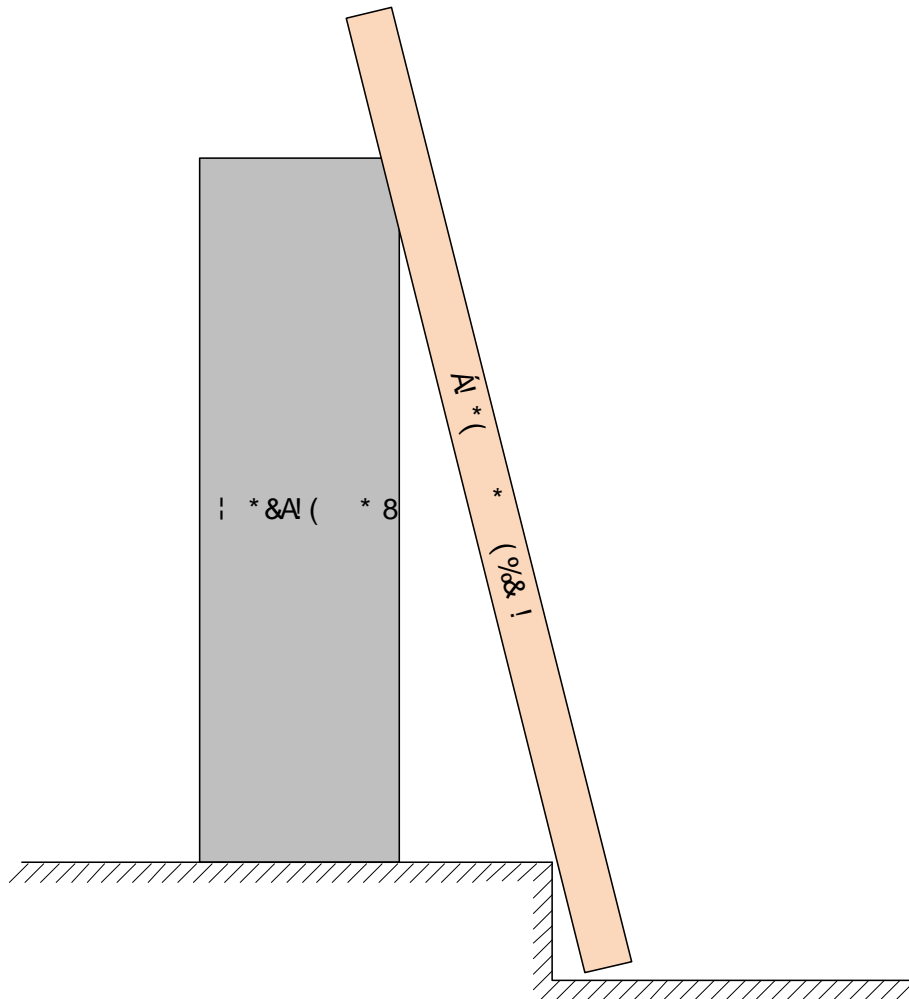


Рисунок 1.3 – Завантаження вапнякової печі

Скіповий підйомник представляє собою металеву конструкцію, яка нахилена до горизонту під кутом 76° , по якій прокладені швелерні рейки. По рейкам ходить вагонетка-скіп (рисунок 1.4). Скіп приводиться в рух підйомною лебідкою, за допомогою сталюого тросу (рисунок 1.5) [5].



Рисунок 1.4 – Елементи конструкції скіпового підйомника



Рисунок 1.5 – Підйомна лебідка скіпового підйомника

Основні технічні характеристики скіпового підйомника наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики скіпового підйомника

Параметри	Значення
Вантажопідйомність, кг	1100...1300
Маса скіпа, кг	800
Висота підйому, м	50
Кут нахилу, град.	76
Діаметр барабана підйомної лебідки, м	0,6
Передаточне число механічної передачі	63
Кількість циклів за годину	8

Кінематична схема скіпового підйомника зображена на рисунку 1.6.

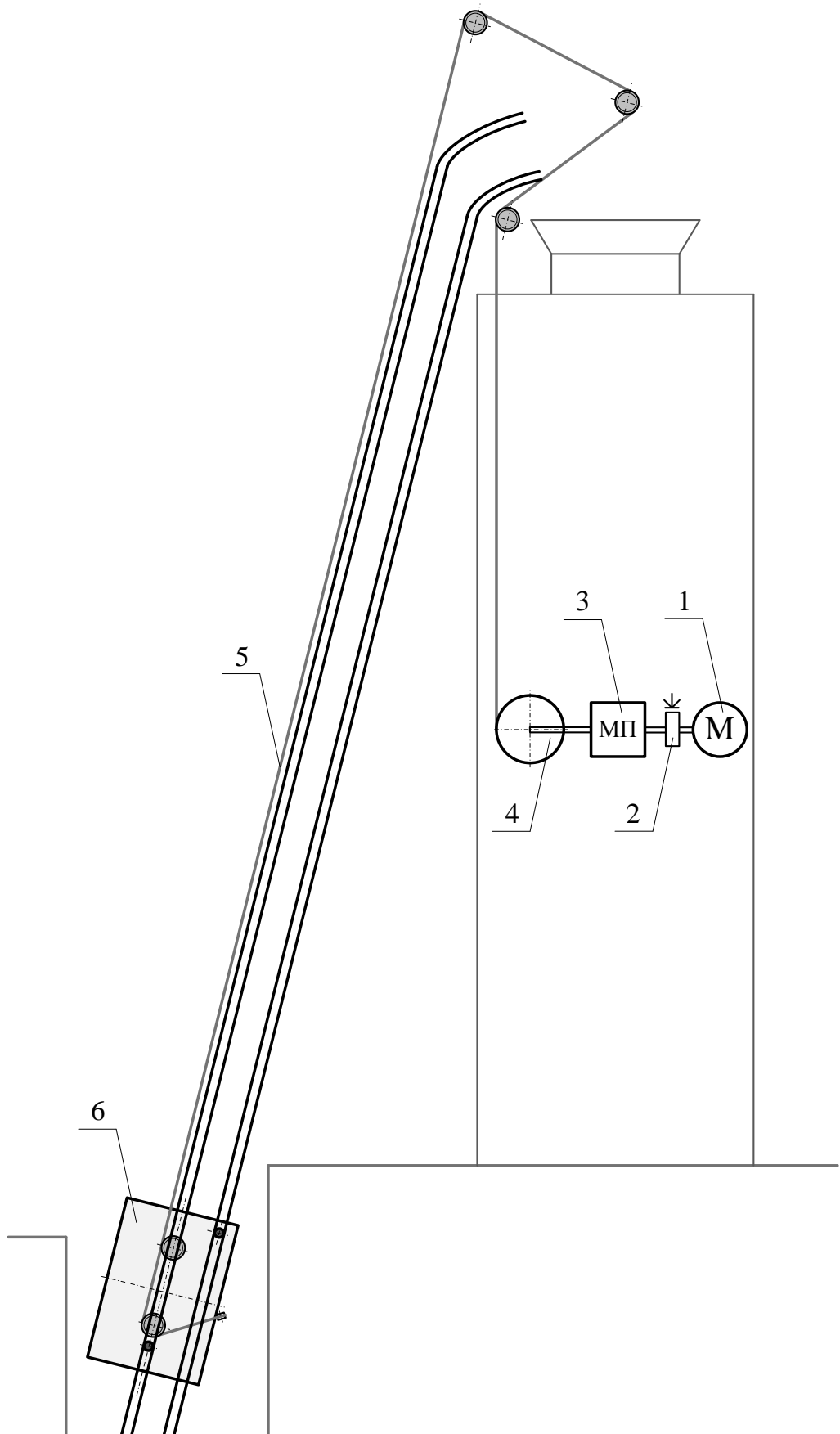


Рисунок 1.6 – Кінематична схема скіпового підйомника

На рисунку 1.6: 1 – приводний двигун; 2 – гальмівний шків; 3 – механічна передача; 4 – приводний барабан; 5 – тяговий трос; 6 – скіп.

Кінематична схема лебідки скіпового підйомника зображена на рисунку 1.7.

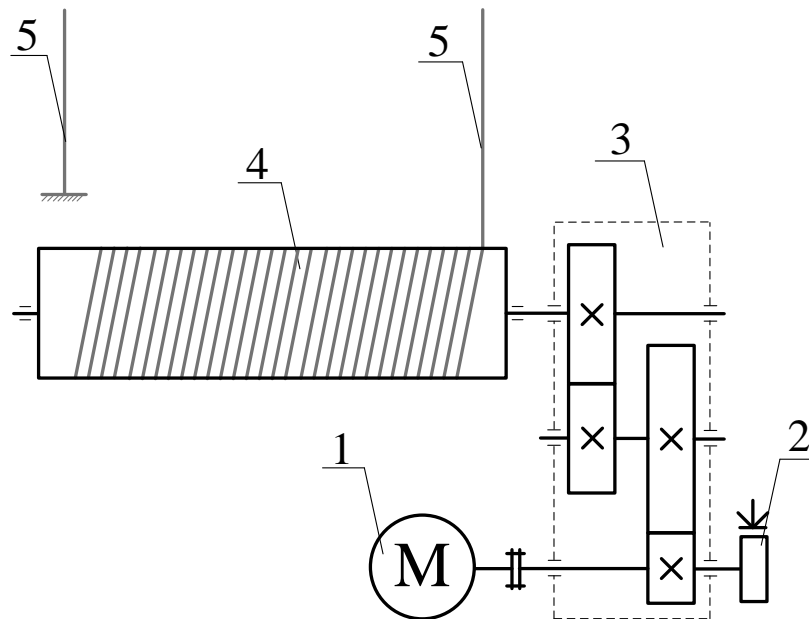


Рисунок 1.7 – Кінематична схема лебідки скіпового підйомника

Електропривод скіпового підйомника вапнякової печі повинен забезпечувати:

- 1) плавний розгін;
- 2) діапазон регулювання швидкості 5:1;
- 3) робота в режимі реверсу;
- 4) забезпечення точної зупинки скіпа;
- 5) зупинка скіпа повинна супроводжуватися накладенням механічного гальма;

б) живлення привода здійснюється від трифазної мережі змінного струму з частотою 50 Гц і напругою 380 В.

2 РОЗРАХУНОК СИЛОВОГО ПРИВОДА СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА

2.1 Розрахунок тахограми

Тахограма роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі складається з таких ділянок:

– завантаження скіпа ($t_{01} = 120$ с) (рисунок 2.1);



Рисунок 2.1 – Завантаження скіпа

- пуск та розгін скіпа до усталеної зниженої швидкості руху V_0 ;
- рух з усталеною швидкістю V_0 ;
- розгін скіпа до номінальної швидкості руху $V_{ном}$;
- рух з усталеною швидкістю $V_{ном}$;
- гальмування і розвантаження скіпа ($t_{02} = 9$ с) (рисунок 2.2).
- повернення розвантаженого скіпа на площадку завантаження.



Рисунок 2.2 – Розвантаження скіпа

Час циклу роботи механізму:

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{N_{\text{ц}}}, \quad (2.1)$$

$$t_{\text{ц}} = \frac{3600}{8} = 450 \text{ (с)}.$$

Сумарний час пауз за цикл роботи:

$$t_0 = t_{01} + t_{02}, \quad (2.2)$$

$$t_0 = 120 + 9 = 129 \text{ (с)}.$$

Час роботи механізму при пуску з допустимим прискоренням:

$$t_{\text{п}} = \frac{V_0}{a}, \quad (2.3)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ (с)}.$$

Час роботи механізму при розгоні від V_0 до $V_{\text{НОМ}}$:

$$t_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{НОМ}} - V_0}{a}, \quad (2.4)$$

$$t_{\text{пр}} = \frac{0,34 - 0,1}{0,2} = 1,2 \text{ (с)}.$$

Час роботи механізму при гальмуванні:

$$t_{\text{г}} = \frac{V_{\text{НОМ}}}{a}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{г}} = \frac{0,34}{0,2} = 1,7 \text{ (с)}.$$

Шлях, який проходить скіп при підйомі (опусканні):

$$S = \frac{H}{\sin(\alpha)}, \quad (2.6)$$

$$S = \frac{50}{\sin(76^\circ)} = 51,53 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходять скіп при пуску до швидкості V_0 :

$$S_{\text{п}} = \frac{V_0^2}{2 \cdot a}, \quad (2.7)$$

$$S_{\text{п}} = \frac{0,1^2}{2 \cdot 0,2} = 0,03 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходять скіп при розгоні від швидкості V_0 до $V_{\text{НОМ}}$:

$$S_{\text{пр}} = \frac{(V_{\text{НОМ}} - V_0)^2}{2 \cdot a}, \quad (2.8)$$

$$S_{\text{пр}} = \frac{(0,34 - 0,1)^2}{2 \cdot 0,2} = 0,14 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходять скіп при гальмуванні:

$$S_{\Gamma} = \frac{V_{\text{НОМ}}^2}{2 \cdot a}, \quad (2.9)$$

$$S_{\Gamma} = \frac{0,34^2}{2 \cdot 0,1} = 0,29 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходять скіп на усталеній швидкості V_0 :

$$S_{y0} = S_0 - S_{\Pi}, \quad (2.10)$$

де S_0 – шлях, який проходять скіп на зниженій швидкості V_0 ($S_0 = 1$ м),

$$S_{y0} = 1 - 0,03 = 0,97 \text{ (м)}.$$

Шлях, який проходять скіп на усталеній швидкості $V_{\text{НОМ}}$:

$$S_{y_{\text{НОМ}}} = S - S_0 - S_{\text{рГ}} - S_{\Gamma}, \quad (2.11)$$

$$S_{y_{\text{НОМ}}} = 51,53 - 1 - 0,14 - 0,29 = 50,1 \text{ (м)}.$$

Час роботи на усталеній швидкості V_0 :

$$t_{y0} = \frac{S_{y0}}{V_0}, \quad (2.12)$$

$$t_{y0} = \frac{0,97}{0,1} = 9,7 \text{ (с)}.$$

Час роботи на усталеній швидкості $V_{\text{НОМ}}$:

$$t_{y_{\text{НОМ}}} = \frac{S_{y_{\text{НОМ}}}}{V_{\text{НОМ}}}, \quad (2.13)$$

$$t_{y_{\text{НОМ}}} = \frac{50,1}{0,34} = 147,35 \text{ (с)}.$$

Сумарний час роботи механізму при підйомі та опусканні скіпа:

$$t_{\text{роб}} = 2 \cdot (t_{\text{п}} + t_{y0} + t_{\text{рг}} + t_{y_{\text{ном}}} + t_{\text{г}}), \quad (2.14)$$

$$t_{\text{роб}} = 2 \cdot (0,5 + 9,7 + 1,2 + 147,35 + 1,7) = 320,89 \text{ (с)}.$$

Фактична тривалість ввімкнення:

$$ТВ_{\text{ф}} = \frac{t_{\text{роб}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 100\%, \quad (2.15)$$

$$ТВ_{\text{ф}} = \frac{320,89}{450} \cdot 100\% = 71,31\% .$$

2.2 Розрахунок статичних навантажень

2.2.1 Підйом завантаженого скіпа

Зусилля, що діють на скіп при його підйомі зображені на рисунку 2.3.

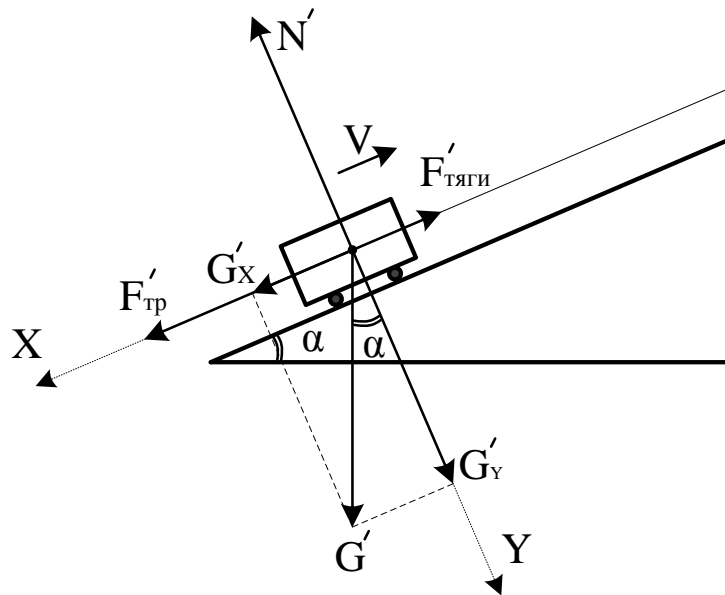


Рисунок 2.3 – Зусилля, що діють на скіп при підйомі

Проекції сил:

– на вісь Y:

$$G_Y' - N' = 0; \quad (2.16)$$

– на вісь X:

$$G_X' + F_{\text{тр}}' - F_{\text{тяги}}' = 0. \quad (2.17)$$

Проекції сил [6, 7]:

$$G_X' = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (2.18)$$

$$G_X' = (800 + 1300) \cdot 9,8 \cdot \sin 76^\circ = 20000 \text{ (Н)}.$$

$$G_Y' = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2.19)$$

$$G_Y' = (800 + 1300) \cdot 9,8 \cdot \cos 76^\circ = 4984 \text{ (Н)}.$$

Сила тертя [6, 7]:

$$F_{\text{тр}}' = G_Y' \cdot k_K \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{d_K}, \quad (2.20)$$

де k_K – коефіцієнт тертя катка скіпа об направляючі ($k_K = 2,5$);

μ – коефіцієнт тертя ковзання ($\mu = 0,3$);

f – коефіцієнт тертя кочення ($f = 0,05$ м),

d_K – діаметр катка скіпа ($d_K = 0,145$ м);

$d_{\text{ц}}$ – діаметр цапфи катка скіпа ($d_{\text{ц}} = 0,05$ м),

$$F_{\text{тр}}' = 4984 \cdot 2,5 \cdot \frac{(0,3 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,05)}{0,145} = 9882 \text{ (Н)}.$$

Момент статичного опору при підйомі завантаженого скіпа:

$$M_{\text{с_ном}} = \frac{(G_X' + F_{\text{тр}}') \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп}}}, \quad (2.21)$$

$$M_{c_ном} = \frac{(2000 + 9882) \cdot 0,6}{2 \cdot 63 \cdot 0,58} = 245,24 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

2.2.2 Опускання розвантаженого скіпа

Зусилля, що діють на скіп при його опусканні зображені на рисунку 2.4.

