

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ
КОНЦЕНТРУВАННЯ ЯБЛУЧНОГО СОКУ»

Виконав: студент 4 курсу,
групи ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пугач Д. Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор каф. КЕМСК
Гرابко В. В.

(прізвище та ініціали)

« 20 » 06 2025 р.

Рецензент:

к.т.н., доц. каф. ЕЕМ Бабенко О. В.

(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри КЕМСК

« 3 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Електроенергетики та електромеханіки
 Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 14 – Електрична інженерія
 Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРИЗ

“18” лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пугачу Дмитру Євгенійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічна система автоматизації процесу концентрації яблучного соку

керівник роботи Грабко Володимир Віталійович д.т.н., проф. каф. КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року

№97

2. Строк подання студентом роботи 03.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: повинна бути розроблена оптимальна схема автоматизації процесу уварювання яблучного соку. Повинна бути вибрана елементарна база до схеми автоматизації.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити Технологічний процес концентрування яблучного соку. Розробка схеми автооптизації випарної станції. Вибір приводного двигуна насоса подачі охолоджувальної води. Розрахунок та моделювання приводного двигуна. Вибір засобів автоматизації. Технікоєкономічне обґрунтування. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Функціональні схеми автоматизації процесу концентрування яблучного соку. Вибір засобів автоматизації. Вибір приводного двигуна та перетворювача частоти. Моделювання електроприводу та графіки перехідних процесів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Грабко В. В. проф. каф. КЕМСК	18.02.2025	06.05.2025
Охорона праці	Кобилянський О.В., д. пед. н., зав. каф. БЖДПБ	18.02.2025	20.05.2025

7. Дата видачі завдання 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.2025	виз
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	виз
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	виз
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	виз
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	виз
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	виз
7	Рецензування БКР	10.06.2025	виз
8	Захист БКР	20.06.2025	виз

Здобувач освіти


(підпис)

Д. Є. Пугач
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

В. В. Грабко
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пугач Д. Є. Електромеханічна система автоматизації процесу уварювання яблучного соку. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2025. 57 с. 10 Табл. 14 Рис.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі запропоновано рішення щодо підвищення ефективності та енергоощадності процесу уварювання яблучного соку шляхом впровадження електромеханічної системи автоматизації. Розроблено систему автоматизації випарної станції, що дозволяє стабілізувати процес уварювання, зменшити витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту.

В основній частині роботи наведено й обґрунтовано вибір електричних виконавчих механізмів та сенсорних елементів, проведено комп'ютерне моделювання роботи системи з урахуванням різних технологічних режимів.

Графічна частина включає ? плакатів з результатами дослідження. У розділі охорони праці розглянуто основні аспекти безпечної експлуатації обладнання у середовищі з підвищеною вологістю та температурою.

Ключові слова: уварювання яблучного соку, електромеханічна система, автоматизація, керування температурою, моделювання, енергоефективність.

ANNOTATION

Pugach D. E. Electromechanical automation system for the process of boiling apple juice. Bachelor's thesis in specialty 141 - Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU, 2025. 57 p. 10 Table. 14 Fig.

In the bachelor's qualification work, a solution is proposed to increase the efficiency and energy saving of the process of boiling apple juice by implementing an electromechanical automation system. An evaporation station automation system has been developed, which allows stabilizing the boiling process, reducing energy consumption and improving the quality of the final product.

In the main part of the work, the choice of electrical actuators and sensor elements is presented and justified, computer modeling of the system operation is carried out taking into account various technological modes.

The graphic part includes ? posters with the results of the study. The occupational safety section considers the main aspects of safe operation of equipment in an environment with increased humidity and temperature.

Keywords: apple juice boiling, electromechanical system, automation, temperature control, modeling, energy efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОНЦЕНТРУВАННЯ ЯБЛУЧНОГО СОКУ	9
2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТООПТИЗАЦІЇ ВИПАРНОЇ СТАНЦІЇ	15
3 ВИБІР ПРИВОДНОГО ДВИГУНА НАСОСУ ПОДАЧІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ ВОДИ	18
3.1 Вибір насосного агрегату	18
3.2 Попередній розрахунок електропривода	18
3.3 Вибір електродвигуна насоса.....	19
4 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА.....	21
4.1 Розрахунок двигуна.....	21
4.2 Розрахунок регулятора електродвигуна	22
4.3 Моделювання двигуна	25
5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	30
5.1 Вибір сенсорів тиску.....	30
5.2 Вибір сенсорів температури.....	33
5.3 Вибір сенсорів рівня	37
5.4 Вибір частотного перетворювача	39
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	45
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛАТЕРАТУРИ.....	64
ДОДАТОК А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	66
ДОДАТОК Б ГРАФІЧНА ЧАСТИНА.....	69
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ	82

ВСТУП

Актуальність роботи. Одним з основних завдань харчової промисловості є забезпечення безперебійного постачання населення якісними та безпечними продуктами харчування, а також впровадження передових технологій, які сприяють збільшенню продуктивності, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та раціональному використанню енергетичних і матеріальних ресурсів. Особливої уваги заслуговують процеси виробництва натуральних продуктів, зокрема соків прямого віджиму, які мають високу харчову цінність та користуються значним попитом серед споживачів.