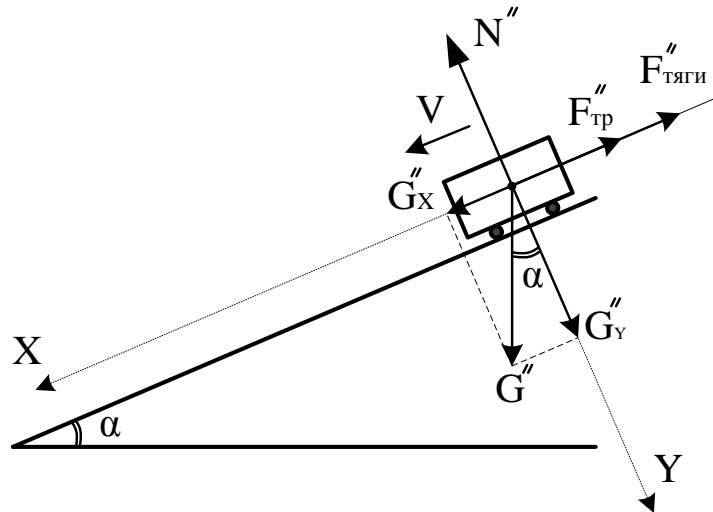


Рисунок 2.4 – Зусилля, що діють на скіп при опусканні

Проекції сил:

– на вісь Y:

$$G_Y'' - N'' = 0; \quad (2.22)$$

– на вісь X:

$$G_X'' - F_{тр}'' + F_{тяги}'' = 0. \quad (2.23)$$

Проекції сил [6, 7]:

$$G_X'' = m_0 \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (2.24)$$

$$G_X'' = 800 \cdot 9,8 \cdot \sin 76^\circ = 7615 \text{ (Н)}.$$

$$G_Y'' = m_0 \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2.25)$$

$$G_Y'' = 800 \cdot 9,8 \cdot \cos 76^\circ = 1900 \text{ (Н)}.$$

Сила тертя з врахуванням всіх коефіцієнтів тертя:

$$F_{\text{тр}}'' = G_Y'' \cdot k_k \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{d_k}, \quad (2.26)$$

$$F_{\text{тр}}'' = 1900 \cdot 2,5 \cdot \frac{(0,3 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,05)}{0,145} = 3764 \text{ (Н)}.$$

Момент статичного опору при спуску розвантаженого скіпа:

$$M_{c0} = \frac{(G_X'' - F_{\text{тр}}'') \cdot D_{\delta}}{2 \cdot i_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{мп}}}, \quad (2.27)$$

$$M_{c0} = \frac{(7615 - 3764) \cdot 0,6}{2 \cdot 63 \cdot 0,58} = 31,61 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Кутова швидкість двигуна при зниженій швидкості руху V_0 :

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 2 \cdot V_0}{D_{\delta}} \cdot i_{\text{ред}}, \quad (2.28)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,1}{0,6} \cdot 63 = 42 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Кутова швидкість двигуна при номінальній швидкості руху $V_{\text{ном}}$:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot V_{\text{ном}}}{D_{\delta}} \cdot i_{\text{ред}}, \quad (2.29)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,34}{0,6} \cdot 63 = 142,8 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Швидкість обертання двигуна при зниженій швидкості руху V_0 :

$$n_0 = \frac{60 \cdot \omega_0}{2 \cdot \pi}, \quad (2.30)$$

$$n_0 = \frac{60 \cdot 42}{2 \cdot \pi} = 401,07 \text{ (об/хв)}.$$

Швидкість обертання двигуна при номінальній швидкості руху $V_{\text{НОМ}}$:

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{60 \cdot \omega_{\text{НОМ}}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.31)$$

$$n_{\text{НОМ}} = \frac{60 \cdot 142,8}{2 \cdot \pi} = 1364 \text{ (об/хв)}.$$

Розрахункова статична потужність:

– при номінальному завантаженні та зниженій швидкості:

$$P_{c1} = M_{c_НОМ} \cdot \omega_0, \quad (2.32)$$

$$P_{c1} = 245,24 \cdot 42 = 10,3 \text{ (кВт)};$$

– при номінальному завантаженні та номінальній швидкості:

$$P_{c2} = M_{c_НОМ} \cdot \omega_{\text{НОМ}}, \quad (2.33)$$

$$P_{c2} = 245,24 \cdot 142,8 = 35 \text{ (кВт)};$$

– при порожньому скіпові та зниженій швидкості:

$$P_{c3} = M_{c0} \cdot \omega_0, \quad (2.34)$$

$$P_{c3} = 31,61 \cdot 42 = 1,33 \text{ (кВт)};$$

– при порожньому скіпові та номінальній швидкості:

$$P_{c4} = M_{c0} \cdot \omega_{\text{НОМ}}, \quad (2.35)$$

$$P_{c4} = 31,61 \cdot 142,8 = 4,51 \text{ (кВт)}.$$

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі в перехідних режимах:

$$\beta_{\text{перех}} = \frac{1 + \beta_0}{2}, \quad (2.36)$$

де β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі (для двигунів з самовентиляцією $\beta_0 = 0,5$),

$$\beta_{\text{перех}} = \frac{1 + 0,5}{2} = 0,75.$$

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при зниженій швидкості руху V_0 :

$$\beta_{y0} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (2.37)$$

$$\beta_{y0} = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{42}{142,8} = 0,65.$$

Еквівалентна потужність:

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\left(\left(P_{c1} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot (t_{\text{п}} + t_{y0}) + P_{c2}^2 \cdot (t_{\text{рг}} + t_{y_{\text{ном}}} + t_{\text{г}}) \right) + \frac{\left(\left(P_{c3} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot (t_{\text{п}} + t_{y0}) + P_{c3}^2 \cdot (t_{\text{рг}} + t_{y_{\text{ном}}} + t_{\text{г}}) \right)}{\left(\beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + \beta_{y0} \cdot t_{y0} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{рг}} + t_{y_{\text{ном}}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{г}} \right) + \left(\beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + \beta_{y0} \cdot t_{y0} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{рг}} + t_{y_{\text{ном}}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{г}} \right)}, \quad (2.38)$$

$$P_{\text{екв}} = 34,6 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункова потужність приводного двигуна:

$$P_{\text{роз}} = \kappa_3 \cdot P_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{\text{ст}}}}, \quad (2.39)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,1 \dots 1,3$),

$T_{B_{ст}}$ – стандартна тривалість ввімкнення ($T_{B_{ст}} = 100\%$),

$$P_{роз} = (1,1 \dots 1,3) \cdot 34,6 \cdot \sqrt{\frac{71,31}{100}} = 32,18 \div 38,03 \text{ (кВт)}.$$

Прирівнявши отриманий діапазон потужностей із стандартним рядом потужностей визначено, що для привода підйомної лебідки скіпового підйомника попередньо необхідно вибрати двигун потужністю 37 кВт.

2.4 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Для привода підйомної лебідки скіпового підйомника доцільно використовувати системи електричного привода, які передбачають регулювання швидкості вниз від основної, а також дозволяють реверсування і електричне гальмування, мають підвищений пусковий момент тощо. Цим вимогам відповідають системи електропривода типу ПЧ-АД, ТП-Д, ШП-ДПС, РКС-АД (двошвидкісний).

Використовувати двигуни постійного струму (ДПС) і системи побудовані на їх основі, в даному випадку, є недоцільним, оскільки вони мають значні масо-габаритні показники порівняно з двигунами змінного струму і потребують значно більших затрат на обслуговування та ремонт.

Двошвидкісні асинхронні двигуни (АД) порівняно з АД з короткозамкнутим (КЗ) ротором мають дещо більші масо-габаритні показники, більш дорогі, складніші за конструкцією. Окрім того, релейно-контакторна система керування (РКС) передбачає лише ступінчасте регулювання швидкості та більш складна для включення її в сучасну автоматизовану систему.

Система електричного привода типу ПЧ-АД характеризується широким діапазоном регулювання швидкості, а отримані характеристики мають високу

жорсткість. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють значно підвищити ефективність технологічного процесу і реалізувати найбільш економічний алгоритм керування приводним двигуном, а також – зекономити від 20 до 50% електроенергії порівняно з іншими електроприводами, не оснащеними перетворювачами частоти. Окрім того, перетворювачі частоти реалізують принцип відкритих систем, тому їх досить просто включити в системи комплексної автоматизації, що є суттєвою їх перевагою.

Для остаточного прийняття рішення щодо вибору системи електричного привода здійснимо порівняння розглянутих варіантів згідно критерію приведених витрат [6, 8].

Приведені витрати – показник порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень, який широко використовують при виборі кращого з варіантів вирішення технічних завдань. При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов, вважається варіант, що вимагає мінімуму приведених витрат [6, 8]:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i, \quad (2.40)$$

де i – кількість розглянутих варіантів;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K_i – капітальні вкладення, грн;

C_i – загальні щорічні відрахування, які враховуються в собівартості продукції (враховуючи і амортизаційні відрахування), грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні вкладення [6, 8]:

$$K = D + СК, \quad (2.41)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 29300$ грн [9]);

$СК$ – вартість системи керування ($СК = 82710$ грн [10]),

$$K = 29300 + 82710 = 112010 \text{ (грн).}$$

Річні капітальні витрати [6, 8]:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (2.42)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 112010 = 19041,70 \text{ (грн/рік).}$$

Загальні додаткові відрахування [6, 8]:

$$C = C_A + C_P + C_D + C_O, \quad (2.43)$$

де C_{Ai} – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_{Pi} – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_{Di} – додаткові відрахування, грн/рік;

C_{Oi} – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень [6, 8]:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (2.44)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 112010 = 11201 \text{ (грн/рік).}$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень [6, 8]:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (2.45)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 112010 = 2240,2 \text{ (грн/рік).}$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії системі електричного привода у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [6, 8]:

$$C_D = C_{D1} + C_{D2}, \quad (2.46)$$

де C_{D1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік;

$C_{Д2}$ – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік [6, 8]:

$$C_{Д1} = \Delta W_{\Sigma ДВ} \cdot c, \quad (2.47)$$

де $\Delta W_{ДВ}$ – кількість втраченої електроенергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн/(кВт·год) (згідно даних служби головного енергетика підприємства, вартість електроенергії для живлення електрообладнання вапнякової печі, яка живиться від лінії 35 кВ, станом на 29.05.2020 р. складає $c = 1,932$ грн/(кВт·год) з врахуванням ПДВ. Така вартість пояснюється тим, що на підприємстві є власна парова турбіна, яка використовується для генерації електроенергії).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік [6, 8]:

$$\Delta W_{\Sigma ДВ} = (\Delta P_{НОМ} + \Delta P_{перех.}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.48)$$

де $\Delta P_{НОМ}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{перех.}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності ($k_3 \approx 0,8$);

Φ – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи [6, 8]:

$$\Delta P_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot \frac{1 - \eta_{НОМ}}{\eta_{НОМ}}, \quad (2.49)$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{НОМ} = 37$ кВт);

$\eta_{НОМ}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{НОМ} = 0,91$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 37 \cdot \frac{1 - 0,91}{0,91} = 3,7 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних [6, 8]:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (2.50)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 3,7 = 0,37 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік [6, 8]:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (2.51)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 0,7131$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 120$ 1/рік);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 2$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 12$ год),

$$\Phi = 0,7131 \cdot 120 \cdot 2 \cdot 12 = 2053,7 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (2.48) [6, 8]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (3,7 + 0,37) \cdot 0,8 \cdot 2053,7 = 6613,5 \text{ ((кВт} \cdot \text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.47) [6, 8]:

$$C_{\text{д1}} = 6613,5 \cdot 1,932 = 12777,2 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік [6, 8]:

$$C_{\text{д2}} = \Delta W_{\Sigma \text{ск}} \cdot c, \quad (2.52)$$

де $\Delta W_{\Sigma \text{ск}}$ – кількість втраченої електроенергії в системі керування за рік, (кВт·год)/рік.

Втрати енергії в системі керування за рік [6, 8]:

$$\Delta W_{\Sigma \text{СК}} = \Delta P_{\text{СК}} \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (2.53)$$

де $\Delta P_{\text{СК}}$ – втрати потужності в системі керування, кВт.

Втрати потужності в системі керування [6, 8]:

$$\Delta P_{\text{СК}} = P_{\text{СП}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ПП}}}{\eta_{\text{ПП}}}, \quad (2.54)$$

де $P_{\text{ПП}}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{\text{ПП}} = 45$ кВт);

$\eta_{\text{ПП}}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{\text{ПП}} = 0,98$),

$$\Delta P_{\text{СК}} = 45 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 0,92 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (2.53):

$$\Delta W_{\Sigma \text{СК}} = 0,92 \cdot 0,8 \cdot 2053,7 = 1508,9 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.52):

$$C_{\text{Д2}} = 1508,9 \cdot 1,932 = 2915,12 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (2.46):

$$C_{\text{Д}} = 12777,2 + 2915,12 = 15692,32 \text{ (грн/рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат [6, 8]:

$$C_{\text{О}} = 0,05 \cdot (C_{\text{А}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{Д}}), \quad (2.55)$$

$$C_{\text{О}} = 0,05 \cdot (11201 + 2240,2 + 15692,32) = 1456,68 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (2.43):

$$C = 11201 + 2240,2 + 15692,32 + 1456,68 = 30590,19 \text{ (грн/рік)}.$$

Приведені витрати згідно формули (2.40):

$$З = 0,17 \cdot 112010 + 30590,19 = 49631,89 \text{ (грн/рік)}.$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода			
	РКС-АД 2-шв	ТП-Д	ШП- ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	67390	73250	73250	29300
Вартість системи керування СК, грн	33084	74439	66168	82710
Капітальні вкладення К, грн	100474	147689	139418	112010
Річні капітальні витрати $K_{річн}$, грн/рік	17080,58	25107,13	23701,06	19041,70
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	10047,40	14768,90	13941,80	11201,00
Відрахування на ремонт C_R , грн/рік	2009,48	2953,78	2788,36	2240,20
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	28648,41	20295,14	20295,14	15692,32
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	2035,26	1900,89	1851,26	1456,68
Загальні відрахування C , грн/рік	42740,55	39918,71	38876,56	30590,19
Приведені витрати З, грн/рік	59821,13	65025,84	62577,62	49631,89

Як випливає із результатів розрахунків найбільш економічно вигідним є використання системи ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 49631,89 грн/рік.

2.5 Вибір приводного двигуна

Згідно розрахункових даних для привода підйомної лебідки скіпового підйомника вибираємо АД з КЗ ротором типу 4А200М4 [11] (таблиця 2.2) відповідно до умов [6]:

$$\begin{cases} P_{\text{дв.н}} \geq P_{\text{роз}}, \\ \omega_{\text{дв.н}} \geq \omega_{\text{роз}}. \end{cases} \quad (2.56)$$

Таблиця 2.2 – Технічні дані приводного двигуна

Тип двигуна	4А200М4
Номінальна потужність $P_{\text{дв.н}}$, кВт	37
Номінальна напруга $U_{\text{дв.н}}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{дв.н}}$, об/хв	1475
$\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,9
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{дв.н}}$, %	0,91
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{пуск}}$	1,4
Кратність критичного моменту $\lambda_{\text{к}}$	2,0
Номінальний струм статора $I_{\text{дв.н}}$, А	68,8
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{I.пуск}}$	7,0
Активний опір обмотки статора R_1 , Ом	0,125
Приведений активний опір обмотки ротора R'_2 , Ом	0,058
Індуктивний опір розсіювання обмотки статора X_1 , Ом	0,273
Приведений індуктивний опір розсіювання обмотки ротора X'_2 , Ом	0,45
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,37

Синхронна кутова швидкість обертання приводного двигуна [8]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}, \quad (2.57)$$

де f_1 – частота напруги живлення ($f_1 = 50$ Гц);

p – число пар полюсів електричної машини ($p = 2$),

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання [8]:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot n_{\text{дв.н}}}{60}, \quad (2.58)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = \frac{2\pi \cdot 1475}{60} = 154 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальний момент приводного двигуна [8]:

$$M_{\text{дв.н}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{дв.н}}}{n_{\text{дв.н}}}, \quad (2.59)$$

$$M_{\text{дв.н}} = 9550 \cdot \frac{37}{1475} = 240 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Критичний момент приводного двигуна [8]:

$$M_{\text{дв.к}} = \lambda_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (2.60)$$

$$M_{\text{дв.к}} = 2,0 \cdot 240 = 480 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий момент приводного двигуна [8]:

$$M_{\text{дв.пуск}} = \lambda_{\text{пуск}} \cdot M_{\text{дв.н}}, \quad (2.61)$$

$$M_{\text{дв.пуск}} = 1,4 \cdot 240 = 335,38 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий струм приводного двигуна [8]:

$$I_{\text{дв.пуск}} = \lambda_{\text{I.пуск}} \cdot I_{\text{дв.н}}, \quad (2.62)$$

$$I_{\text{дв.пуск}} = 7,0 \cdot 68,8 = 481,6 \text{ (A)}.$$

Номинальне ковзання [8]:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0}, \quad (2.63)$$

$$s_{\text{н}} = \frac{157,08 - 154}{157,08} = 0,02.$$

Критичне ковзання [8]:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot (\lambda_{\text{к}} + \sqrt{\lambda_{\text{к}}^2 - 1}), \quad (2.64)$$

$$s_{\text{к}} = 0,02 \cdot (2,0 + \sqrt{2,0^2 - 1}) = 0,073.$$

Номинальна фазна напруга приводного двигуна при з'єднанні обмоток статора в зірку:

$$U_{\text{ф.ном}} = \frac{U_{\text{дв.н}}}{\sqrt{3}}, \quad (2.65)$$

$$U_{\text{ф.ном}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}.$$

Для побудови природної механічної характеристики АД з КЗ ротором можна скористатись формулою Клоса або формулою Чекунова.

Механічна характеристика згідно формули Клоса [8]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}} \cdot (1 + a \cdot s_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + 2 \cdot a \cdot s_{\text{к}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (2.66)$$

де a – розрахунковий коефіцієнт,

$$a = \frac{R_1}{R'_2}, \quad (2.67)$$

$$a = \frac{0,125}{0,058} = 2,16.$$

Згідно рівняння (2.66):

$$M(s) = \frac{2 \cdot 480 \cdot (1 + 2,16 \cdot 0,073)}{\frac{s}{0,073} + 2 \cdot 2,16 \cdot 0,073 + \frac{0,073}{s}}.$$

Механічна характеристика згідно формули Чекунова [8]:

$$M(s) = M_K \cdot \frac{2 + (s^2 - s_K^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (2.68)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт,

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{\text{пуск}}}{\lambda_K} \cdot \left(\frac{1}{s_K} + s_K \right) - 2}{1 - s_K^2}, \quad (2.69)$$

$$K_s = \frac{\frac{1,4}{2,0} \cdot \left(\frac{1}{0,073} + 0,073 \right) - 2}{1 - 0,073^2} = 7,66.$$

Згідно рівняння (2.68):

$$M(s) = 480 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,073^2) \cdot 7,66}{\frac{s}{0,073} + \frac{0,073}{s}}.$$

Приведений струм ротора (рівняння електромеханічної характеристики) [8]:

$$I'_2(s) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}, \quad (2.70)$$

$$I'_2(s) = \frac{219,4}{\sqrt{\left(0,125 + \frac{0,058}{s}\right)^2 + (0,273 + 0,45)^2}}$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд [8]:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (2.71)$$

Природні електромеханічна та механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані окремо за формулами Клоса та Чекунова зображені на рисунку 2.5.

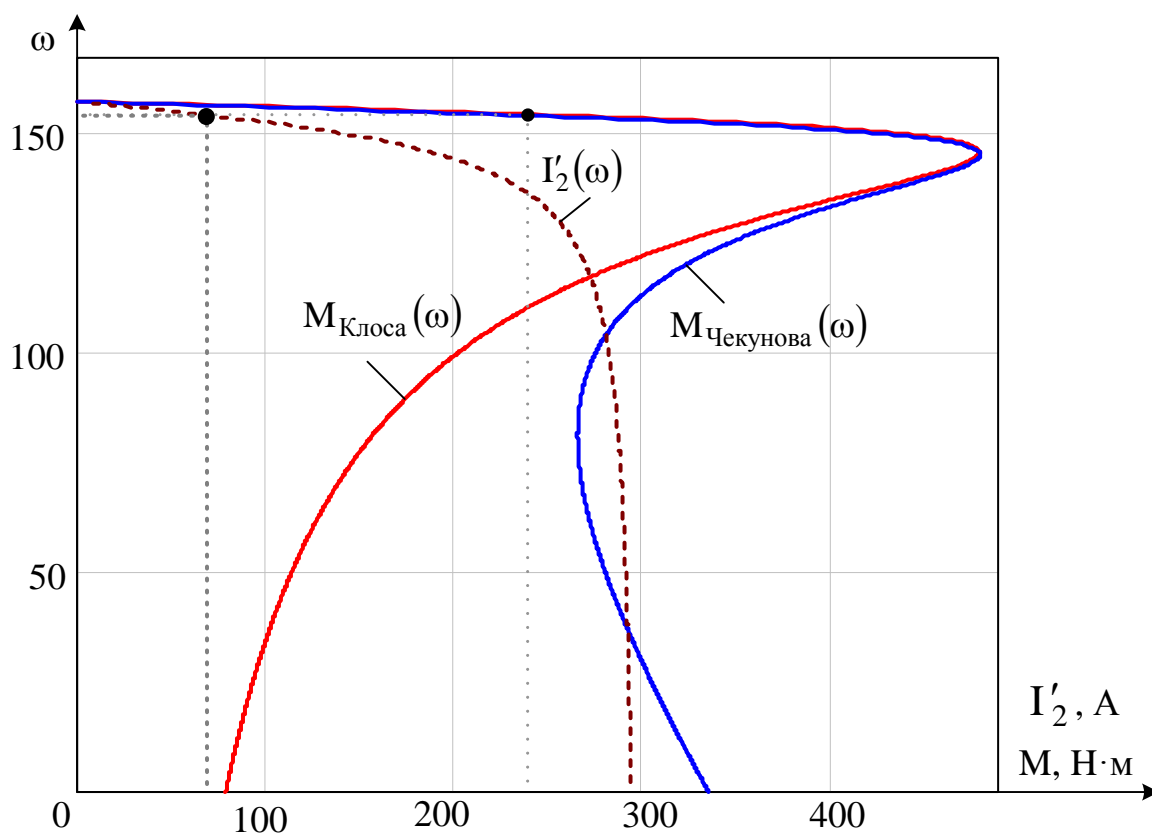


Рисунок 2.5 – Природні електромеханічна та механічні характеристики двигуна типу 4A200M4

2.6 Розрахунок динамічних навантажень

Кутове прискорення двигуна при пусках та гальмуваннях з заданим прискоренням:

$$\varepsilon_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot a \cdot i_{\text{ред}}}{D_{\delta}}, \quad (2.72)$$

$$\varepsilon_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 63}{0,6} = 84 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Момент інерції скіпового підйомника приведений до вала двигуна при пустому скіпові:

$$J_0 = 1,4 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{гш}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\delta}}{i_{\text{ред}}^2} + m_0 \cdot \frac{V_{\text{ном}}^2}{\omega_{\text{ном}}^2}, \quad (2.73)$$

$$J_0 = 1,4 \cdot 0,37 + 0,2 + 0,25 + \frac{10,7}{63^2} + 800 \cdot \frac{0,34^2}{142,8^2} = 0,975 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Момент інерції скіпового підйомника приведений до вала двигуна при номінальному завантаженні скіпа:

$$J_{\text{нав}} = 1,4 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{гш}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\delta}}{i_{\text{ред}}^2} + (m_0 + m_{\text{ном}}) \cdot \frac{V_{\text{ном}}^2}{\omega_{\text{ном}}^2}, \quad (2.74)$$

$$J_{\text{нав}} = 1,4 \cdot 0,37 + 0,2 + 0,25 + \frac{10,7}{63^2} + (800 + 1300) \cdot \frac{0,34^2}{142,8^2} = 0,983 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Динамічний момент при пуску (гальмуванні) в режимі холостого ходу:

$$M_{\text{д}0} = J_0 \cdot \varepsilon_{\text{дв}}, \quad (2.75)$$

$$M_{\text{д}0} = 0,975 \cdot 84 = 81,92 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Динамічний момент при пуску (гальмуванні) в режимі номінального навантаження:

$$M_{д_{нав}} = J_{нав} \cdot \varepsilon_{дв}, \quad (2.76)$$

$$M_{д_{нав}} = 0,983 \cdot 84 = 82,54 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Сумарні моменти (приведені до вала двигуна) на ділянках навантажувальної діаграми привода:

– при пуску та розгоні при підйомі завантаженого скіпа:

$$M_{\Sigma п_ном} = M_{с_ном} + M_{д_{нав}}, \quad (2.77)$$

$$M_{\Sigma п_ном} = 245,24 + 82,54 = 327,78 \text{ (Н}\cdot\text{м)};$$

– при гальмуванні при підйомі завантаженого скіпа:

$$M_{\Sigma г_ном} = M_{с_ном} - M_{д_{нав}}, \quad (2.78)$$

$$M_{\Sigma г_ном} = 245,24 - 82,54 = 162,7 \text{ (Н}\cdot\text{м)};$$

– при пуску та розгоні при опусканні пустого скіпа:

$$M_{\Sigma п0} = -M_{с0} - M_{д0}, \quad (2.79)$$

$$M_{\Sigma п0} = -31,61 - 81,92 = -113,53 \text{ (Н}\cdot\text{м)};$$

– при гальмуванні при опусканні пустого скіпа:

$$M_{\Sigma г0} = -M_{с0} + M_{д0}, \quad (2.80)$$

$$M_{\Sigma г0} = -31,61 + 81,92 = 50,31 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Навантажувальна діаграма електропривода, побудована за розрахунковими даними, зображена на рисунку 2.6.