Зростаючі вимоги до якості, енергоефективності та стабільності технологічних процесів обумовлюють потребу автоматизації таких ключових етапів виробництва, як уварювання яблучного соку. Саме цей процес визначає кінцеву консистенцію, смакові властивості, термін зберігання продукції, а також впливає на економічну ефективність виробництва в цілому.

Інтенсифікація процесу уварювання та застосування сучасних електромеханічних систем управління дозволяють не тільки знизити енерговитрати, а й значно зменшити участь людини в керуванні технологічним устаткуванням, підвищивши безпеку й надійність роботи всієї установки. Завдяки прогресу в галузі сенсорних технологій, виконавчих механізмів та мікропроцесорних систем, з'явилися нові можливості для розробки високоефективних автоматизованих систем, що відповідають сучасним вимогам харчової галузі.

Метою бакалаврської роботи є підвищення ефективності процесу уварювання яблучного соку шляхом розробки електромеханічної системи автоматизації, що забезпечує точне регулювання параметрів температури та тиску, сприяє покращенню якості кінцевого продукту та зниженню витрат енергії.

Об'єктом дослідження у бакалаврській роботі є електромеханічна система керування процесом уварювання яблучного соку у випарному апараті.

Предметом дослідження є процеси регулювання температури, швидкості обертання мішалки та автоматизації контролю за параметрами уварювання соку.

Задачі дослідження:

- ознайомитись з процесом виробництва яблучного концентрату.
- виконати розрахунок потужності двигуна та його перевірку згідно з параметрами технологічного процесу.
- описати процес реалізації автоматизованої системи управління технологічним процесом концентрації яблучного соку.

1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС КОНЦЕНТРУВАННЯ ЯБЛУЧНОГО СОКУ

1 Поставка та зберігання сировини: Транспортування яблук здійснюється спеціалізованими великовантажними автомобілями з антикорозійним або харчовим покриттям кузова. Такі транспортні засоби використовуються виключно для харчових продуктів і після кожного рейсу проходять санітарну обробку. Приймання партії включає зважування автомобіля до і після розвантаження для визначення чистої маси яблук. Дані фіксуються в облікових документах. Лабораторія перевіряє якість сировини, і непридатні яблука відбраковуються. Розвантаження відбувається за допомогою авторозвантажувача, який переміщує плоди у приймальний бункер, звідки вони подаються на стрічковий конвеєр. Після використання бункери миються розчином гіпохлориту натрію та ополіскуються водою.

Умови зберігання: Літні сорти — до 24 годин, Осінні та зимові — до 48 годин.

Температура: від -5 °C до 0 °C.

2 Транспортування і калібрування: Після зберігання яблука транспортуються на технологічну лінію за допомогою гідрожолобів, які одночасно виконують функцію попереднього очищення. Їх конструкція забезпечує видалення важких фракцій, домішок, листя та частково гнилої сировини. Вода, що застосовується в гідрожолобі, створює турбулентний потік, у якому легкі фрагменти спливають, а важкі — осідають і відокремлюються. Усі залишки та сторонні предмети збираються насосом та направляються на барабанне сито для подальшого вилучення.

3 Миття сировини: Мийна система являє собою замкнутий водяний контур, що включає гідрожолоб, накопичувальну ванну, фільтраційний блок і стрічковий транспортер. Спочатку чиста вода за допомогою насоса подається з ванни до гідрожолоба, де відбувається первинне миття та видалення грубих домішок. Потім сировина направляється на стрічковий транспортер, де

проводиться фінальне обполіскування яблук, після чого вони подаються на інспекційну лінію. Вода після миття повертається у ванну, звідки надходить на фільтр грубого очищення. Очищена вода повторно використовується в системі. Важливо, що вода контролюється сторонньою лабораторією відповідно до договору, та відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

4 Інспекція: Яблука подаються на інспекційний конвеєр, який виготовлено з пластинчатого матеріалу, що дозволяє відводити залишки води. Під час візуального огляду робітники видаляють плоди з пошкодженнями, ознаками захворювань, цвіллю, механічними ушкодженнями або сторонніми домішками. Усі дефектні яблука збираються в спеціальні контейнери. Якщо під час огляду виявлено забруднення, то інспекційна стрічка зупиняється, а забруднені яблука повертаються на повторне миття. Крім того, кожні 2 години лаборант відбирає пробу довжиною 1 м стрічки, масою 1 кг. З неї виділяються гнилі плоди, зважуються та визначається їх частка у %. Якщо вміст гнилі перевищує 1%, інспектор повідомляє начальника зміни, зменшує швидкість стрічки та виконує повторну перевірку, поки відсоток гнилі не буде відповідати нормі.