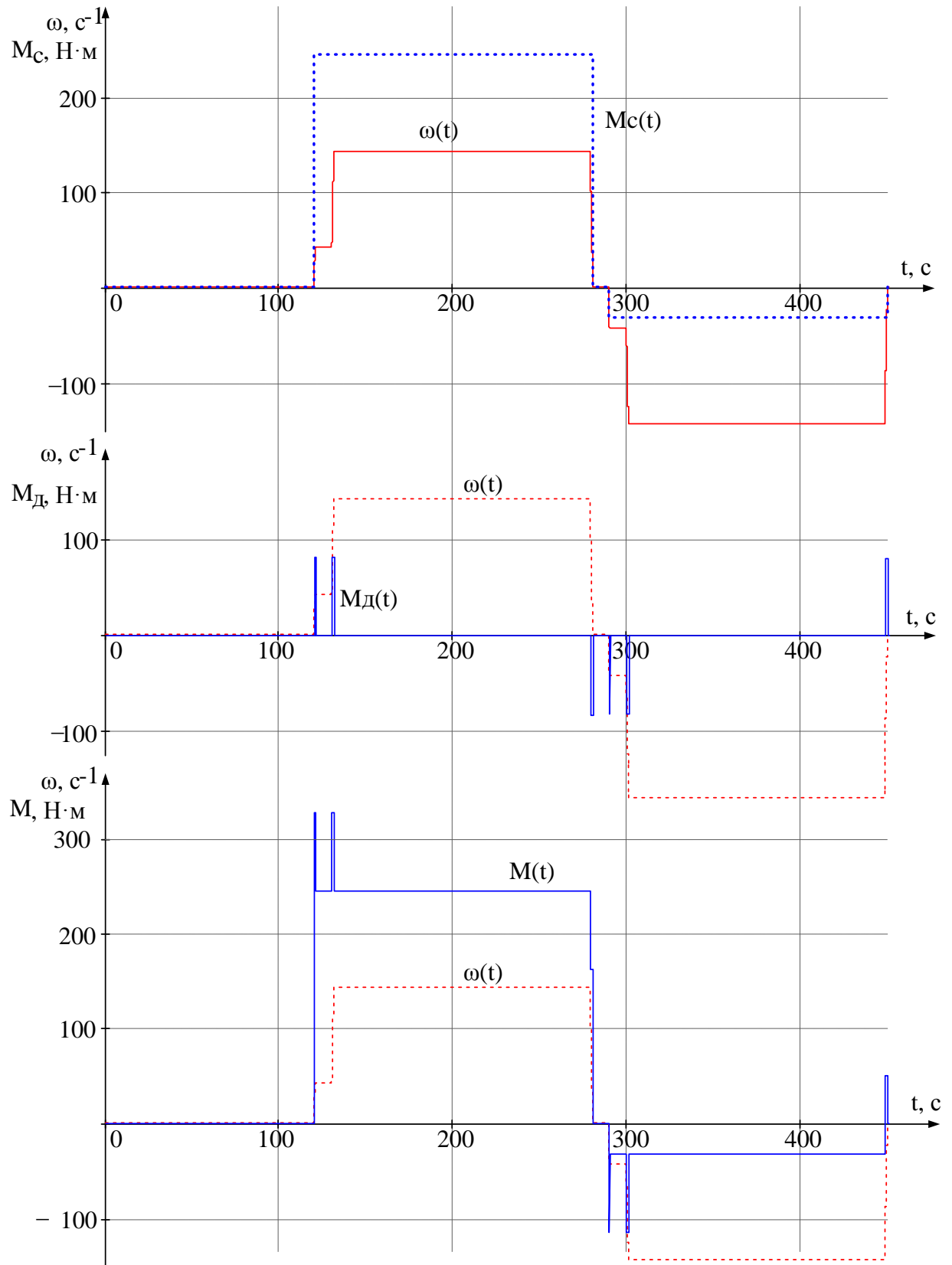


Рисунок 2.6 – Навантажувальна діаграма електропривода скіпового підйомника вапнякової печі

2.7 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Для перевірки правильності вибору потужності приводного двигуна виконаємо його перевірку за нагрівом відповідно до умови:

$$M_{\text{дв.н}} \geq M_{\text{екв}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{в}\phi}}{T_{\text{в}\text{ст}}}}, \quad (2.81)$$

де $M_{\text{дв.н}}$ – номінальний момент приводного двигуна;

$M_{\text{екв}}$ – еквівалентний момент з урахуванням динаміки.

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\left(M_{\Sigma\text{п_ном}}^2 \cdot (t_{\text{п}} + t_{\text{рг}}) + M_{\text{с_ном}}^2 \cdot (t_{\text{y0}} + t_{\text{y_ном}}) + M_{\Sigma\text{г_ном}}^2 \cdot t_{\text{г}} \right) + \left(M_{\Sigma\text{п}0}^2 \cdot (t_{\text{п}} + t_{\text{рг}}) + M_{\text{с}0}^2 \cdot (t_{\text{y0}} + t_{\text{y_ном}}) + M_{\Sigma\text{г}0}^2 \cdot t_{\text{г}} \right)}{\left(\beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + \beta_{\text{y0}} \cdot t_{\text{y0}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{рг}} + \beta_{\text{y_ном}} \cdot t_{\text{y_ном}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{г}} \right) + \left(\beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + \beta_{\text{y0}} \cdot t_{\text{y0}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{рг}} + \beta_{\text{y_ном}} \cdot t_{\text{y_ном}} + \beta_{\text{п}} \cdot t_{\text{г}} \right)}, \quad (2.82)$$

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при усталеній роботі на зниженій швидкості V_0 :

$$\beta_{\text{y0}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.83)$$

$$\beta_{\text{y0}} = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{42}{154} = 0,64.$$

Коефіцієнт погіршення тепловіддачі при усталеній номінальній швидкості $V_{\text{ном}}$:

$$\beta_{\text{y_ном}} = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (2.84)$$

$$\beta_{\text{y_ном}} = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot \frac{142,8}{154} = 0,96.$$

Відповідно до рівняння (2.82):

$$M_{\text{екв}} = 181,13 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Відповідно до умови (2.81):

$$240 \geq 181,13 \cdot \sqrt{\frac{71,31}{100}} = 152,96.$$

Оскільки умова перевірки виконується, то приводний двигун, при заданих умовах роботи, перегріватись не буде.

Умова перевірки двигуна на перевантажувальну здатність:

$$M_{\text{дв.к}} \geq M_{\Sigma\text{п_ном}}, \quad (2.85)$$

$$480 \geq 327,78.$$

Умова перевірки на перевантажувальну здатність виконується.

Оскільки для привода скіпового підйомника використовується система ЕП типу ПЧ-АД, то при частотному пуску забезпечується пусковий момент близький до критичного. Отже умови пуску будуть також виконуватись.

Висновок. Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволяє констатувати що:

– електропривод підйомної лебідки скіпового підйомника вапнякової печі працює в повторно-короткочасному режимі;

– для привода підйомної лебідки скіпового підйомника вапнякової печі найбільш економічно вигідним є використання системи електричного привода типу ПЧ-АД, оскільки приведені витрати для неї є найменшими і становлять 49631,89 грн/рік.

– базуючись на результатах розрахунків для привода лебідки скіпа вибрано двигун потужністю 37 кВт, який забезпечує надійний пуск, необхідну динаміку та не буде перегріватись під час роботи.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА

3.1 Розробка функціональної схеми САЕП скіпового підйомника

Згідно ТЕО для привода скіпового підйомника вапнякової печі доцільно використовувати систему електричного привода типу ПЧ-АД.

Як відомо розрізняють такі типи керованих напівпровідникових ПЧ:

- перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму і автономним інвертором напруги (АІН) або струму (АІС);
- перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком мережі живлення і навантаження (БПЧ) [12, 13].

Для привода більшості промислових механізмів використовують ПЧ з проміжною ланкою постійного струму і автономним інвертором напруги та широтно-імпульсним регулюванням напруги [12, 13].

В таких перетворювачах використовуються ключі з високою частотою комутації (до 20 кГц). Завдяки високій частоті комутації та з врахуванням фільтрувальних властивостей обмоток машин змінного струму, можна сказати, що струм у статорі машини має практично синусоїдальну форму, суттєво зменшуючи пульсації моменту на низьких швидкостях обертання. Це дає можливість одержати широкий діапазон регулювання швидкості [14].

Відповідна функціональна схема електропривода за системою ПЧ-АД з ШІМ та зворотними зв'язками за швидкістю та струмом зображена на рисунку 3.1.

Силова частина схеми містить випрямляч, ланку постійного струму з вузлом ES для скидання енергії, що отримується від двигуна при його роботі в генераторних режимах, інвертор, а також сенсори вихідних струмів інвертора.

Відповідна принципова схема силової частини зображена на рисунку 3.2.

В якості сенсора швидкості використовується імпульсний датчик.

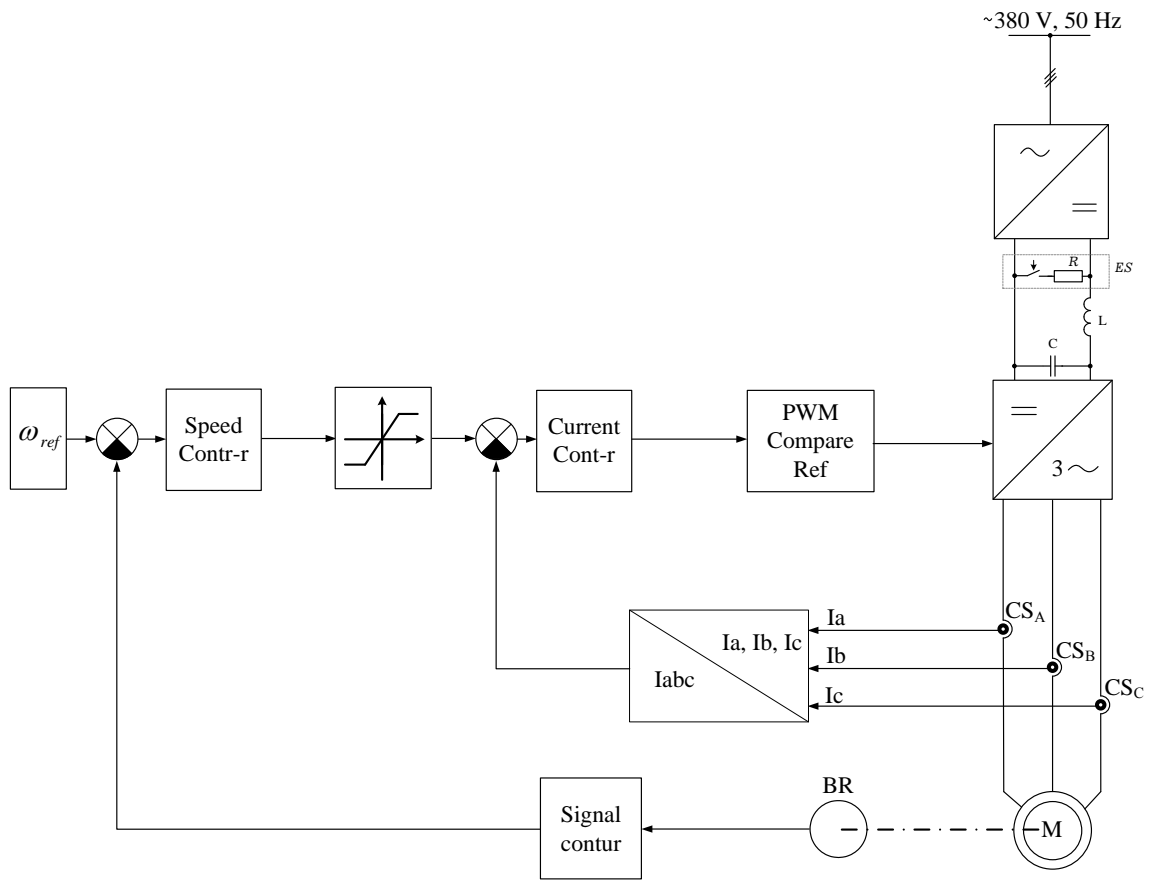


Рисунок 3.1 – Схема функціональна електропривода за системою ПЧ-АД

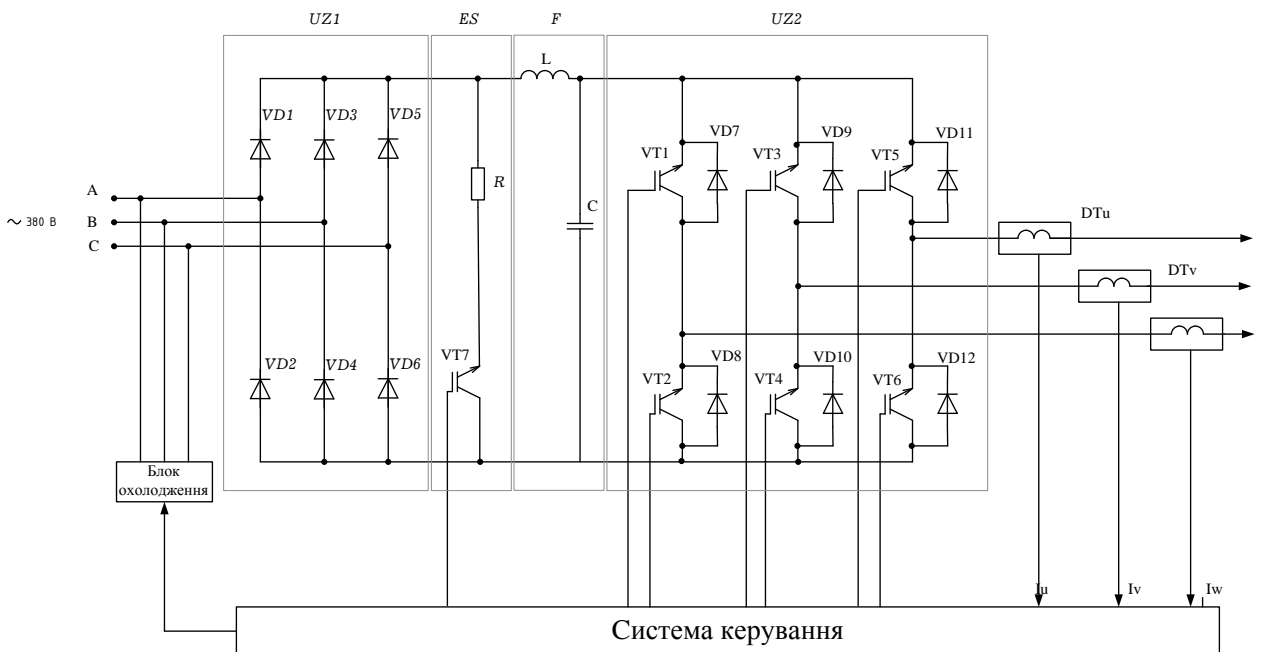


Рисунок 3.2 – Принципова схема силової частини ПЧ з АІН та ШІМ

3.2 Вибір силового перетворювача

Умови вибору перетворювача частоти [3, 5]:

$$\begin{cases} P_{\text{ПЧ}} \geq P_{\text{дв.сп}}, \\ I_{\text{ПЧ}} \geq I_{\text{дв.н}}, \end{cases} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{дв.сп}}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі, кВт;

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

Споживана електродвигуном потужність [6, 8]:

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{k \cdot P_{\text{дв.н}}}{\eta_{\text{дв.н}}}, \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт спотворення струму на виході перетворювача частоти ($k = 0,95 \dots 1,05$),

$$P_{\text{дв.сп}} = \frac{1,05 \cdot 37}{0,91} = 42,69 \text{ (кВт)}.$$

Оскільки робота приводного двигуна характеризується важкими умовами пуску, то перетворювач частоти вибирають також із врахуванням таких умов [6, 8]:

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{P_{\text{дв.пуск}}}{\lambda_{\text{ПЧ}}}, \quad (3.3)$$

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq \frac{k \cdot n_{\text{НОМ}}}{9,55 \cdot \eta_{\text{дв.н}} \cdot \cos \varphi \cdot U_{\text{дв.н}} \cdot \sqrt{3}} \cdot M_{\Sigma \Pi - \text{НОМ}}, \quad (3.4)$$

де $P_{\text{дв.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна, кВт;

$\lambda_{\text{ПЧ}}$ – перевантажувальна здатність перетворювача ($\lambda_{\text{ПЧ}} = 1,2 \dots 1,7$).

Пускова потужність приводного двигуна [6, 8]:

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{k \cdot n_{\text{НОМ}}}{9550 \cdot \eta_{\text{дв.н}}} \cdot M_{\Sigma\Pi_НОМ}, \quad (3.5)$$

$$P_{\text{дв.пуск}} = \frac{1,05 \cdot 1364}{9550 \cdot 0,91} \cdot 327,78 = 54 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до умови (3.3):

$$P_{\text{ПЧ}} \geq \frac{54}{1,5} = 36 \text{ (кВт)}.$$

Відповідно до умови (3.4):

$$I_{\text{ПЧ.пуск}} \geq \frac{1,05 \cdot 1364}{9,55 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot 327,78 = 91,17 \text{ (А)}.$$

Відповідно до розрахункових даних вибираємо з частотний перетворювач Hitachi SJ700B-450HFF (рисунок 3.3). Його технічні характеристики наведені в таблиці 3.1 [10, 15].



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд ПЧ Hitachi SJ700B-450HFF

Таблиця 3.1– Технічні характеристики перетворювача частоти

Характеристики	Значення
Номінальна потужність	45 кВт
Номінальний струм	85 А
Напруга на вході	3-фазна 380 ... 480 В, +10%, -15%
Частота напруги живлення	50/60 Гц ± 5%
Напруга на виході	3-фазна 380 ... 480 В
Вихідна частота	0,1...400 Гц
Час розгону, с	0,01...3600
Час гальмування, с	0,01...3600
Фільтр	ЕМС
Гальмівний блок	опція
Аналогові входи	3
Дискретні входи	5
Аналогові виходи	2
Дискретні виходи	2
Інтерфейс	RS485 (Modbus RTU)
Пусковий момент	150%
Регулятор	ПІД
Векторне керування	+
Робоча температура	-10 °С...+50°С
Ступінь захисту корпусу	IP20

3.3 Розробка структурної схеми САЕП скіпового підйомника та розрахунок регуляторів

Структурна схема двоконтурної системи електричного привода типу ПЧ-АД з внутрішнім зворотним зв'язком за моментом та швидкістю представлена на рисунку 3.4 [16].