5 Дроблення і ферментація мезги: Після інспекції яблука подаються на дробарку. Її конструкція забезпечує ефективне подрібнення яблук до частинок розміром 2–5 мм для твердих сортів і 6–10 мм для м'якоті з рихлою структурою. Дроблення повинно забезпечити не менше 75% зруйнованих клітин м'якоті, що підвищує ефективність подальшого пресування. До подрібненої маси додається ферментний препарат (мезговий фермент), що сприяє розрідженню клітинної структури. Потім маса перекачується мононасосом у ємність об'ємом 35 м³, де відбувається ферментація протягом заданого часу.

6 Перше пресування: Після ферментації мезга надходить на стрічковий прес №1. У процесі пресування шар мезги регулюється на висоту приблизно 35 см. Тиск налаштовується залежно від структури мезги: для рихлої тканини — до 3,5 bar, для технічно стиглих плодів — до 5,5 bar. Пресування має

забезпечити вихід соку не менше 70%, при цьому допустимий вміст суспензій — до 3%. Важливо стежити за якістю промивання стрічок. Для цього використовується вода під тиском до 20 bar. Після кожного циклу стрічки очищуються від залишків мезги. Сік, що видобувається, фільтрується через вібросито з отворами 0,25 мм для видалення залишків мезги, насіння та інших домішок. Отриманий сік направляється у дві ємності об'ємом 29,5 м³ для подальшої обробки.

7 Екстракція вичавок: Після першого пресування залишки мезги обробляють пектолітичним ферментом із додаванням конденсату температурою до 50 °C у кількості 30–50% від маси. Оброблена мезга ферментується в ємності протягом 15–20 хвилин, після чого подається на друге пресування. Така обробка підвищує вихід соку та зменшує в'язкість мезги, що покращує ефективність процесу.

8 Друге пресування: Ферментовану мезгу подають на стрічковий прес №2. Тут вона знову пресується під тиском 5–5,5 bar. Метою цього етапу є досягнення максимально можливого виходу соку та зниження вологості вичавок до рівня не більше 75%. Параметри визначаються відповідно до ГОСТ 28561-90. Мезга подається на прес за допомогою мезгового насоса, обладнаного частотним перетворювачем, що дозволяє регулювати подачу. Під час пресування мезга потрапляє між дві рухомі стрічки, де її стискають вали, створюючи необхідний тиск. Отриманий сік збирається у ємностях під пресом, звідки перекачується в резервуари об'ємом 29,5 м³. Залишки вичавок видаляються шнековими транспортерами для подальшого відвантаження. Стрічковий прес після кожного циклу миється.

9 Згущування і деароматизація соку: Сік після пресування подається на вакуум-випарну установку, де поступово згущується під зниженим тиском. Температура випаровування регулюється на кожному етапі, що дозволяє уникнути перегріву і втрати якості. У спеціальній колоні виділяються ароматичні речовини, які після конденсації частково повертаються до продукту. Отриманий концентрат із вмістом сухих речовин до 70 °Brix охолоджується до

10 °С, переміщується та направляється на зберігання у ємності з нержавіючої сталі після перевірки якості.

10 Дспектинізація і стабілізація соку Для запобігання помутнінню та загущенню концентрованого соку при зберіганні, його піддають ферментативній обробці. Після охолодження до 50 °С сік подають у ємності, де протягом 1,5–2 годин здійснюється дспектинізація з додаванням пектолiтичних та амілолітичних ферментів. Завершення процесу контролюють спиртовим і йодним тестами. У разі потреби додаються додаткові дози ферментів. Після цього сік стабілізують шляхом введення активованого вугілля для знебарвлення та бентоніту для видалення білків і пектину. Після кожного циклу обладнання ретельно миється.

11 Ультрафільтрація соку: Після стабілізації сік подається на ультрафільтрацію, яка виконується при температурі 50–55 °С. Установка складається з 48 модулів з фільтрувальною площею 250 м² і продуктивністю до 21,8 м³/год. До моменту фільтрації сік повинен бути дспектинізованим і прозорим, з вмістом осаду не більше 4%. Він подається у накопичувальну ємність типу "Batch Tank", проходить через мембрани, де розділяється на освітлений сік (пермеат) і залишковий осад (ретентат). Пермеат направляється далі на концентрацію, ретентат видаляється. Для стабільної роботи системи використовується лише м'яка демінералізована вода з низькою мутністю та жорсткістю. Мембрани щоденно регенеруються, а під час зберігання консервуються у розчині гліцерину з формаліном, за умов температурного режиму +10...+33 °С.