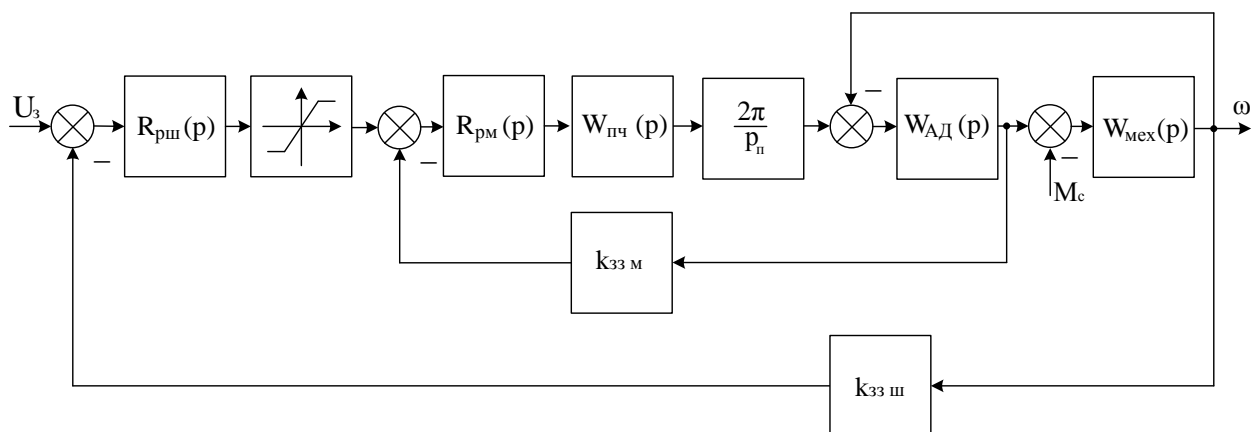


Рисунок 3.4 – Структурна схема електропривода за системою ПЧ-АД

Передаточна функція АД:

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1}, \quad (3.6)$$

де β – модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики

АД;

T_e – електромагнітна стала часу АД,

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{\text{дв.к}}}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}}}, \quad (3.7)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 480}{157,08 \cdot 0,073} = 83,37.$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k}, \quad (3.8)$$

$$T_e = \frac{1}{157,08 \cdot 0,073} = 0,087 \text{ (с)}.$$

Відповідно до (3.6):

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{83,37}{0,087 \cdot p + 1}.$$

Передаточна функція механічної частини АД:

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{J_{\text{пр}} \cdot p}, \quad (3.9)$$

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{0,983 \cdot p}.$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (3.10)$$

де $K_{\text{пч}}$ – коефіцієнт підсилення перетворювача частоти

$T_{\text{пч}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{пч}} = 0,005 \text{ с}$),

$$K_{\text{пч}} = \frac{f_{\text{max}}}{U_{\text{max}}}, \quad (3.11)$$

де f_{max} – максимальна частота ($f_{\text{max}} = 50 \text{ Гц}$);

U_{max} – максимальна напруга за датчика інтенсивності ($U_{\text{max}} = 10 \text{ В}$),

$$K_{\text{пч}} = \frac{50}{10} = 5.$$

Відповідно до (3.10):

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{5}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{33 \text{ ш}} = \frac{U_{\max}}{\omega_{\text{дв.н}}}, \quad (3.12)$$

$$k_{33 \text{ ш}} = \frac{10}{154} = 0,065.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом:

$$k_{33 \text{ м}} = \frac{U_{\max}}{M_{\text{дв.к}}}, \quad (3.13)$$

$$k_{33 \text{ м}} = \frac{10}{480} = 0,021.$$

Для розрахунку параметрів налаштувань регулятора моменту зведемо внутрішній контур регулювання моменту до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 3.5).

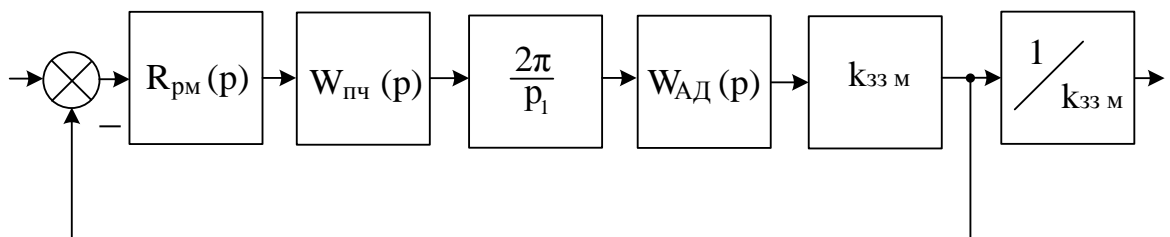


Рисунок 3.5 – Структурна схема внутрішнього контура моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція об'єкта регулювання контуру моменту:

$$W_{\text{м}}(p) = W_{\text{пч}}(p) \cdot \frac{2\pi}{p_1} \cdot W_{\text{Ад}}(p) \cdot k_{33 \text{ м}}, \quad (3.14)$$

$$W_{\text{м}}(p) = \frac{27,33}{(0,087 \cdot p + 1) \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

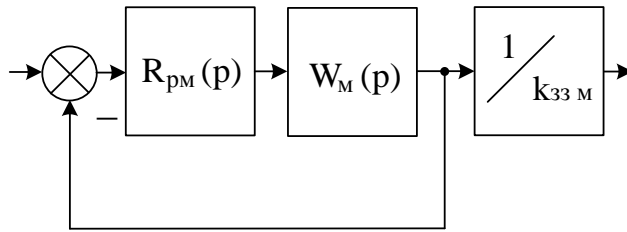


Рисунок 3.6 – Структурна схема внутрішнього контуру моменту зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Загальна передаточна функція контуру моменту:

$$G_M(p) = R_{pm}(p) \cdot W_M(p), \quad (3.15)$$

Згідно модульного критерію оптимізації:

$$G_M(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0M} \cdot p \cdot (T_{0M} \cdot p + 1)}, \quad (3.16)$$

де T_{0M} – мала некомпенсована стала часу контуру моменту (приймаємо $T_{0M} = T_{пч} = 0,005$ с),

$$G_M(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Передаточна функцію регулятора моменту:

$$R_{pm}(p) = \frac{G_M(p)}{W_M(p)}, \quad (3.17)$$

$$R_{pm}(p) = \frac{3,658}{p} + 0,3183.$$

Для розрахунку параметрів налаштувань регулятора швидкості зведемо зовнішній контур швидкості до одиничного зворотного зв'язку (рисунок 3.7).

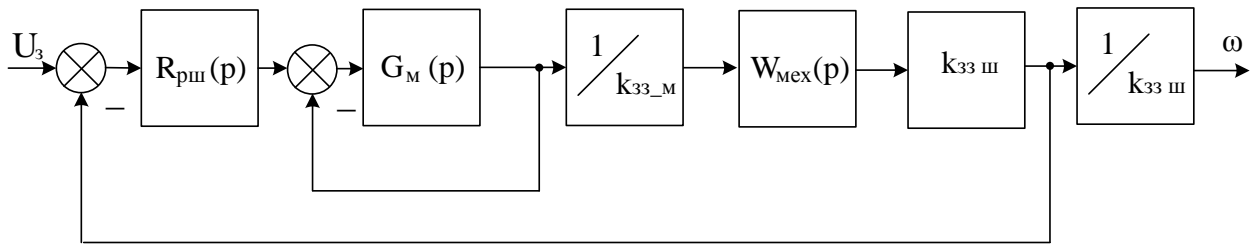


Рисунок 3.7 – Структурна схема зовнішнього контуру швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контуру регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку:

$$W_{\text{мм}}(p) = \frac{G_{\text{м}}(p)}{1 + G_{\text{м}}(p)}, \quad (3.18)$$

$$W_{\text{мм}}(p) = \frac{20000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

Передаточна функція об'єкта регулювання зовнішнього контуру швидкості:

$$W_{\text{ш}}(p) = W_{\text{мм}}(p) \cdot \frac{1}{k_{\text{зз м}}} \cdot W_{\text{мех}}(p) \cdot k_{\text{зз ш}}, \quad (3.19)$$

$$W_{\text{ш}}(p) = \frac{316,6}{p^2 \cdot \left[\frac{100}{p \cdot (0,005 \cdot p + 1)} + 1 \right] \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

Загальна передаточна функція контуру швидкості:

$$G_{\text{ш}}(p) = R_{\text{пш}}(p) \cdot W_{\text{ш}}(p), \quad (3.20)$$

Згідно модульного критерію оптимізації:

$$G_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{0\text{ш}} \cdot p \cdot (T_{0\text{ш}} \cdot p + 1)}, \quad (3.21)$$

де T_{0M} – мала некомпенсована стала часу контура швидкості (приймаємо $T_{0ш} = T_{пч} = 0,005$ с),

$$G_{ш}(p) = \frac{1}{0,01 \cdot p \cdot (0,005 \cdot p + 1)}.$$

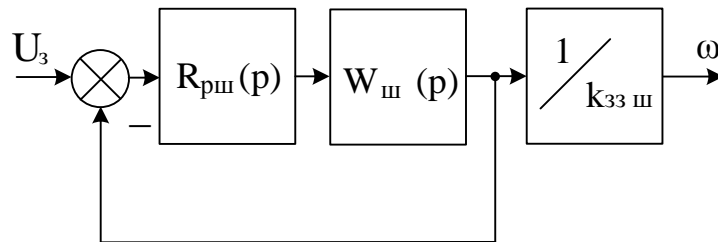


Рисунок 3.8 – Структурна схема зовнішнього контуру швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функцію регулятора швидкості:

$$R_{пш}(p) = \frac{G_{ш}(p)}{W_{ш}(p)}, \quad (3.22)$$

$$R_{пш}(p) = 0,3158 \cdot p + \frac{6317}{p + 200}.$$

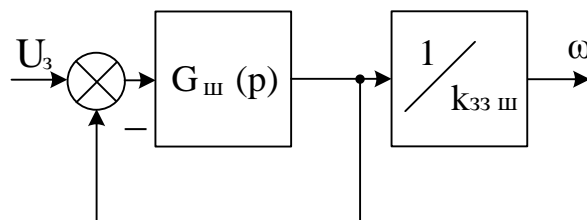


Рисунок 3.9 – Структурна схема зовнішнього контуру швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку

Передаточна функція контуру регулювання швидкості зведеного до одиничного зворотного зв'язку:

$$W_{\text{шш}}(p) = \frac{G_{\text{ш}}(p)}{1 + G_{\text{ш}}(p)}, \quad (3.23)$$

$$W_{\text{шш}}(p) = \frac{20000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000}.$$

Загальна передаточна функція системи електричного привода:

$$W(p) = W_{\text{шш}}(p) \cdot \frac{1}{k_{\text{зз ш}}}, \quad (3.24)$$

$$W(p) = \frac{308000}{p^2 + 200 \cdot p + 20000},$$

Для перевірки спроектованої системи ЕП на стійкість побудуємо графіки її логарифмічної амплітудо-частотної (ЛАЧХ) та логарифмічної фазочастотної (ЛФЧХ) характеристик (згідно (3.24)). Отримані графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ зображено на рисунку 3.10.

Аналіз графіків ЛАЧХ та ЛФЧХ дозволяє зробити висновок, що система є стійкою оскільки виконується умова:

$$\omega_{\text{зр}} \leq \omega_{\text{кр}}. \quad (3.25)$$

Запас стійкості системи по амплітуді дорівнює безкінечності, а запас фази $-21,1^\circ$.

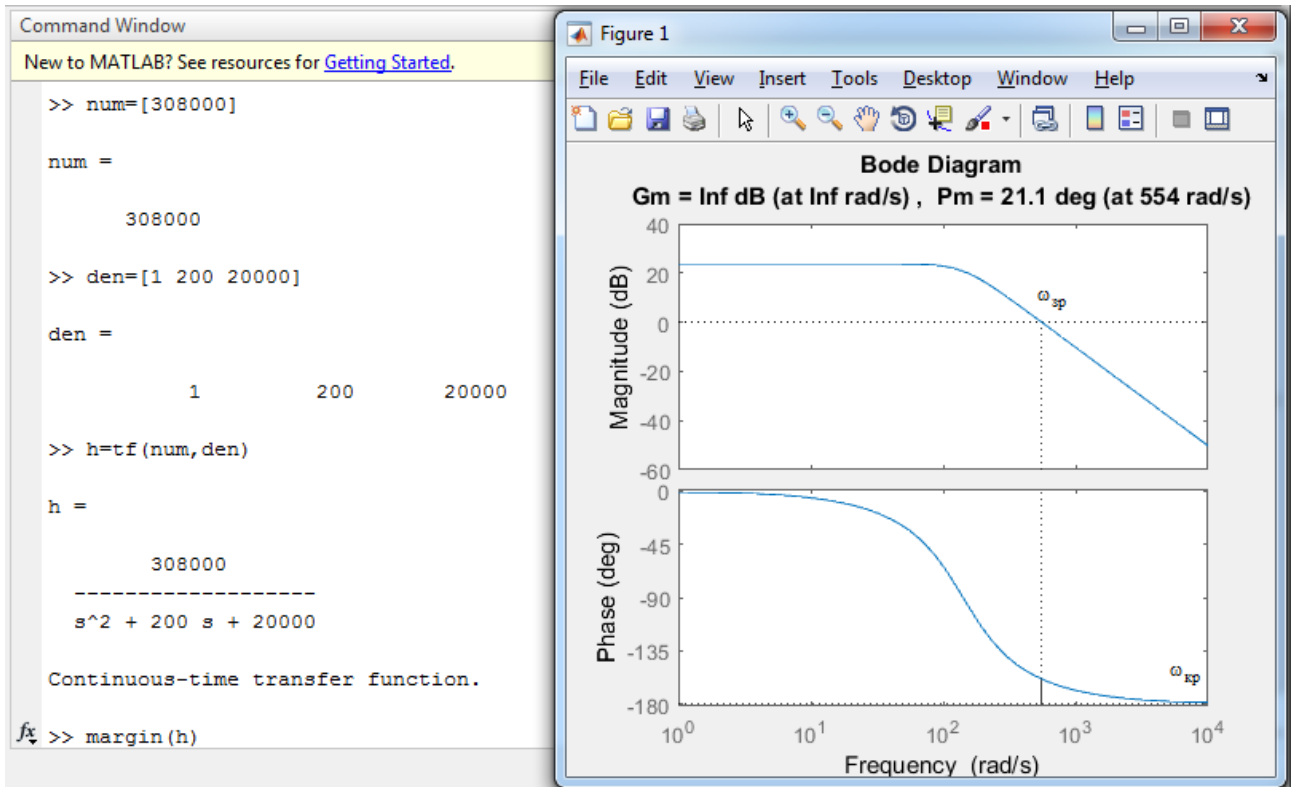


Рисунок 3.10 – Вікно команд в Matlab та графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ

3.4 Структурна схема механічної частини лебідки скіпового підйомника

На основі аналізу кінематичної схеми, яка зображена на рисунку 1.6 та 1.7 виразів запишемо систему рівнянь, які описують механічну частину лебідки скіпового підйомника:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{\omega_{\text{дв}} \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{мп}} \cdot u}, \\ G_x = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha, \\ G_y = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha, \\ F_{\text{тр}} = G_y \cdot k_k \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{d_k}, \\ M_c = M_A + M_P \cdot \text{sign}(V), \\ M_A = \frac{[G_x + F_{\text{тр}} \cdot \text{sign}(V)] \cdot D_{\text{б}}}{2 \cdot i_{\text{мп}} \cdot u}, \\ M_P = M_A \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{мп}}} - 1 \right), \end{array} \right. \quad (3.26)$$

де V – швидкість транспортування вантажу;

$\omega_{\text{дв}}$ – кутова швидкість вала двигуна при транспортуванні вантажу.

m_0 – маса скіпа;

m_B – маса вантажу;

α – кут нахилу скіпового підйомника;

k_k – коефіцієнт тертя катка скіпа об направляючі;

μ – коефіцієнт тертя ковзання;

f – коефіцієнт тертя кочення;

d_k – діаметр катка скіпа;

$d_{\text{ц}}$ – діаметр цапфи катка скіпа;

$D_{\text{б}}$ – діаметр барабана лебідки;

$i_{\text{мп}}$ – передаточне число механічної передачі;

$\eta_{\text{мп}}$ – ККД механічної передачі при підйомі скіпа;

u – кратність поліспасти.

Відповідна структурна схема механічної частини лебідки скіпового підйомника зображена на рисунку 3.11.

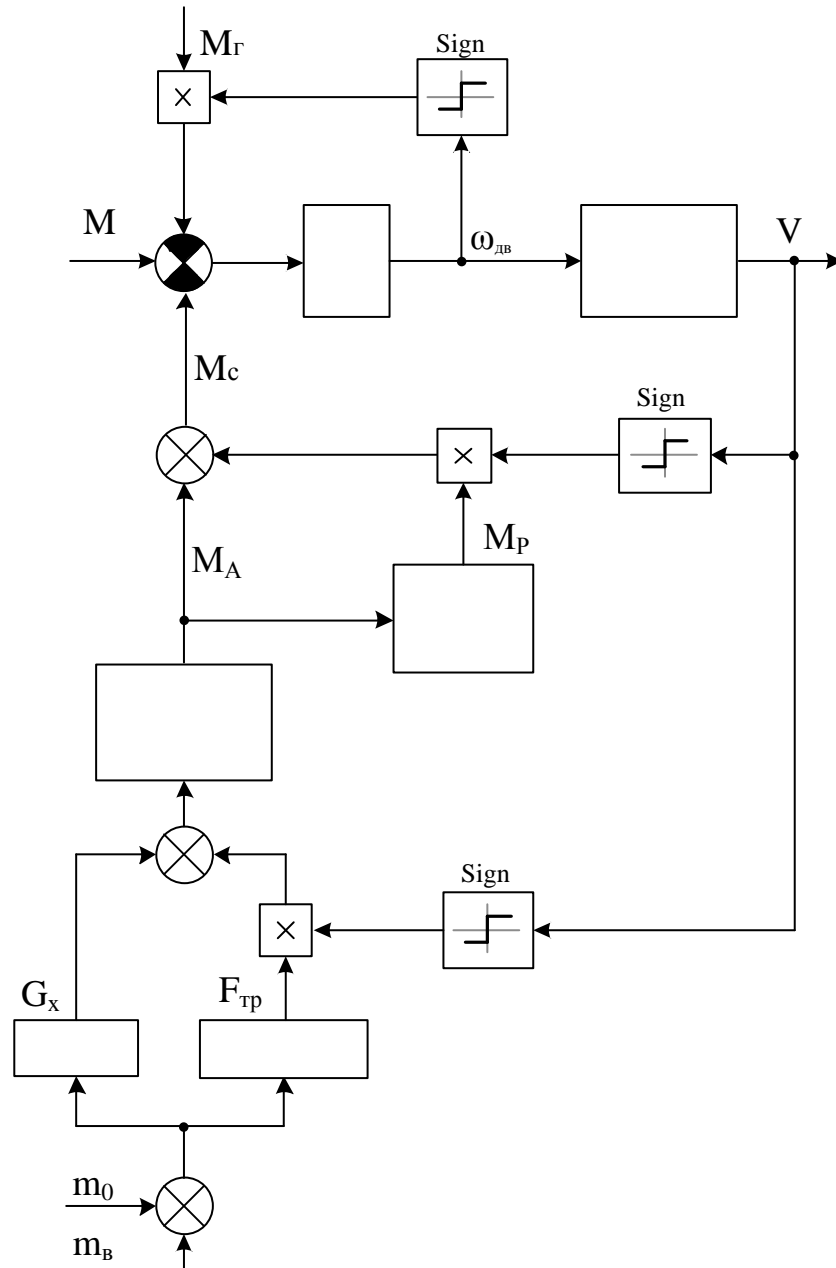


Рисунок 3.11 – Структурна схема механічної частини лебідки скіпового підйомника

Відповідна структурна схема в Simulink зображена на рисунку 3.12.

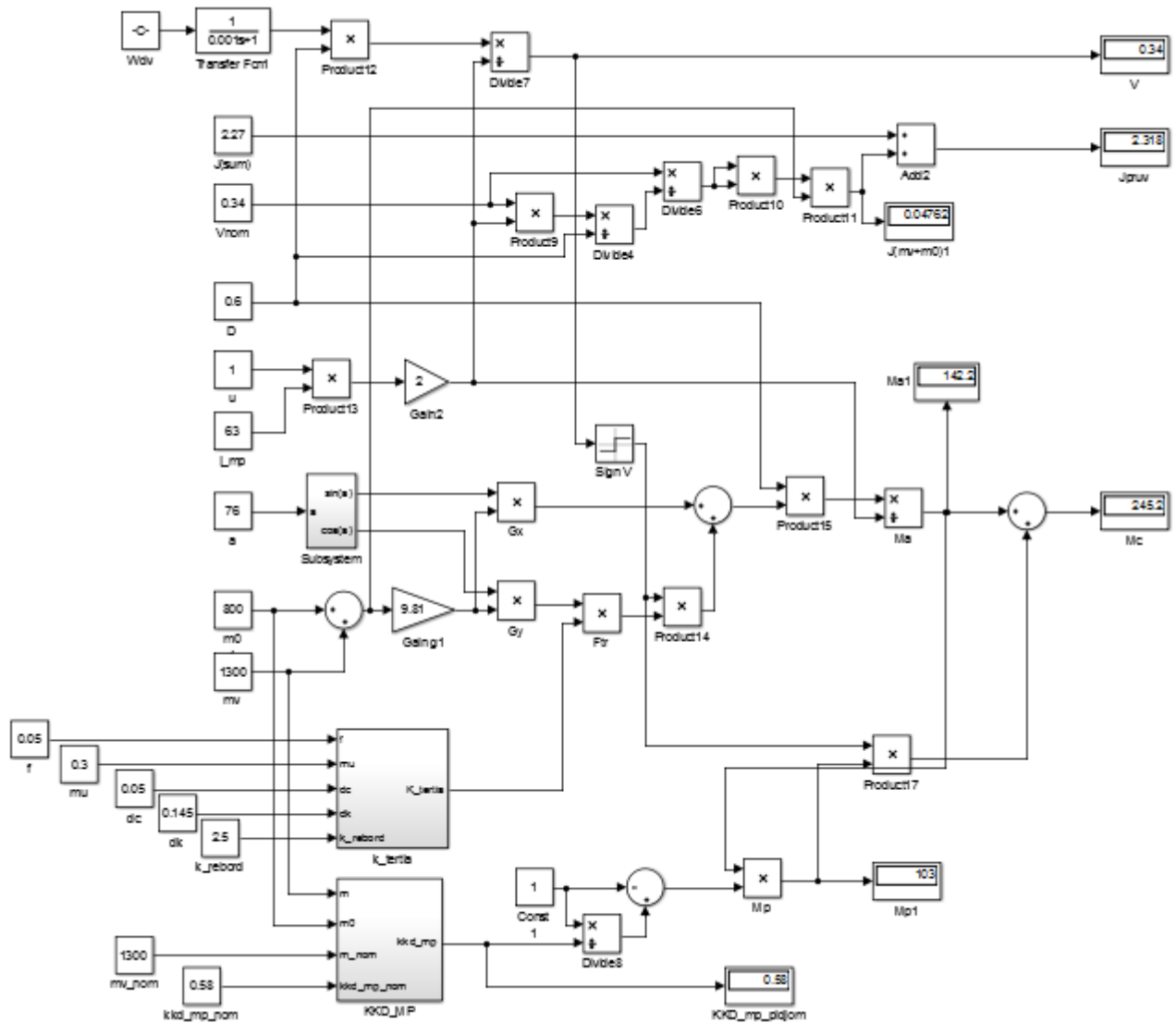


Рисунок 3.12 – Структура механічної частини лебідки скіпового підйомника в Simulink

На рисунку 3.11: M – момент приводного двигуна; M_r – гальмівний момент, створюваний електромагнітним гальмом; J_Σ – приведений до вала двигуна момент інерції привода:

$$J_\Sigma = J_d + J_{гш} + J_{мп} + \frac{J_6}{i_{мп}^2} + (m_b + m_0) \frac{V^2}{\omega_{дв}^2}, \quad (3.27)$$

де J_d – момент інерції приводного двигуна;

$J_{гш}$ – момент інерції гальмівного шківа;

$J_{\text{МП}}$ – момент інерції механічної передачі (редуктора);

J_6 – момент інерції барабана лебідки.

Запропоновану структуру механічної частини лебідки скіпового підйомника оформимо у вигляді елемента бібліотеки Simulink з параметрами налаштувань, які зображені на рисунку 3.13.

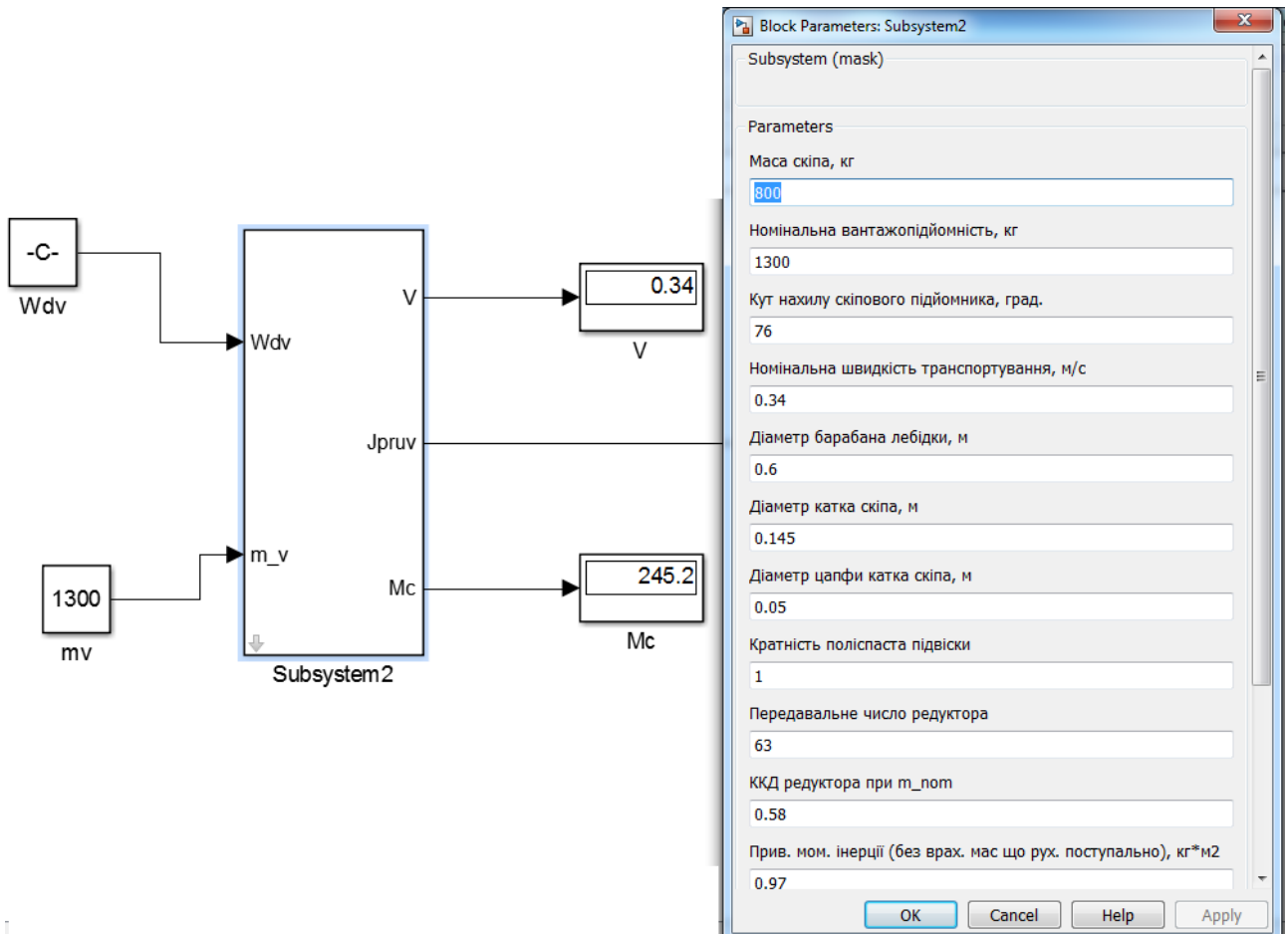


Рисунок 3.13 – Узагальнена модель лебідки скіпового підйомника

3.5 Моделювання перехідних процесів САЕП

Моделювання електропривода здійснимо в Simulink. Модель ПЧ-АД в Simulink зображена на рисунку 3.14.

Результати моделювання представлені на рисунку 3.15.

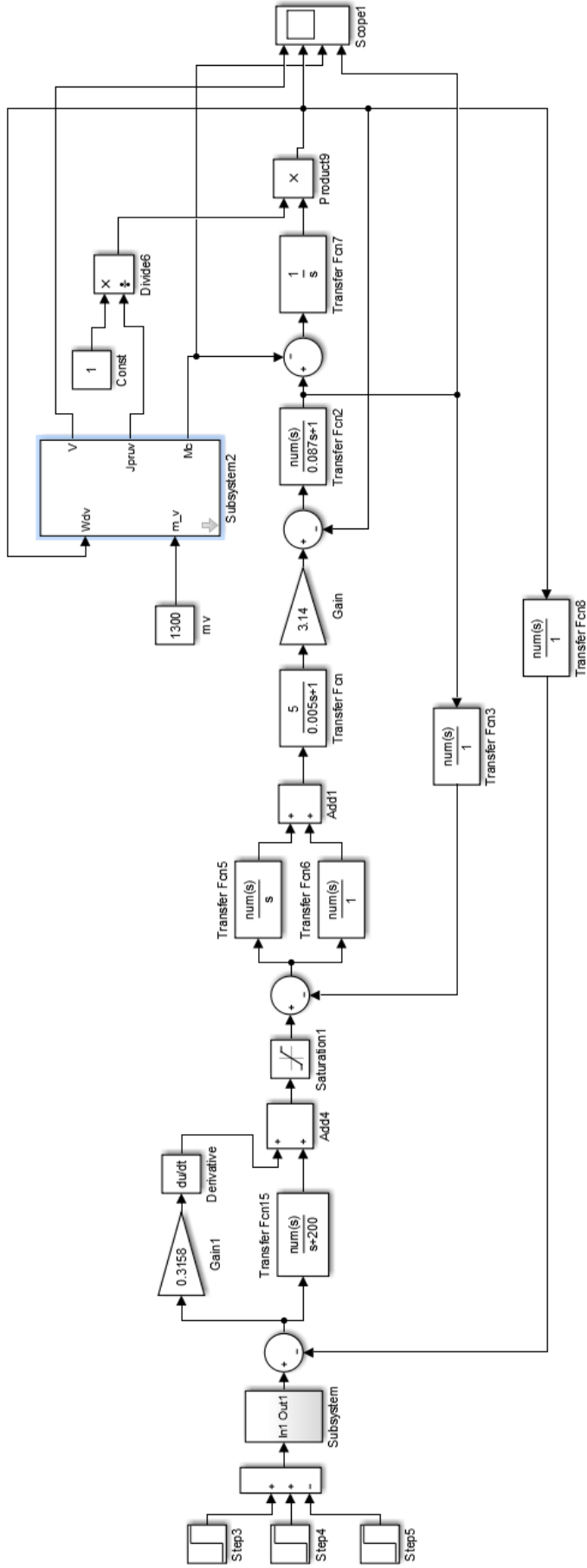


Рисунок 3.14 – Модель ПЧ-АД в Simulink

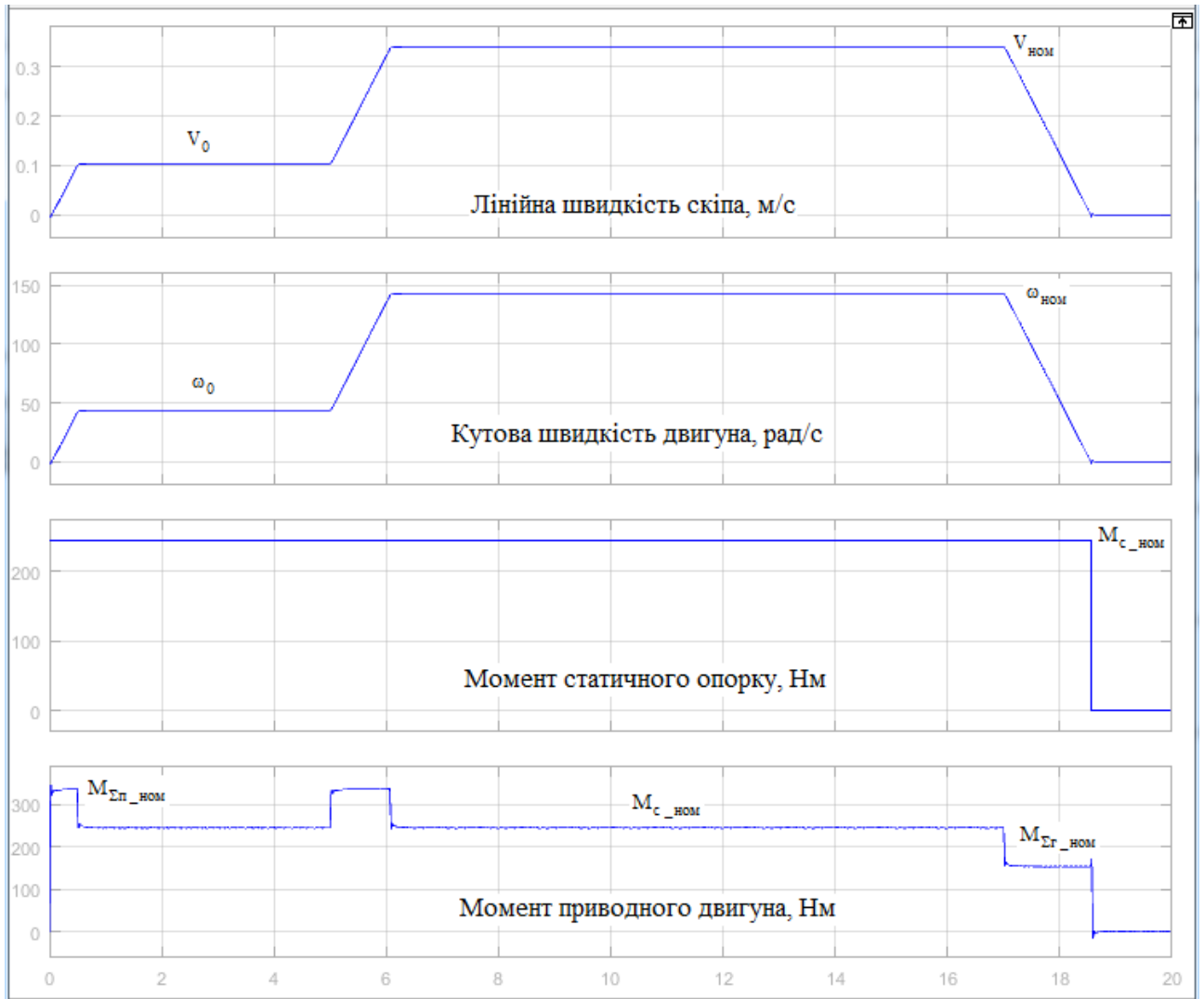


Рисунок 3.15 – Графіки перехідних процесів привода при підйомі
завантаженого скіпа

3.6 Вибір контролера

Для керування роботою САЕП скіпового підйомника вапнякової печі виберемо ПЛК сімейства SIMATIC S7-1200 (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд мікро-ПЛК SIMATIC S7-1200

SIMATIC S7-1200 – це нове сімейство мікроконтролерів Siemens для вирішення найрізноманітніших завдань автоматизації різного рівня. Ці контролери мають модульну конструкцію і універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, можуть використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet / PROFINET, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання [17, 19].

До складу програмованого контролера S7-1200 входять модулі центральних процесорів (CPU); комунікаційні модулі (CM); комунікаційні процесори (CP); сигнальні модулі (SM); плати (SB) введення-виведення дискретних і аналогових сигналів, технологічні модулі а також модуль блоку живлення (PM 1207) [17, 19].

Всі центральні процесори мають високу продуктивність і забезпечують підтримку широкого набору функцій [17, 19]:

- висока швидкодія, час виконання логічної операції не перевищує 0.1 мкс;
- вбудована завантажувана пам'ять об'ємом до 2 Мбайт, яка може бути розширена за допомогою карти пам'яті ємністю до 24 Мбайт;
- робоча пам'ять ємністю до 50 Кбайт;
- незалежна пам'ять ємністю 2 Кбайт для роботи без обслуговування збереження даних при перебогах в живленні контролера;
- вбудовані дискретні входи універсального призначення, що дозволяють вводити потенційні або імпульсні сигнали;
- вбудовані апаратні годинник реального часу з запасом ходу при перебогах в живленні 240 годин;
- вбудовані швидкісні лічильники з частотою проходження вхідних сигналів до 100 кГц;
- вбудовані імпульсні виходи з частотою проходження імпульсів до 100 кГц (тільки в CPU з транзисторними виходами);
- підтримка функцій ПД регулювання;
- підтримка функцій управління переміщенням відповідно до вимог стандарту PLCopen;
- підтримка функцій оновлення операційної системи;
- парольний захист програми користувача;
- вільно програмовані порти для обміну даними з іншими пристроями на комунікаційних модулях CM 1241.

Технічні характеристики вибраного ПЛК наведено в таблиці 3.2 [18, 19].

Таблиця 3.2 – Технічні дані SIMATIC S7-1214CPU DC/DC/DC

Характеристика	Дані
Вбудована завантажувана пам'ять	2 Мб
Можливість розширення	картою пам'яті Memory Card ємністю до 24 Мб
Вбудована робоча пам'ять	50 Кб
Незалежна пам'ять для збереження даних	2 Кб
Адресний простір введення-виведення	1024 байти на введення / 1024 байти на виведення
Час виконання логічної операції	0,1 мкс
Час виконання операції зі словами	12 мкс
Час виконання математичної операції з плаваючою комою	18 мкс
ПІД регулювання	підтримується, до 16 контурів
Швидкісні лічильники	3×100 кГц + 3×30 кГц
Імпульсні виходи	2×100 кГц, тільки в моделях з транзисторними виходами
Годинники	вбудовані, апаратні, запас ходу 240 годин
Інтерфейс	Ethernet 1 \times RJ45, 10/100 Мбіт/с
Максимальна конфігурація	1 \times SB + 3 \times CM + 8 \times SM
Вбудовані входи і виходи	2AI + 14DI + 10DO
Кількість каналів вводу/виводу дискретних сигналів, не більше	144/140
Кількість каналів введення/виводу аналогових сигналів, не більше	34/17

Висновок. Розроблено САЕП скіпового підйомника та розраховано параметри налаштувань регулятор моменту та швидкості.

На основі аналізу кінематичної схеми скіпового підйомника наведено систему рівнянь, які описують механічну частину лебідки скіпового підйомника. Запропоновано відповідну структурну схему механічної частини лебідки скіпового підйомника, яку реалізовано в середовищі Matlab у вигляді елемента бібліотеки Simulink.

Здійснено моделювання роботи модернізованої САЕП лебідки скіпового підйомника в Matlab. Отримані графіки перехідних процесів відповідають результатам розрахунків. Отже, проектування виконано вірно.

Здійснено вибір основної елементної бази САЕП скіпового підйомника.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Підвищення енергетичної ефективності електропривода підйомної лебідки скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» реалізовано шляхом заміни існуючої системи електропривода на систему типу ПЧ-АД, яка характеризується вищими енергетичними показниками у порівнянні з базовим варіантом реалізації.

Здійснимо порівняння витрат на реалізацію та обслуговування, а також економічної ефективності базової та нової систем електропривода підйомної лебідки скіпового підйомника вапнякової печі.

4.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення включають в себе всі одноразові витрати: відпускну ціну нової техніки, затрати на її транспортування, монтаж і наладку, затрати на демонтаж старого обладнання тощо.

Розрахуємо витрати на придбання та монтаж електрообладнання для кожної з систем електропривода. Результати розрахунків зведемо в таблицю 4.1.

Капітальні вкладення

– для базового варіанту:

$$K_{\text{б}} = 105228 \text{ (грн);} \quad (4.1)$$

– для нового варіанту:

$$K_{\text{н}} = 177596 \text{ (грн).} \quad (4.2)$$

Таблиця 4.1 – Витрати на придбання та монтаж електрообладнання для базового та нового варіантів

Обладнання	Вартість системи електропривода, грн	
	Базовий варіант	Новий варіант
Приводний двигун [9]	52740	29300
Силовий перетворювач [10]	–	82710
Релейно-контакторна система керування	16450	–
Мікропроц. система керування: – блок живлення [21] – ПЛК [22]	–	2596 17791
Апарати захисту, сенсори, монтажна оснастка тощо	18500	15600
Всього	87690	147997
Витрати на транспортування (10%)	8769	14800
Монтажні та нал. роботи (10%)	8769	14800
Всього капітальні вкладення К	105228	177596

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік [27].