12 Концентрація соку: Процес концентрації є одним з основних і технологічно складних етапів виробництва концентрованого яблучного соку. Для цього використовують вакуум-випарну установку, яка складається з чотирьох основних колон. Перші дві колони призначені для випаровування вологи з соку, третя — для деароматизації, а четверта — для остаточного згущування. Сік, попередньо освітлений та профільтрований, подається на установку з температурою 55–65 °С. Під впливом вакууму забезпечується

випаровування при зниженій температурі, що дозволяє зберегти якість соку і його поживні речовини. У кожній колоні температура поступово знижується на 5–10 °С, а пара, що утворюється під час випаровування, використовується як теплоносії для наступної колони, що значно підвищує енергоефективність процесу.

У процесі випарювання суміш соку і пари надходить у сепаратори, де за допомогою відцентрової сили відбувається їх розділення. Пара конденсується у барометричному конденсаторі при температурі 20 °С, а сік переходить у наступну колону для подальшого згущування. Одночасно у третьому контурі проводиться виділення ароматичних речовин, які повертаються у продукт після стабілізації, що дозволяє зберегти характерний запах та смак свіжих яблук. Наприкінці процесу отримується концентрат із вмістом сухих речовин близько 70 Brix. Його охолоджують до температури 10 °С, після чого він перекачується у проміжні ємності об'ємом 27 м³, де ретельно перемішується для вирівнювання показників якості. Після лабораторного контролю концентрат направляється на довготривале зберігання в ємності об'ємом 400 м³ з нержавіючої сталі.

13 Асептичний розлив продукту: Після концентрації сік через насос подається в накопичувальну ємність, звідки надходить до трубчастого стерилізатора. Там він підігрівається до 75–90 °С, стерилізується, фільтрується і охолоджується до 20 °С. Потім сік подається на асептичний наповнювач, де фасується в стерильні мішки, вкладені в підготовлену тару. Процес контролюється автоматично, маркування здійснюється згідно з чинними вимогами. Після фасування продукт подається на склад.

14 Зберігання готового продукту: Готовий концентрат зберігається у ємностях з нержавіючої сталі об'ємом до 400 м³ за температури 0–20 °С і вологості не вище 75%. Перед зберіганням ємності проходять санітарну підготовку згідно встановленої інструкції.

15 Відвантаження: Концентрат відвантажується наливом у спеціалізовані автоцистерни з нержавіючої сталі, що мають термоізоляцію та дозволені для

перевезення харчових продуктів. Водії повинні мати сертифікат про санітарне миття цистерни.

16 Розлив продукту та пакування: Сік концентрований фасують у цистерни, контейнери або асептичні резервуари, внутрішні поверхні яких виготовлені з харчових матеріалів. Тара та асептичні мішки повинні відповідати санітарним нормам та мати дозвіл на контакт з харчовими продуктами. Маркування виконується згідно із законодавством, з можливістю дублювання іншою мовою для експорту. Упакований продукт переміщується на склад для подальшого зберігання.

2 РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОИПТИЗАЦІЇ ВИПАРНОЇ СТАНЦІЇ

В даному розділі була розроблена схема автоматизації випарної станції, яка відіграє ключову роль в процесі концентрування яблучного соку. Перевагами запропонованої схеми є можливість ручного контролю на всіх етапах випаровування, що дозволяє чітко контролювати процес та дає змогу швидко реагувати та керувати системою за потреби чи у випадку аварійної ситуації.

Робота випарки починається з створення розрідження повітря у всіх корпусах V1-V4 за допомогою МК – конденсатора для поетапного уварювання що дозволяє використовувати тепло більш раціонально, адже пара з першого корпусу після конденсації є носієм тепла для другого, третього й четвертого корпусів, в яких розрідження вище а температура нижче, що суттєво знижує затрати пари й електроенергії. До того ж, послідовне зниження тиску та температури в кожній наступній колоні дає змогу випаровувати за нижчих температур, зберігаючи колір, аромат і корисні властивості соку , а також зменшує утворення нальоту й відкладень на поверхнях теплообмінників, що подовжує їхній ресурс і спрощує обслуговування.

Після утворення в системі достатнього розрідження, за рівнем якого слідкують сенсори PI4, 8, 14 й 18, починається подача соку з резервуару в якому він зберігається та підігрівається до потрібної температури, яка відслідковується сенсором TE2, насосом M1 в колону V1, де й проходить перший етап уварювання. Рівень поданої сировини в колонах фіксується сенсорами рівня LE5, 9, 15 та LE19, резервуар з якого подається сік та конденсатор – МК , також обладнані системами фіксації та контролю рівня, так кількість охолоджувальної води що подається на МК, а рівень рідини в середині відслідковується сенсором LE22. Коли резервуар заповнено подається первинна (гріюча) парив в трубчастий теплообмінник, подача пари регулюється електромагнітним клапаном KP1 для підтримання потрібної температури (65°C)

керується від сенсора температури TE3, температура в решті колон вимірюється сенсорами TE 7, 13 та TE17 .

Уварений до певної консистенції сік подається насосом M2 в наступну колонну V2, підігрів якого відбувається за рахунок перекачуванням гріючої пари з V1 за допомогою АКВ1, який охолоджується водою через клапан КР2, адже температура в кожній наступній колоні повинна знижуватись на 5°C. Температуру пару в АКВ1-4 вимірюється сенсорами температури TE6, 12, 16 та TE20.

В V3 на третю ступінь випаровування сік перекачується насосом M3 температура там ще нижче але й розрідженість вища. На колону V4, де проходить останній етап концентрації, уварений сік подається насосом M4, в цій колоні най менша температура та найвище розрідження вакуум в ній складає 880 мВаг. Готовий концентрат відкачується насосом M5, в ємності для зберігання звідки подається на асептичний розлив.

Вакуум протягом уварювання у всій системі забезпечується мультиструменевим конденсатором – МК, який витягує частину вторинної пари та не конденсовані гази. Конденсат з колон V1-V4 а також з МК фільтрується та подається на СТ де охолоджується, після чого він виступає у ролі охолоджувача для МК та АКВ1-АКВ4. Для контролю рівня води та її температури СТ обладнаний сенсори рівня – LE10 та температури – TE11. Охолоджена вода подається в систему за допомогою насоса M6 швидкість обертання якого регулюється перетворювачем частоти на який надходить сигнал з сенсора рівня рідини в МК, за рахунок того що вторинна пара та газ які відсмоктуються з корпусів V1-V4 зустрічаються з холодною водою, в результаті чого різко зменшується об'єм пари, що в свою чергу приводить до зменшення тиску в системі й створення розрідження. Це в свою чергу дозволяє чітко регулювати рівень розрідження в кожній колоні, що грає ключову роль в уварюванні соку і найважливішим чином впливає на якість вихідного продукту.

Нижче на рисунку 2.1 зображено описану вище схему автоматизації випарної станції.