Витрати на експлуатацію включають в себе витрати на обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, вартість споживаної електроенергії, вартість втрат електроенергії та інші [20].

4.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування для базового та нового варіантів (при нормі амортизаційних відрахувань 10 %):

$$C_a = 0,1 \cdot K. \quad (4.3)$$

$$C_{аб} = 0,1 \cdot 105228 \approx 10523 \text{ (грн/рік)}.$$

$$C_{ан} = 0,1 \cdot 177596 \approx 17760 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою [20]:

$$C_3 = C_{30} + C_{зд}, \quad (4.4)$$

де C_{30} – основна заробітна плата по тарифу, грн/рік;

$C_{зд}$ – додаткова заробітна плата, грн/рік.

Основна заробітна плата по тарифу [20]:

$$C_{30} = N \cdot T_1 \cdot K \cdot \Phi_{еф} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (4.5)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чол);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 22$ грн/год);

K – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ($K_5 = 2,33$), 6-го розряду ($K_6 = 2,7$);

$\Phi_{еф}$ – ефективний фонд часу обслуговування (згідно техніко-економічного обґрунтування $\Phi_{еф} = 120$ днів \cdot 0,5 год = 60 год/рік);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$ для базового варіанту, $\beta = 0,85$ для нового варіанту).

Основна заробітна плата для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{30\text{б}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 1 = 3076 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{30\text{н}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,7 \cdot 60 \cdot 1 \cdot 0,85 = 3029 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата $C_{3д}$ становить 10% від основної заробітної плати [20]:

$$C_{3д} = 0,1 \cdot C_{30}. \quad (4.6)$$

Додаткова заробітна плата для базового та нового варіантів відповідно становить:

$$C_{3д\text{б}} = 0,1 \cdot 3076 \approx 308 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{3д\text{н}} = 0,1 \cdot 3029 \approx 303 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок нарахувань на заробітну плату зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

Показник	Сума	
	базовий варіант	новий варіант
Основна заробітна плата C_{30} , грн/рік	3076	3029
Додаткова заробітна плата $C_{3д}$, грн/рік	308	303
Разом основна і додаткова заробітна плата ($C_{30} + C_{3д}$), грн/рік	3383	3332

Продовження таблиці 4.2

Показник	Сума	
	базовий варіант	новий варіант
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%) ($C_{30}+C_{3д}$), грн/рік	744	733
Всього нарахування, грн/рік	4127	4065

4.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію

Витрати на споживану електроенергію визначаються для кожного елемента по кожному варіанту за формулою [20]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot B, \quad (4.7)$$

де P – установлена потужність ($P = 37$ кВт);

η – ККД;

Φ – дійсний фонд часу роботи електропривода за рік (згідно техніко-економічного обґрунтування $\Phi = 2053,7$ год/рік);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю) (приймаємо $K_3 = 0,8$);

B – вартість електроенергії (згідно даних служби головного енергетика підприємства, вартість електроенергії для живлення електрообладнання вапнякової печі, яка живиться від лінії 35 кВ, станом на 29.05.2020 р. складає $c = 1,932$ грн/(кВт·год) з врахуванням ПДВ. Така вартість пояснюється тим, що на підприємстві є власна парова турбіна, яка використовується для генерації електроенергії).

Коефіцієнт корисної дії для обох варіантів обчислений як добуток коефіцієнтів корисної дії двигуна і силового перетворювача. Для першого варіанту коефіцієнт корисної дії буде дорівнювати 72 %, для другого – 89 %.

Витрати на електроенергію по двох варіантах складуть:

$$C_{\text{еб}} = \frac{37}{0,72} \cdot 2053,7 \cdot 0,8 \cdot 1,932 = 163119 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{\text{ен}} = \frac{37}{0,89} \cdot 2053,7 \cdot 0,8 \cdot 1,932 = 131695 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу [20].

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці робітників-ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів, у якому зазначено тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту [20]

Графік планово – попереджувальних ремонтів для базового та нового варіантів наведено в таблицях 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Графік ремонтів для базового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування			6				6				7		19
Двигун		5				5					5		15
Кабельна мережа				3				3				3	9
Апарати захисту		3				3				3			9
Сенсори	3				3				3				9
Загальна трудомісткість												61	

Таблиця 4.4 – Графік ремонтів для нового варіанту

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд·год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування			4				4				5		13
Двигун		4				4					5		13
Кабельна мережа				3				3				3	9
Апарати захисту		2				2				2			6
Сенсори	3				3				3				9
Загальна трудомісткість												50	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер шостого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт, основну заробітну плату розрахуємо за формулою [20]:

$$C_{з\ по} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{рем}, \quad (4.8)$$

де k – тарифний коефіцієнт 6-го розряду ($k = 2,7$);

$\Phi_{рем}$ – трудомісткість ремонтних робіт,

$$C_{з\ по\ б} = 22 \cdot 2,7 \cdot 61 = 3623 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з\ по\ н} = 22 \cdot 2,7 \cdot 50 = 2970 \text{ (грн/рік)}.$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$C_{з\ пн} = 0,22 \cdot C_{з\ по}, \quad (4.9)$$

$$C_{з\ пн\ б} = 0,22 \cdot 3623 = 797 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з\ пн\ н} = 0,22 \cdot 2970 = 653 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [20]:

$$C_{з\ пр} = C_{з\ по} + C_{з\ пн}, \quad (4.10)$$

$$C_{з\ пр\ б} = 3623 + 797 = 4421 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{з\ пр\ н} = 2970 + 653 = 3623 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [20]:

$$C_{м\ пр} = 0,15 \cdot C_{з\ по}, \quad (4.11)$$

$$C_{м\ пр\ б} = 0,15 \cdot 3623 = 544 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{м\ пр\ н} = 0,15 \cdot 2970 = 446 \text{ (грн/рік)}.$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [20]:

$$C_{пр} = C_{з\ пр} + C_{м\ пр}, \quad (4.12)$$

$$C_{пр\ б} = 4421 + 544 = 4964 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{пр\ н} = 3623 + 446 = 4069 \text{ (грн/рік)}.$$

4.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [20]:

$$C_{\text{ін}} = 0,05 \cdot (C_a + C_z + C_e + C_{\text{пр}}), \quad (4.13)$$

$$C_{\text{ін б}} = 0,05 \cdot (10523 + 4127 + 163119 + 4964) = 9137 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{\text{ін н}} = 0,05 \cdot (17760 + 4065 + 131695 + 4069) = 7879 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Базовий варіант	Новий варіант
Амортизаційні відрахування C_a , грн/рік	10523	17760
Заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу, грн/рік	4127	4065
Витрати на електроенергію C_e , грн/рік	163119	131695
Витрати на поточний ремонт $C_{\text{пр}}$, грн/рік	4964	4069
Інші витрати $C_{\text{ін}}$, грн/рік	9137	7879
Всього експлуатаційні витрати C , грн/рік	191870	165468

4.3 Визначення економічної ефективності проекту

За критерій економічної ефективності нового технічного рішення приймаємо термін окупності капітальних вкладень T_o та коефіцієнт економічної ефективності $E_{\text{еф}}$.

Визначимо термін окупності капітальних вкладень [20]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta C}, \quad (4.14)$$

$$T_o = \frac{177596 - 105228}{191870 - 165468} = 2,74 \text{ (роки)}.$$

Коефіцієнт економічної ефективності [20]:

$$E_{\text{еф}} = \frac{1}{T_o}, \quad (4.15)$$

$$E_{\text{еф}} = \frac{1}{2,74} = 0,36.$$

Річний економічний ефект [20]:

$$EE = E_{\text{нд}} \cdot (\Delta K) + (\Delta C), \quad (4.16)$$

де $E_{\text{нд}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{нд}} = 0,2$),

$$EE = 0,2 \cdot (105228 - 177596) + (191870 - 165468) = 11928 \text{ (грн)}.$$

З результатів виконаних розрахунків можна зробити висновок, що модернізація даної системи автоматизованого електропривода є економічно виправданою. Термін окупності складає 2,74 роки, річний економічний ефект становить 11928 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуті умови праці при обслуговуванні електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах ПАТ «Продовольча компанія «Поділля», яка являє собою вертикально-інтегрований комплекс, до складу якого входять 5 виробничих відділень, які обробляють більше 51 тис. га у Крижопільському, Томашпільському, Тростянецькому та Ямпільському районах Вінницької області; Крижопільський цукровий завод та елеватор потужністю 60 тис. тонн зерна. Компанія має розвинуте тваринництво, представлене свинокомплексом у смт. Городківка потужністю 21 тис. голів свиней на рік та молочними фермами, де утримується 3100 голів ВРХ.

В цехах передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці і виробництва продовольчих товарів. Усі металеві неструмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які за ГОСТ 12.0.003-74 впливають на технологічний персонал, який обслуговує електрообладнання в цехах компанії:

1) фізичні:

- підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;

- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена вологість повітря;

2) психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

5.1.1 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 x 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від

КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника;

3) електрозахисні засоби захисту.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.1.2 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ".

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати слідуєчі вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження).

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування.

Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можна проводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку. Про це повинен бути зроблений запис при оформленні розпорядження.

При роботі на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в РУ.

Вмикання електродвигуна для перевірки до повного закінчення роботи проводиться після виводу бригади з робочого місця.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, fC	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

5.2.2 Виробниче освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на природне та штучне освітлення

Природне освітлення – освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові проїми в зовнішніх огорожених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільш сприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості (КПО).

КПО – відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КПО при природному та сумісному освітленнях.

Характеристика зорової роботи - роботи середньої точності.

Розряд – IV.

Підрозряд зорової роботи – а.

Контраст об'єкту розпізнавання - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном.

Характеристика фону – незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном.

Бокове КПО, %:

-природне 1,5;

-суміщене 0,9.

Прийняте роздільне нормування КПО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховуємо за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де e_N – значення КПО;

m_N – коефіцієнт світлового клімату (при орієнтації вікон на північ $m_N=0,9$),

$$e_N = 1,5 \cdot 0,9 = 1,4 (\%).$$

Штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення – освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання. Комбіноване освітлення – додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місьцеве освітлення – освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк: загальне 75лк.

Для забезпечення нормативного значення e_{min} передбачено штучне освітлення в приміщенні цеху забезпечується світильниками типу РСП08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

5.2.3 Виробничий шум

Рівень звуку вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (5.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні

шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 5.2 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.4 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		м с ⁻²	ДБ	м с ⁻² 10 ⁻²	ДБ
Загальна	Z ₀ , Y ₀ , X ₀	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т. ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 1500.

Нахили корпуса (вимушені, більше 30), кількість за зміну: 101 –300.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни): по горизонталі до 12 км; по вертикалі до 8 км.

Інтелектуальні навантаження: рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій).

Зміст роботи: сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальним значеннями; заключна оцінка фактичних значень параметрів; обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання; робота в умовах дефіциту часу.

Сенсорні навантаження:

- тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) 51 -75;
- щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи 176–300;
- кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження 11-25;

– навантаження на зоровий аналізатор (спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) 3-4;

– навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 70% до 50%;

– навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) 20-25.

Емоційне навантаження:

– ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.);

– ступінь ризику для власного життя;

– ступінь відповідальності за безпеку інших осіб.

Монотонність навантажень:

– кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово 5-2;

– тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) 24-2;

– монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) 91-95.

Режим праці:

– фактична тривалість робочого дня (год.) 10– 12;

– змінність роботи (робота у нічну зміну).

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість. Перерви нерегламентовані або недостатньої тривалості до 3% часу зміни.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Електроприводи є невід'ємною частиною технологічного обладнання військових і стратегічних об'єктів. Тому вони можуть підлягати впливу іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу. Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання систем управління. В електроприводі таким обладнанням є: блок живлення, тиристори, діоди. Через це в двигуні можливі замикання обмотки збудження, а відповідно і загорання двигуна.

В результаті опромінення системи електропривода в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понижується напруга пробую і опір витоку, змінюється провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри як електрична та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу на електропривод може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

5.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи системи електропривода, що розробляється, приймається допустима доза $D_{дон}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{zp}(P/200)$, при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{зрi}$, для елементної бази системи електропривода, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Граничні значення експозиційних доз

Елементи РЕА	$D_{зрi}, P$	$D_{зр}, P$
Інтегральні схеми ТТЛ логіки	5×10^5	10^4
Резистори типу МЛТ	10^7	
Транзистори КТ 816, КТ 316	10^4	
Напівпровідники	10^5	
Конденсатори К56	10^7	
Діоди Д226	10^4	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи РЕА в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 5.4, робимо висновок, що самим уразливим елементом системи електропривода з мінімальною дозою $D_{зр} = 10^4 P$ є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (5.3)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 6,05 P/\text{год}$);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400 \text{ год}$ (15 років));

t_n – час початку опромінення ($t_n = 1 \text{ год}$);

$K_{осл}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{осл} = 2$),

$$D_M = \frac{2 \cdot 6,05 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2187,02 (P).$$

Оскільки $D_{зр} > D_M$, то даний електропривід стійкий до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (5.4)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,17 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,17} = 1621,74 \text{ (год)}.$$

Можлива доза опромінення елементної бази $D_m = 2230,4 \text{ Р}$, а допустима - 10^4 Р , отже, система управління ЕП є умовно стійкою в умовах короткочасного впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в заданих умовах становить 1621,74 год., при рівні радіації 6,17 Р/год.

5.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії електромагнітного імпульсу

При оцінці впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 380 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення.

Напруга наводки в горизонтальній струмопровідній частині:

$$U_r = E_v \cdot L_r, \quad (5.5)$$

де E_v – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля

$$(E_v = 9,95 \cdot 10^3 \text{ В/м});$$

L_r – довжина горизонтальної струмопровідної частини системи електропривода ($L_r = 1,85 \text{ м}$),

$$U_r = 9,95 \cdot 10^3 \cdot 1,85 = 18,4 \text{ (кВ)}.$$

Напруга наводки в вертикальній струмопровідній частині:

$$U_B = E_\Gamma \cdot L_B, \quad (5.6)$$

де E_2 – величина горизонтальної складової напруженості електромагнітного поля, В/м:

$$E_\Gamma = E_B \cdot 10^{-3}; \quad (5.7)$$

L_6 – довжина вертикальної струмопровідної частини системи електропривода ($L_B = 2,15$ м),

$$E_\Gamma = 9,95 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,95 \text{ (В/м)},$$

$$U_B = 9,95 \cdot 10^3 \cdot 2,15 = 21,39 \text{ (кВ)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (5.8)$$

де N – відсоток допуску ($N=5\%$).

Для силового кола ($U_{\text{жс}} = 380$ В):

$$U_{\text{доп}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24$ В):

$$U_{\text{доп}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$КБ_{\Gamma(B)} = 20 \lg \cdot \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(B)}} \geq 40 \text{ [дБ]}. \quad (5.9)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{жс}} = 380$ В):

– вертикальної:

$$Kб_{\text{в}} = 20 \lg \cdot \frac{399}{21,39} = 60,89 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$Kб_{\text{г}} = 20 \lg \cdot \frac{399}{18400} = -71,51 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{жс}} = 24 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$Kб_{\text{в}} = 20 \lg \cdot \frac{25,2}{21,39} = 5,64 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$Kб_{\text{г}} = 20 \lg \cdot \frac{25,2}{18400} = -126,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Значення коефіцієнтів безпеки електропривода скіпового підйомника вапнякової печі

Найменування	$Kб_{\text{в}}$	$Kб_{\text{г}}$	Результат дії
Силове коло, 380 В	60,89	-71,51	Нестійке
Коло управління, 24 В	5,64	-126,75	Нестійке

Отже електропривод є нестійким в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі слід застосувати екранування. Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = Kб_{\text{ном}} - Kб_{\text{мін}} , \quad (5.10)$$

де $Kб_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($Kб_{\text{ном}} = 40 \text{ дБ}$);

$K\bar{b}_{min}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола ($U_{жс} = 380\text{ В}$):

$$A_{380\text{В}} = 40 + 71,51 = 111,51 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{жс} = 24\text{ В}$):

$$A_{24\text{В}} = 40 + 126,75 = 166,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (5.11)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота ($f = 15\text{ кГц}$).

Отже для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{380\text{В}} = \frac{111,51}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,175 \text{ (см)}.$$

Для обладнання система управління товщина екрану:

$$t_{24\text{В}} = \frac{166,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,261 \text{ (см)}.$$

Висновки: В результаті дослідження стійкості роботи електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах дії іонізуючих випромінювань було розраховано можливу дозу опромінення елементної бази, яка по своїй величині не значно менша від допустимої. Отже, в умовах дії іонізуючого випромінювання система управління електропривода умовно стійка. До дії ЕМП система управління електропривода виявилась нестійкою. Для підвищення стійкості необхідно застосувати екранування з товщиною сталюого екрану близько 1,8 мм, а для системи управління 2,6 мм. В результаті застосування таких

електропривод буде працювати. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії випромінювання є зменшення незаекраниваних струмопровідних провідників та шляхом вдосконалення схемоустаткування РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати пасивні протирадіаційні екрани.

ВИСНОВКИ

Предметом дослідження в магістерській кваліфікаційній роботі є система автоматизованого електропривода скіпового підйомника вапнякової печі. Вихідний варіант автоматизованого електропривода даного механізму укомплектовано релейно-контакторною системою керування, яка характеризується низькими енергетичними та регульовальними показниками. Таким чином виникла об'єктивна необхідність здійснити модернізацію даного електропривода.

Таким чином в роботі здійснено аналіз режимів роботи скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля». Визначено, що для привода скіпового підйомника необхідно використати систему автоматизованого електропривода, яка б забезпечувала; плавний розгін; діапазон регулювання швидкості 5:1; роботу в режимі реверсу; забезпечувала точну зупинку скіпа із накладенням механічного гальма; характеризувалась високими енергетичними показниками; була реалізована по принципу відкритої системи.

Згідно результатів техніко-економічного обґрунтування такою системою є система типу ПЧ-АД. Вона не тільки відповідає усім заявленим вимогам, але і з економічної точки зору є найвигіднішим варіантом. Для неї показник приведених витрат становлять 49631,89 грн/рік, що на 18% менше ніж для інших систем електропривода, які теоретично могли б бути використані в даних умовах.

Проведено перевірочний розрахунок потужності приводного двигуна згідно якого для привода лебідки скіпа достатньо вибрати двигун потужністю 37 кВт загальнопромислового виконання. Таким чином було вибрано приводний двигун типу 4A200M4, розраховано його параметри та характеристики.

Для живлення приводного двигуна вибрано перетворювач частоти Hitachi SJ700B-450HFF номінальна потужність якого складає 45 кВт.

Розроблено функціональну та структурну схеми САЕП скіпового підйомника та розраховано параметри налаштування регуляторів в контурах регулювання швидкості та моменту.

На основі аналізу кінематичної схеми скіпового підйомника наведено систему рівнянь, які описують механічну частину лебідки скіпового підйомника. Запропоновано відповідну структурну схему механічної частини лебідки скіпового підйомника, яку реалізовано в середовищі Matlab у вигляді елемента бібліотеки Simulink.

Результати розрахунків є коректними, що підтверджують результати комп'ютерного моделювання в Matlab.

Розроблено схему електричну принципову САЕП скіпового підйомника вапнякової печі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зародження бурякоцукрової промисловості в Україні. Перша цукроварня [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/zarodzenna-burakocukrovoi-promislovosti-v-ukraini-persa-cukrovarna>
2. Продовольча компанія “Поділля”. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.upi-agro.com.ua/ua/Home/MapDetails/3>
3. Цукор білий. Технічні умови: ДСТУ 4613:2006. – [Чинний від 01.07.2007]. – К. : Держстандарт України, 2007. – 18 с.
4. Технологическая линия производства сахара-песка из сахарной свеклы [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://npkagromash.ru/tex_lin_sachora.html
5. Обладнання для обпалювання вапна [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5194328/page:9/>
6. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.
7. Ключев В. И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – М. : Энергия, 1980. – 360 с.
8. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навчальний посібник / А. А. Видмиш, С. М. Бабій, В. В. Петрусь. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 101 с.
9. Электродвигатель 4AM200M4 37 кВт [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://all-electro.com.ua/p609298477-elektrodvigatel-4a200m4-37kvt.html>
10. Преобразователь частоты Hitachi 45кВт [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eltech.kiev.ua/p800952858-sj700b-450hff-45kvt.html>

11. Піцан Р., Бардачевський В., Бойчук Б. Збірник задач до курсу «Електропривід». Навчальний посібник / Р. Піцан, В. Бардачевський, Б. Бойчук. – Львів : Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 1999. – 426 с.
12. Радимов С. Н. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод / С. Н. Радимов. – Одесса : ОНПУ, 2007. – 38 с.
13. Осипов О. И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод / О. И. Осипов. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 80 с.
14. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.; За ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. — 680 с.
15. SJ700B-450HFF преобразователь частоты Hitachi 45кВт. Технічні характеристики [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ies-drives.ru/equipment/freq/hitachi/sj700%D0%B2/831/>
16. Системы управления электроприводами / [Голубь А. П., Кузнецов Б. И., Опрышко И. А., Соляник В. П.]; под ред. В. П. Соляника. – К. : УМК ВО, 1992. – 376 с.
17. Программируемый контроллер S7-1200 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.siemens-pro.ru/s7-1200/6ES7212-1AE40-0XB0.html>
18. Simatic CPU 1214C. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sea.com.ua/seria/6ES7214-1AE30-0XB0>
19. 6ES7214-1AG40-0XB0 Программируемый контроллер. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.siemens-pro.ru/s7-1200/6ES7214-1AG40-0XB0.html>
20. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / Уклад. Демов О. Д., Мельничук Л. М. – Вінниця : ВНТУ, 2002. – 58 с.