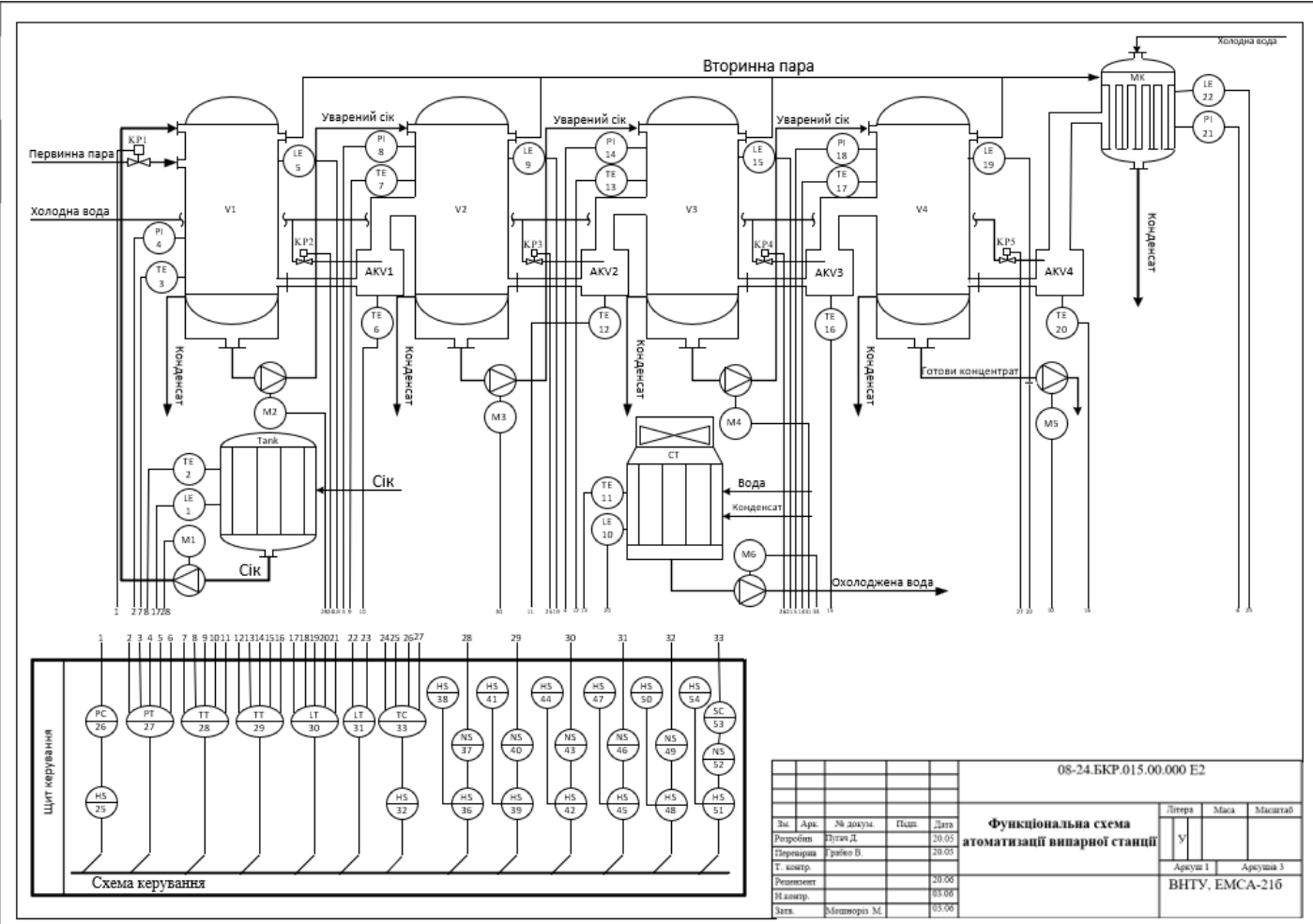


Рисунок 2.1 – Схема автоматизації випарної станції

На даному рисунку:

Tank – резервуар для зберігання та підігрівання яблучного соку;

СТ (Cooling tower) – резервуар для зберігання й охолодження води;

V1-V4 – колони в яких відбувається уварювання;

AKV1-AKV4 – модулі які складаються з кількох запірно-регулюючих елементів, що керують подачею середовищ у випарні корпуси (V1, V2, V3, V4).

МК – мультиструменевий конденсатор.

3 ВИБІР ПРИВІДНОГО ДВИГУНА НАСОСУ ПОДАЧІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ ВОДИ

3.1 Вибір насосного агрегату

Працюватиме двтгун в умовах випарного відділу де присутні підвищені температури та висока вологість, тому насос повинен мати закриту конструкцію та захисний кожух. Також при виборі агрегату слід враховувати витрати води, тут вони становлять приблизно 25 м³/год, та робочий напір потрібен 20-22,5 м.

Беручи до уваги неведені вище данні, для подачі води до конденсатора було обрано насос типу CF 50-250/230, що має горизонтальне виконання з захисним кожухом. Насос призначений для перекачування води та слабоконцентрованих рідин у системах охолодження, що повністю відповідає умовам експлуатації у випарній станції.

Основні технічні характеристики насосної частини:

- діаметр подаючого патрубку: DN 50;
- діаметр напірного патрубку: DN 65;
- геометрія робочого колеса: закритого типу, забезпечує стабільну подачу без турбулентних втрат;
- робоче середовище: вода, температурою до +85°C;
- розрахункова витрата: 20–30 м³/год ;
- робочий напір: до 20–25 м.

Конструкція насоса з кожухом захищає підшипники та ущільнення від впливу пари, конденсату та бризок, що виникають поблизу випарного обладнання. Надійне виконання корпусу насоса дозволяє застосовувати його в агресивному середовищі харчових виробництв без додаткової герметизації.

3.2 Попередній розрахунок електропривода

Для зручності переведемо витрати води у м³/с:

$$Q = \frac{25}{3600} = 0,00694 \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (3.1)$$

Гідравлічна потужність насоса розраховується за формулою:

$$P_{\text{гідр}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,00694 \cdot 20 = 1363,4 \text{ (Вт)} = 1,36 \text{ (кВт)} \quad (3.2)$$

де ρ – це густина води = 1000 кг/м^3 , g – прискорення вільного падіння = $9,81 \text{ м/с}^2$ і H – це напір = 20 м .

Для розрахунку необхідної потужності двигуна врахуємо коефіцієнт запасу перевантаження (типовий запас для таких насосів складає від 1.6 до 1.9) отже:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{гидр}} \cdot \text{коеф. запасу} = 1,36 \cdot 1,6 = 2.176 \text{ (кВт)} \quad (3.3)$$

Таким чином необхідна потужність електродвигуна $\approx 2.2 \text{ кВт}$.

Насос типу CF 50-250 є стандартним відцентровим насосом з оптимальною частотою обертання 1450 об/хв для мережі 50 Гц (двигун чотириполюсний).

Це дає змогу:

- забезпечити плавну подачу води;
- уникати турбулентних перевантажень;
- застосовувати частотне регулювання.