21. 6EP1332-1SH71 Блок питания на Din-рейку Siemens SIMATIC S7-1200 PM1207 24 В, 2,5 А. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meanwell.kiev.ua/p9580969-6ep1332-1sh71-blok.html>

22. Siemens Simatic S7-1200, компактное ЦПУ CPU 1214C DC/DC/DC, 6ES7214-1AG31-0XB0. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electrotechnics.com.ua/p674659190-siemens-simatic-1200.html>

23. Кобилянський О. В. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей / О. В. Кобилянський, О. П. Терещенко. – Вінниця: ВНТУ, 2003.– 46 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

_____ В. М. Кутін

“ ___ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового
підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного
товариства «Продовольча компанія «Поділля»**

08-16.МКР.004.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

_____ С. М. Бабій

“ ___ ” _____ 20__ р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18мз

_____ А. В. Пилипчак

“ ___ ” _____ 20__ р.

Вінниця ВНТУ 2020

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод скіпового підйомника».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Автоматизований електропривод скіпового підйомника призначений для переміщення вантажів у скіпі.

4 Вимоги до розробки

Автоматизований електропривод скіпового підйомника повинен забезпечувати надійну та безвідмовну роботу в повторно-короткочасному режимі при великій частоті включень, плавний пуск, а також однозонне регулювання швидкості.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу.

6 Технічні характеристики

Параметри	Значення
Вантажопідйомність, кг	1100...1300
Маса скіпа, кг	800
Висота підйому, м	50
Кут нахилу, град.	76
Діаметр барабана підйомної лебідки, м	0,6
Передаточне число механічної передачі	63
Кількість циклів за годину	8

7 Джерела розробки

1. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Грабко В. В., Бабій С. М., Мошноріз М. М. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 119 с.

2. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / Белов М. П., Новиков М.А., Рассудов Л.Н. – М. : Академия, 2007. – 576 с.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

10 Конструктивне виконання

Автоматизований електропривод скіпового підйомника виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Автоматизований електропривод скіпового підйомника виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В промислової частоти.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля» за рахунок використання сучасної елементної бази з високими енергетичними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

1. Здійснити коротку характеристику технологічного процесу виробництва цукру-піску із цукрового буряка. Виділити в ньому роль та місце об'єкта проектування.
2. Розрахувати потужність привода скіпового підйомника вапнякової печі та вибрати приводний двигун.
3. Розробити систему керування електропривода скіпового підйомника вапнякової печі та вибрати його елементи.
4. Перевірити правильність отриманих проектних рішень шляхом комп'ютерного моделювання.
5. Провести економічні розрахунки.
6. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

Об'єкт дослідження – процес виробництва цукру.

Предметом дослідження є система автоматизованого електропривода скіпового підйомника вапнякової печі.

Характеристика об'єкта проектування



Зовнішній вигляд вапнякової печі



Елементи конструкції скіпового підйомника

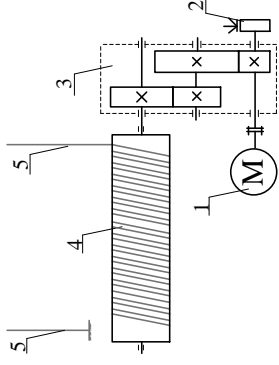
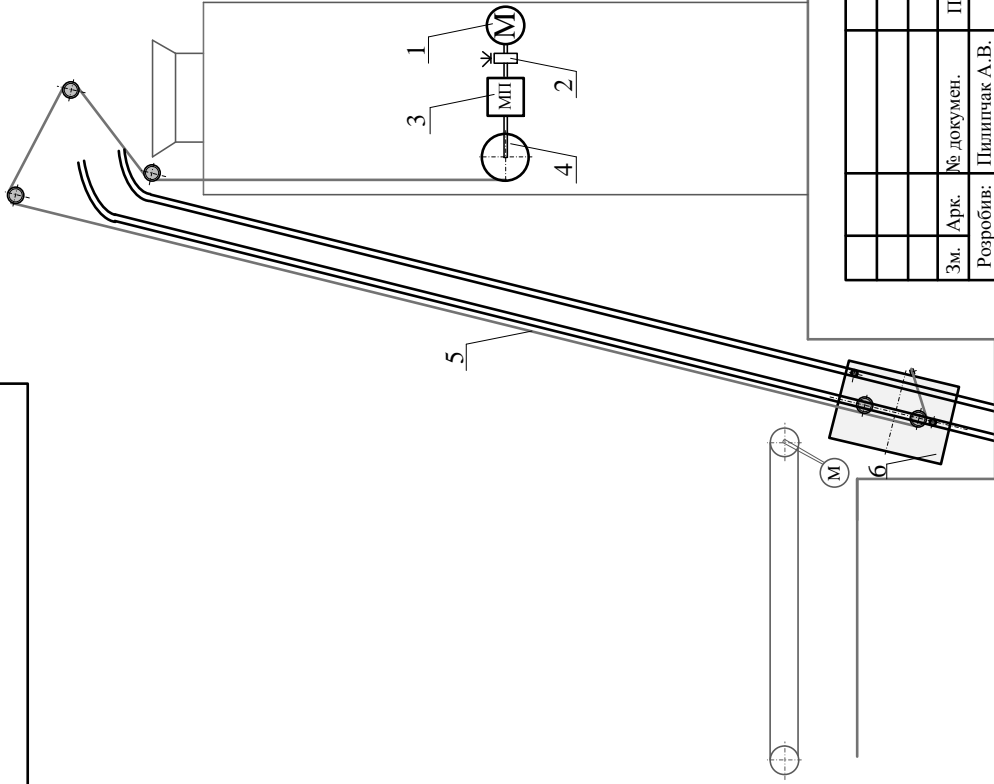


Підйомна лебідка скіпового підйомника

Технічні характеристики скіпового підйомника

Параметри	Значення
Вантажопідйомність, кг	1100...1300
Маса скіпа, кг	800
Висота підйому, м	50
Кут нахилу, град.	76
Діаметр барабана підйомної лебідки, м	0,6
Передаточне число механічної передачі	63
Кількість циклів за годину	8

08-16.МКР.004.00.000 К



- 1 – приводний двигун
- 2 – гальмівний шків
- 3 – механічна передача
- 4 – приводний барабан
- 5 – тяговий трос
- 6 – скіп

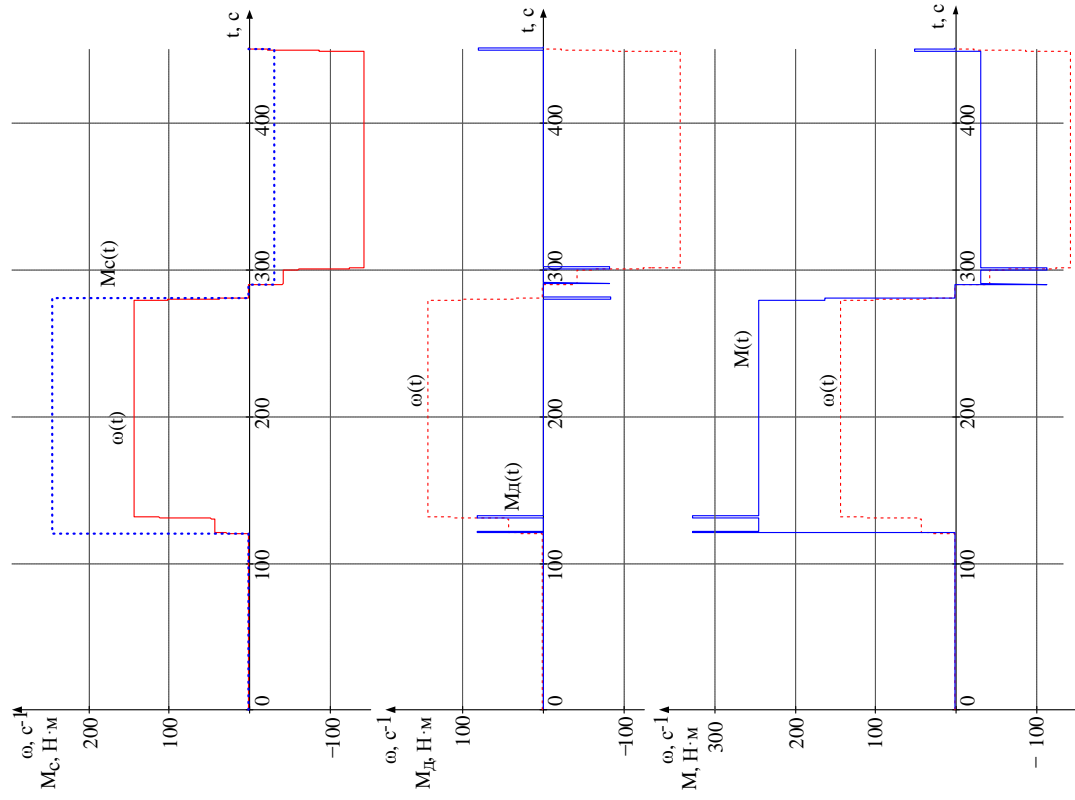
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:		Пилипчук А.В.		
Перевірив:		Бабій С.М.		
Т. контр.				
Норм.кон.		Паянок О.А.		
Загверд.		Кутин В.М.		
08-16.МКР.004.00.000 К				
Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продолвольча компанія «Поділля»»				
Схема кінематична скіпового підйомника				
Літ.	Маса	Масштаб		
Аркуш 1	Аркушів 1			
гр. ЕПА-18МЗ				

Інв. № ориг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
--------------	---------------	-------------	--------------	---------------

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

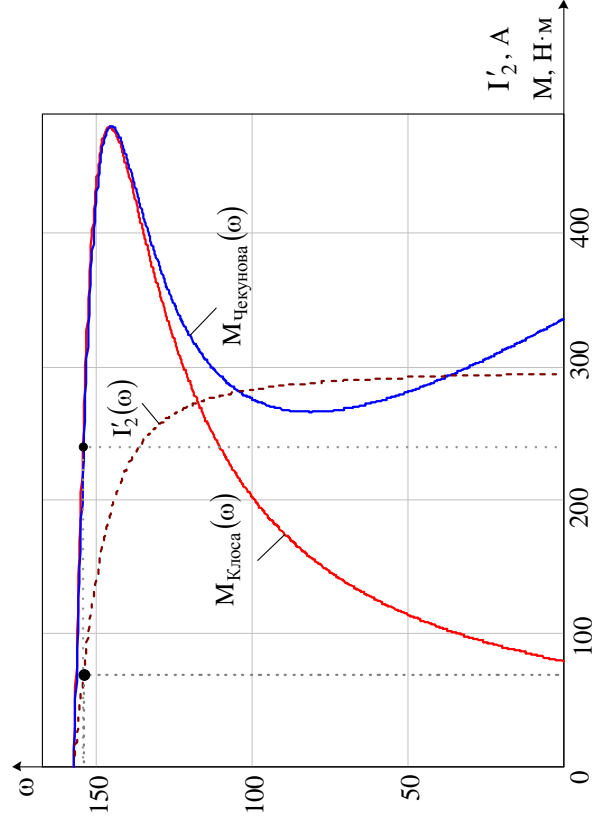
Показники	Системи електричного привода			
	РКС-АД 2-шв	ТП-Д	ІШП-ДПС	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн	67390	73250	73250	29300
Вартість системи керування СК, грн	33084	74439	66168	82710
Капітальні вкладення К, грн	100474	147689	139418	112010
Річні капітальні витрати $K_{\text{річн}}$, грн/рік	17080,58	25107,13	23701,06	19041,70
Амортизаційні відрахування C_A , грн/рік	10047,40	14768,90	13941,80	11201,00
Відрахування на ремонт C_P , грн/рік	2009,48	2953,78	2788,36	2240,20
Додаткові відрахування C_D , грн/рік	28648,41	20295,14	20295,14	15692,32
Відрахування на обслуговування C_O , грн/рік	2035,26	1900,89	1851,26	1456,68
Загальні відрахування C , грн/рік	42740,55	39918,71	38876,56	30590,19
Приведені витрати Z , грн/рік	59821,13	65025,84	62577,62	49631,89

Характеристика приводного двигуна скіпового підйомника



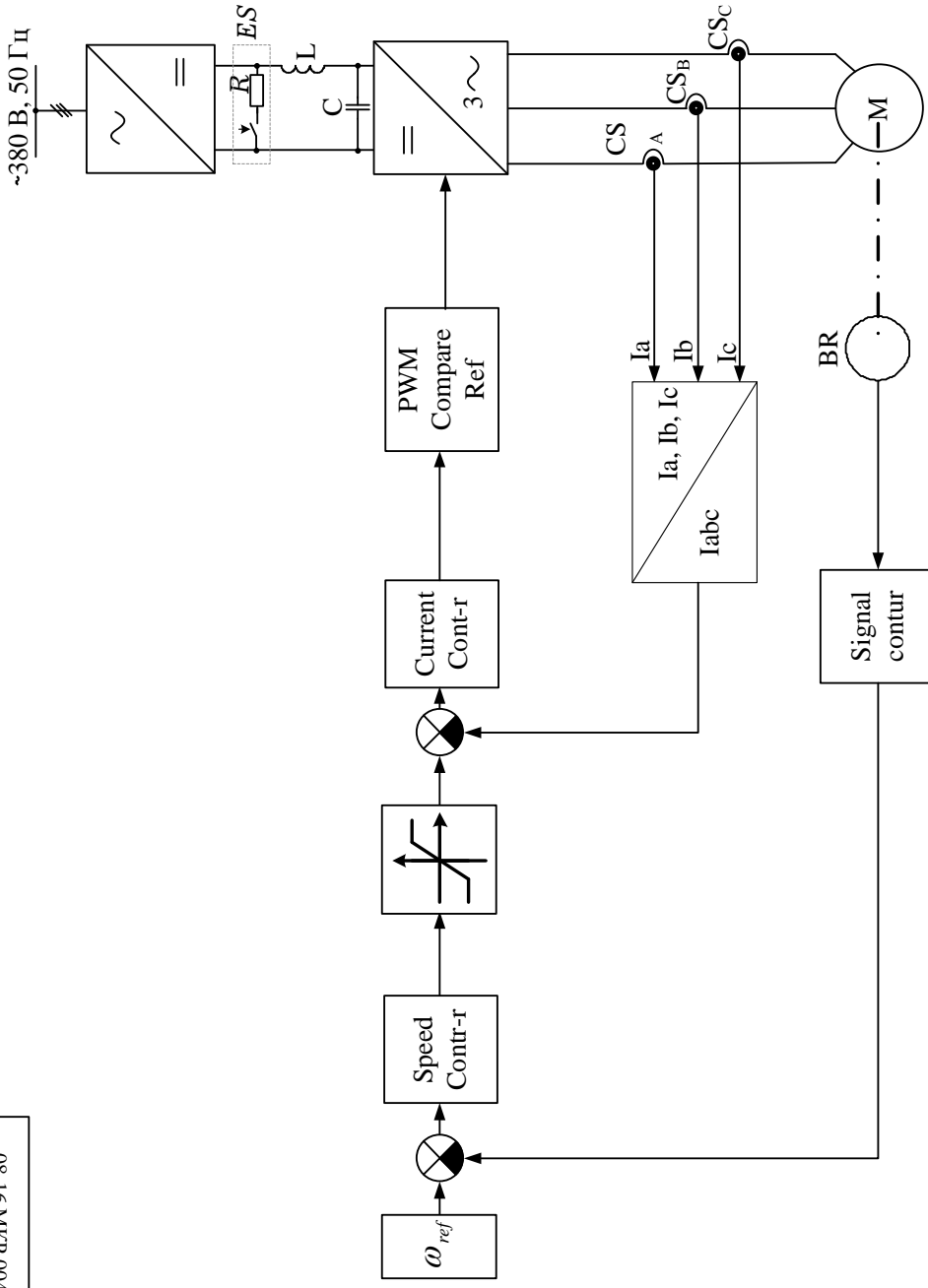
Технічні дані приводного двигуна

Тип двигуна	4A200M4
Номінальна потужність $P_{дв.н}$, кВт	37
Номінальна напруга $U_{дв.н}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{дв.н}$, об/хв	1475
$\cos\varphi_{зм}$	0,9
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{дв.н}$, %	0,91
Кратність пускового моменту $\lambda_{пуск}$	1,4
Кратність критичного моменту λ_k	2,0
Номінальний струм статора $I_{дв.н}$, А	68,8
Кратність пускового струму $\lambda_{пуск}$	7,0



Тахограма та навантажувальна діаграма електропривода скіпового підйомника вапнякової печі

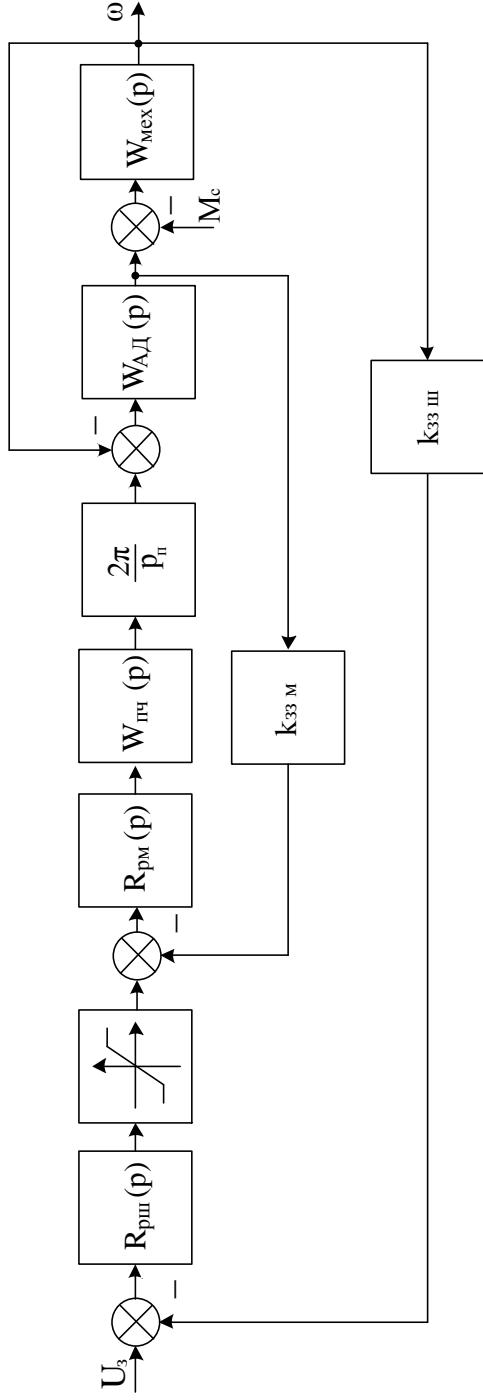
08-16.MKP.004.00.000 E2



08-16.MKP.004.00.000 E2											
Зм.	Арку.	№ докумен.	Підпис	Дата	Діг.	Місяц	Місяц	Аркуш	1	Аркушів	1
Розробив:	Перевірив:	Т. конпр.	Пилипчук А.В.	Бабій С.М.	Підприємство енергетичної ефективності електротранспорту системного паливального вантажівки (теп) в умовах Прикарпатського територіального управління «Продолговля» компанії «Інтелікс».						
Схема функціональна САЕП системного паливального											
Норм. кон.	Павлюк О.А.										
Заверд.	Кутли В.М.										
гр. ЕПА-18м3											

Лист № опр.	Питання і дата	Зам. лис. №	Лис. № дубл.	Питання і дата

08-16.МКР.004.00.000 Е1



08-16.МКР.004.00.000 Е1

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Пилипчук А.В.					
Перевірив:		Бабій С.М.					
Т. контр.							
					Аркуш 1	Аркушів 1	
Норм.кон.		Паянок О.А.			гр. ЕПА-18МЗ		
Затверд.		Кулін В.М.					

Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника валякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».
Схема структура САЕП скіпового підйомника

Підпис і дата

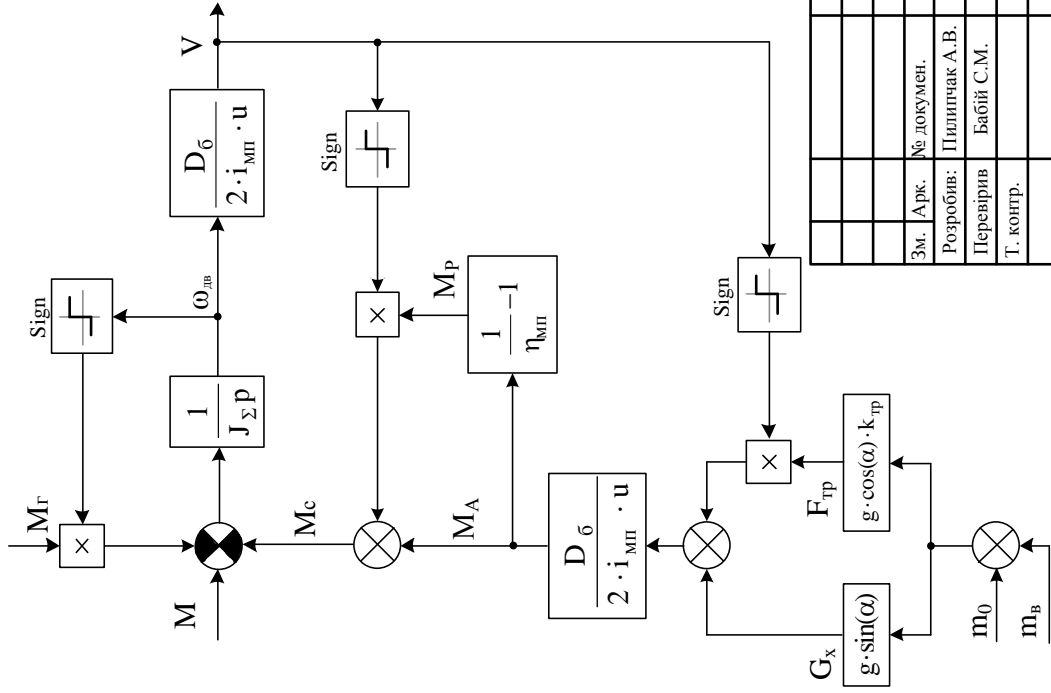
Інв. № дубл.

Зам. інв. №

Підпис і дата

Інв. № оргт.

ІД 08-16.МКР.004.00.0000 E1



$$\left\{ \begin{aligned} V &= \frac{\omega_{дв} \cdot D_б}{2 \cdot i_{мп} \cdot u}, \\ G_x &= (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha, \\ G_y &= (m_0 + m_B) \cdot g \cdot \cos \alpha, \\ F_{тр} &= G_y \cdot k_{тр} \cdot \frac{(\mu \cdot d_{п} + 2 \cdot f)}{d_k}, \\ M_c &= M_A + M_P \cdot \text{sign}(V), \\ M_A &= \frac{[G_x + F_{тр} \cdot \text{sign}(V)] \cdot D_б}{2 \cdot i_{мп} \cdot u}, \\ M_P &= M_A \cdot \left(\frac{1}{\eta_{мп}} - 1 \right), \end{aligned} \right.$$

08-16.МКР.004.00.0000 E1

Підвищення енергетичної ефективності електропривода скіпового підйомника вапнякової печі в умовах Приватного акціонерного товариства «Продовольча компанія «Поділля».
Схема структурна підйомної лебідки скіпового підйомника

Літ.	Маса	Масштаб
Аркуш 1	Аркуш 1	Аркуш 1

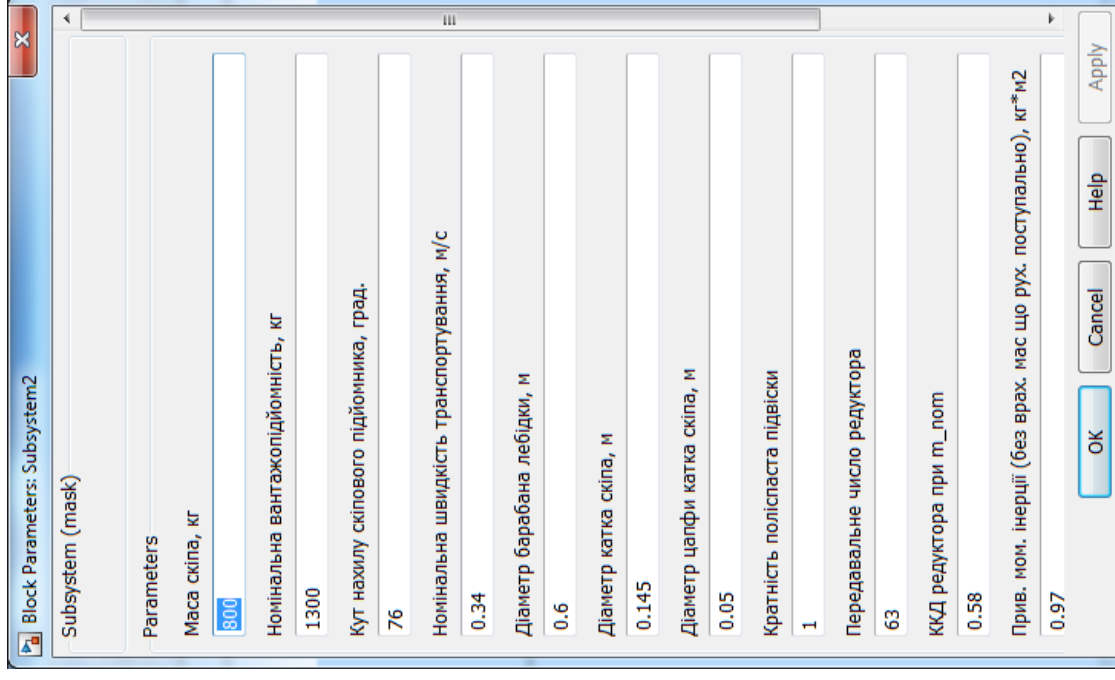
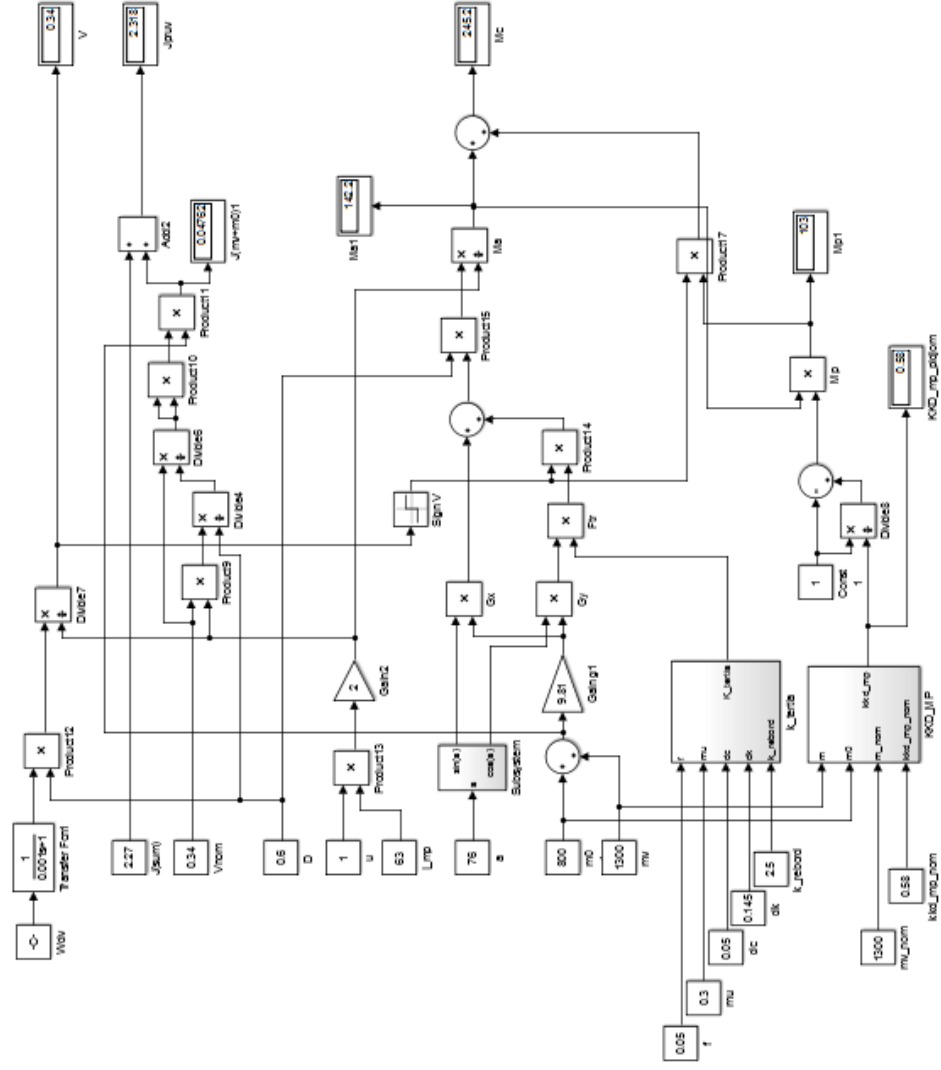
гр. ЕПА-18МЗ

Інв. № орг.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
-------------	---------------	-------------	--------------	---------------

Зм. Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:	Пилипчук А.В.		
Перевірив	Бабій С.М.		
Т. контр.			
Норм. кон.	Паянок О.А.		
Затверд.	Кутін В.М.		

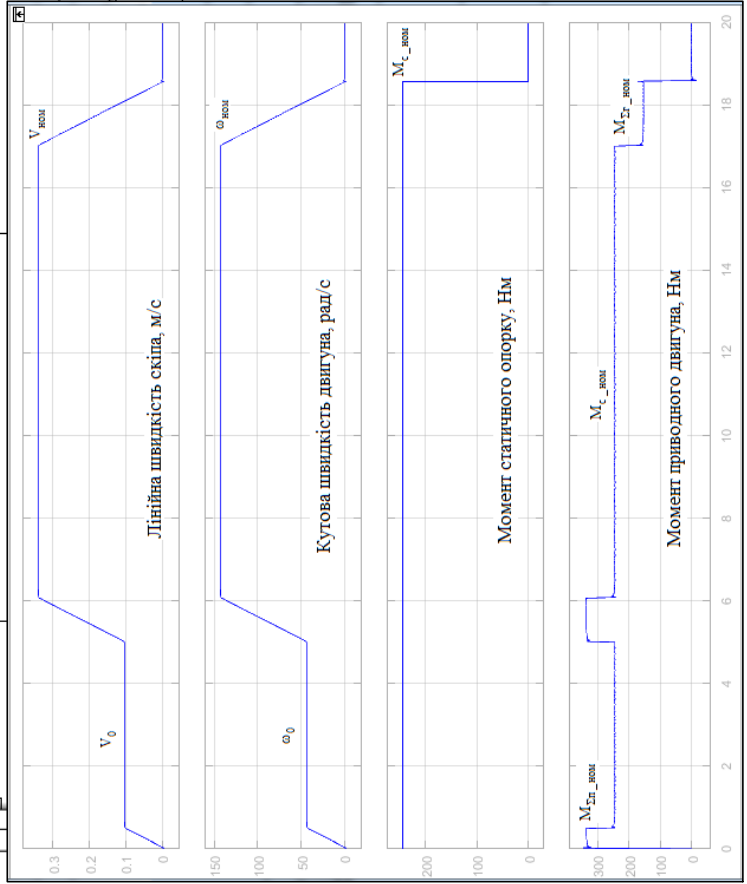
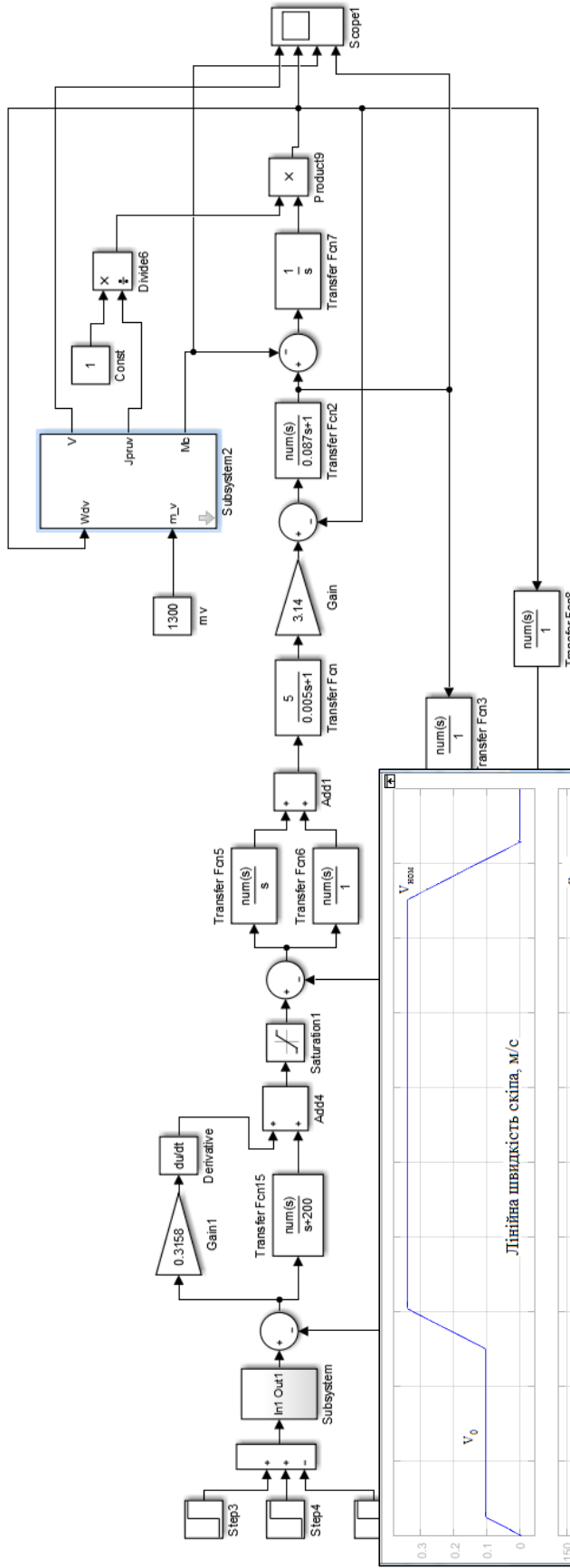
Модель підйомної лебідки скіпового підйомника в Simulink

Розгорнута структура механічної частини лебідки скіпового підйомника

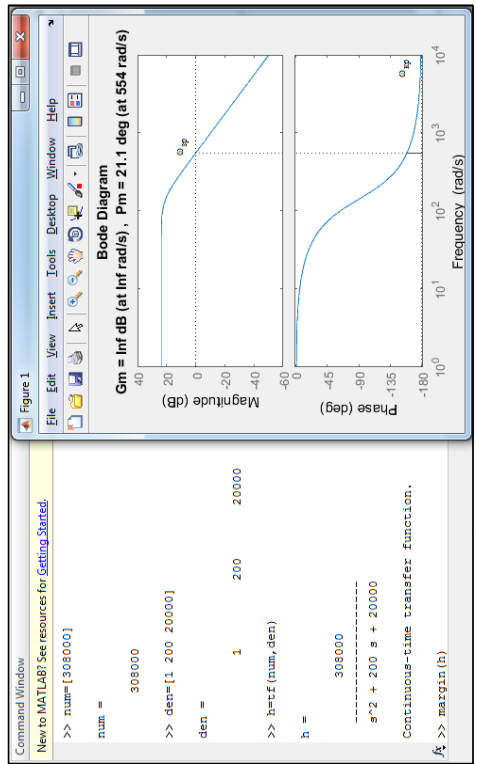


Налаштування моделі підйомної лебідки

Моделювання перехідних процесів САЕП скіпового підйомника



Графіки перехідних процесів привода при підйомі звантаженого скіпа



Вікно команд в Matlab та графіки ЛАЧХ та ЛФРЧХ

Вибір елементної бази САЕП скіпового підйомника



Зовнішній вигляд ПЧ Hitachi SJ700B-450HFF

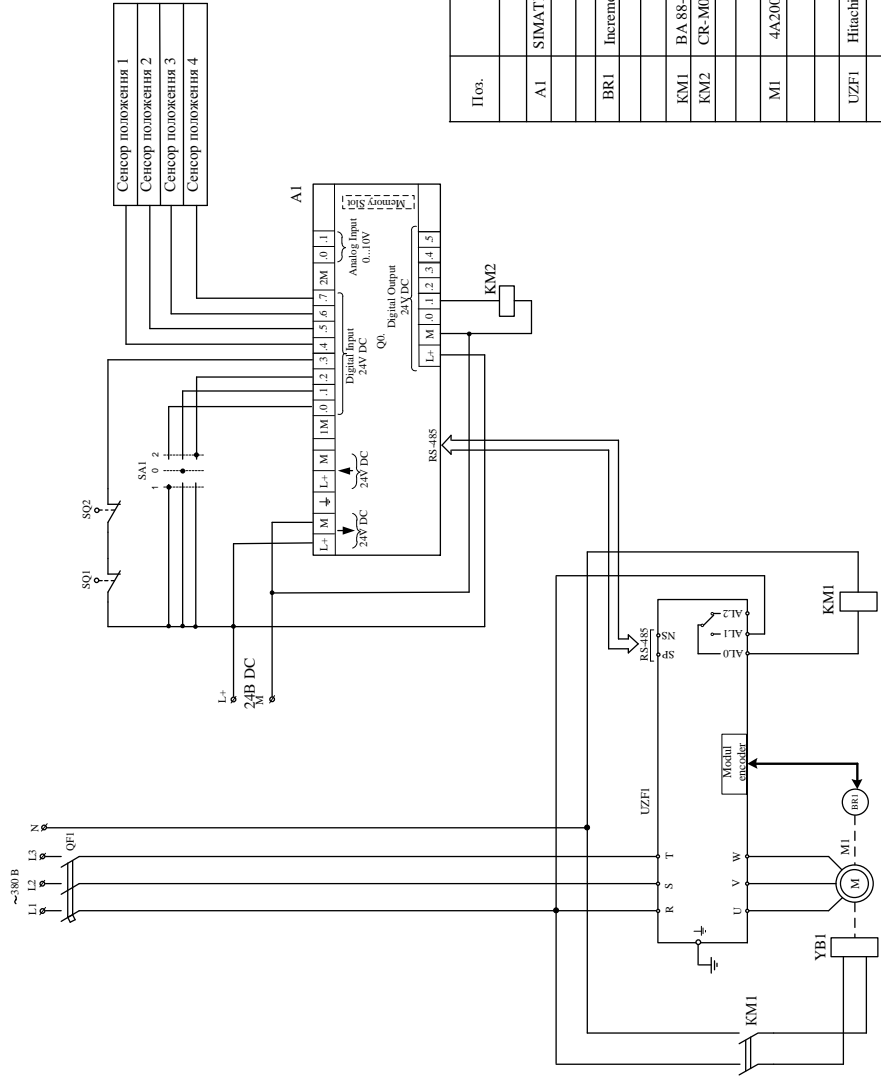


SIMATIC S7-1214CPU DC/DC/DC

Технічні характеристики перетворювача частоти

Характеристики	Значення
Номінальна потужність	45 кВт
Номінальний струм	85 А
Напруга на вході	3-фазна 380 ... 480 В, +10%, -15%
Частота напруги живлення	50/60 Гц ± 5%
Напруга на виході	3-фазна 380 ... 480 В
Вихідна частота	0,1...400 Гц
Час розгону, с	0,01...3600
Час гальмування, с	0,01...3600
Фільтр	ЕМС
Гальмівний блок	опція
Аналогові входи	3
Дискретні входи	5
Аналогові виходи	2
Дискретні виходи	2
Інтерфейс	RS485 (Modbus RTU)
Пусковий момент	150%
Регулятор	ПІД
В екторне керування	+
Робоча температура	-10 °С...+50°С
Ступінь захисту корпусу	IP20

E3 0007004MCR.91-80



Поз.	Найменування	К-ть	Примітки
A1	SIMATIC S7-1214CPU DC/DC	1	
BR1	Incremental Encoder	1	
KM1	Магнітні пусквачі	1	80 А
KM2	CR-M024DC4	1	24 В DC
M1	4A200M4		37 кВт
UZFI	Ніасхі S1700В-450НFF	1	45 кВт

08-16MCR.004.000.000.E3			
Зм.	Дат.	Підпис	Місця
Виконано			
Перевірено			
Т. констр.			
Підписок ОА			
Виконано			
Технічний звіт			
Технічний звіт			
Аркушів	1	Аркушів	1
			гр. ЕПА-18м3