3.3 Вибір електродвигуна насоса

Виходячи з попереднього підпункту насос оснащено електродвигуном Odenwald, що забезпечує привід робочого колеса через жорстке з'єднання без редуктора. Враховуючи характеристики обраного насоса та режим його роботи, було підібрано електродвигун з такими параметрами:

- номінальна потужність: $2,2 \text{ кВт}$;
- частота обертання: 1450 об/хв ;
- номінальна напруга: 400 В ;
- номінальний струм: $5,2 \text{ А}$;
- клас захисту: IP55;
- частота мережі: 50 Гц ;
- ККД: 82% ;
- $\cos \varphi$: $0,81$;
- Співвідношення пускового струму та номінального струму $I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$: 6 А .

Обрана частота обертання 1450 об/хв є оптимальною для забезпечення стабільної подачі води без гідроударів і з мінімальним пульсаційним

навантаженням. Двигун має низький рівень шуму, стійкий до підвищеної вологості, легко інтегрується в систему автоматизованого керування.

Такий електропривод дає можливість за потреби використовувати частотний перетворювач для плавного регулювання продуктивності насоса відповідно до змін температурного чи вакуумного режиму в колоні.

4 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА

4.1 Розрахунок двигуна

Номінальне ковзання визначається за формулою:

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_H}, \quad (4.1)$$

де n_0 - частота обертання ($n_0 = 1500$ об/хв);

n_H - фактична частота обертання ($n_H = 1450$ об/хв).

$$s_H = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,034.$$

Критичне ковзання можна розрахувати за формулою:

$$s_K = s_H \cdot \left(k_M + \sqrt{k_M^2 + 1} \right), \quad (4.2)$$

де k_M - перевантажувальна здатність двигуна ($k_M = M_{\max}/M_H = 2,1$).

$$s_K = 0,034 \cdot \left(2,1 + \sqrt{2,1^2 + 1} \right) = 0,136.$$

Номінальний момент двигуна можна визначити по формулі:

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_H}, \quad (4.3)$$

де P_H - потужність електродвигуна ($P_H = 2200$ Вт).

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{2200}{1450} = 14,49 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Критичний момент двигуна визначається за формулою:

$$M_K = k_M \cdot M_H, \quad (4.4)$$

$$M_K = 2,1 \cdot 14,49 = 30,428.$$

Електромагнітну сталу часу розраховують за наступною формулою:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_K} , \quad (4.5)$$

де ω_0 - швидкість обертання:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_0 , \quad (4.6)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14}{60} \cdot 1500 = 157,08 \text{ (рад/с)} .$$

$$T_e = \frac{1}{157,08 \cdot 0,136} = 0,047 \text{ (с)} .$$

Коефіцієнт бета можна розрахувати за такою формулою:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_0 \cdot S_K} , \quad (4.7)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 30,428}{157,08 \cdot 0,136} = 2,847 .$$

Це основні розрахунки які проводяться для двигуна саме моделювання наведено нижче в розділі 4.3.

4.2 Розрахунок регулятора електродвигуна

Для регулювання електродвигуна використовується перетворювач частоти. В контурах зворотніх зв'язків по моменту та швидкості обертання використовуємо ПІ-регулятор, що надає можливість краще керувати параметрами двигуна.

Розрахуємо основні дані потрібні для нашого регулятора.

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму K_c , знайдемо за формулою:

$$K_c = \frac{U_K}{M_K} , \quad (4.8)$$

де U_K – напруга керування ($U_K = 10 \text{ В}$).

$$K_c = \frac{10}{30,482} = 0,429 .$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості $K_{ш}$, розрахуємо за формулою:

$$K_{ш} = \frac{U_k}{\omega_H} , \quad (4.9)$$

де ω_H - номінальна швидкість обертання:

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_H , \quad (4.10)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14}{60} \cdot 1450 = 151,844 \text{ (рад/с)} .$$

$$K_{ш} = \frac{10}{151,844} = 0,066 .$$

Коефіцієнт перетворювача частоти визначається за наступною формулою:

$$K_{ПЧ} = \frac{f_H}{U_k} , \quad (4.11)$$

де f_H - номінальна частота двигуна ($f_H = 50$ Гц).

$$K_{ПЧ} = \frac{50}{10} = 5 .$$

Стала часу перетворювача частоти для спрощення береться 0,005 с.

Отже $T_{ПЧ} = 0,005$ с .

Визначити коефіцієнт часу $\tau_{\mu c}$ можна за формулою:

$$\tau_{\mu c} = \min\{T_{ПЧ}; T_e\} , \quad (4.12)$$

$$\tau_{\mu c} = \min\{0,005; 0,047\} = 0,005 \text{ (с)} .$$

Коефіцієнт часу τ_{Rc} розраховується за формулою:

$$\tau_{Rc} = \max\{T_{ПЧ}; T_e\} , \quad (4.13)$$

$$\tau_{Rc} = \max\{0,005; 0,047\} = 0,047 \text{ (с)} .$$

Коефіцієнт $K_{обс}$ визначається за формулою:

$$K_{обс} = K_{ПЧ} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{Z_p} \cdot \beta \cdot K_c , \quad (4.14)$$

де Z_p – це кількість пар полюсів ($Z_p = 2$)

$$K_{\text{обс}} = 5 \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{2} \cdot 2,847 \cdot 0,329 = 14,696 .$$

Сталу часу $\tau_{\text{ос}}$ розрахуємо за формулою:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ос}} &= 2 \cdot \tau_{\mu\text{с}} \cdot K_{\text{обс}} , \\ \tau_{\text{ос}} &= 2 \cdot 0,005 \cdot 14,696 = 0,147 \text{ (с)} . \end{aligned} \quad (4.15)$$

Коефіцієнт $K_{\text{обш}}$ визначається за наступною формулою:

$$K_{\text{обш}} = \frac{1}{K_c} \cdot \frac{1}{J} \cdot K_{\text{ш}} , \quad (4.16)$$

де J – момент інерції двигуна ($J = 0,075 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$)

$$K_{\text{обш}} = \frac{1}{0,329} \cdot \frac{1}{0,075} \cdot 0,066 = 2,672 .$$

Пропорційний коефіцієнт ПІ-регулятора в зворотному зв'язку по струмі визначається за формулою:

$$\begin{aligned} K_{\text{сп}} &= \frac{\tau_{Rc}}{\tau_{\text{ос}}} \\ K_{\text{сп}} &= \frac{0,47}{0,147} = 0,318 . \end{aligned} \quad (4.17)$$

Пропорційно-інтегральний коефіцієнт ПІ-регулятора в зворотному зв'язку по струму можна визначити за наступною формулою:

$$\begin{aligned} K_{\text{ci}} &= \frac{1}{\tau_{\text{ос}}} , \\ K_{\text{ci}} &= \frac{1}{0,147} = 6,805 . \end{aligned} \quad (4.18)$$

Стала часу $\tau_{\mu\text{ш}}$ розраховується по формулі:

$$\begin{aligned} \tau_{\mu\text{ш}} &= 2 \cdot \tau_{\mu\text{с}} , \\ \tau_{\mu\text{ш}} &= 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ (с)} . \end{aligned} \quad (4.19)$$

Стала часу $\tau_{R\text{ш}}$ розраховується по формулі:

$$\tau_{Rш} = J , \quad (4.20)$$

$$\tau_{Rш} = 0,075 \text{ (с)} .$$

Стала часу $\tau_{ош}$ розраховується по формулі:

$$\tau_{ош} = 2 \cdot \tau_{\muш} \cdot K_{обш} , \quad (4.21)$$

$$\tau_{ош} = 2 \cdot 0,01 \cdot 2,672 = 0,053 \text{ (с)} .$$

Пропорційний коефіцієнт ПІ-регулятора в зворотному зв'язку по швидкості визначається як:

$$K_{пш} = \frac{\tau_{Rш}}{\tau_{ош}} , \quad (4.22)$$

$$K_{пш} = \frac{0,075}{0,053} = 1,403 .$$

Пропорційно-інтегральний коефіцієнт ПІ-регулятора в зворотному зв'язку по швидкості приймемо за 10. Тобто ($K_{шi} = 10$).

Проведені розрахунки будуть використані для моделювання двигуна з регулюванням в наступному пункті.

4.3 Моделювання двигуна

Моделювання електродвигуна проводиться за допомогою програмного пакета Matlab-Simulink. Для початку потрібно промоделювати двигун без регуляторів, при номінальному моменті. Схема асинхронного двигуна представлена на рис. 4.1

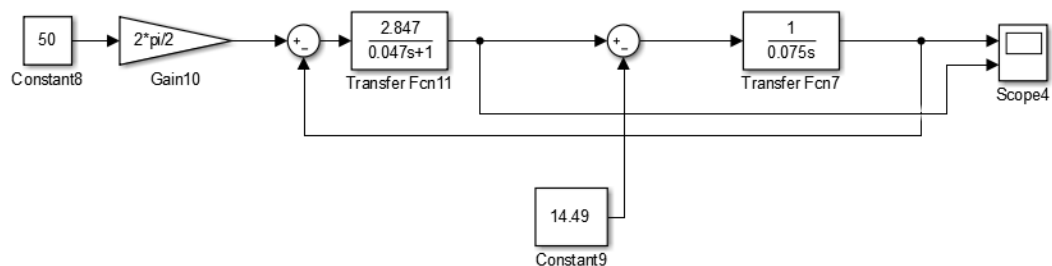


Рисунок 4.1 – Схема асинхронного двигуна в Matlab-Simulink

На рис. 4.2 представлено графіки швидкості та моменту двигуна, при пуску на номінальний момент двигуна.

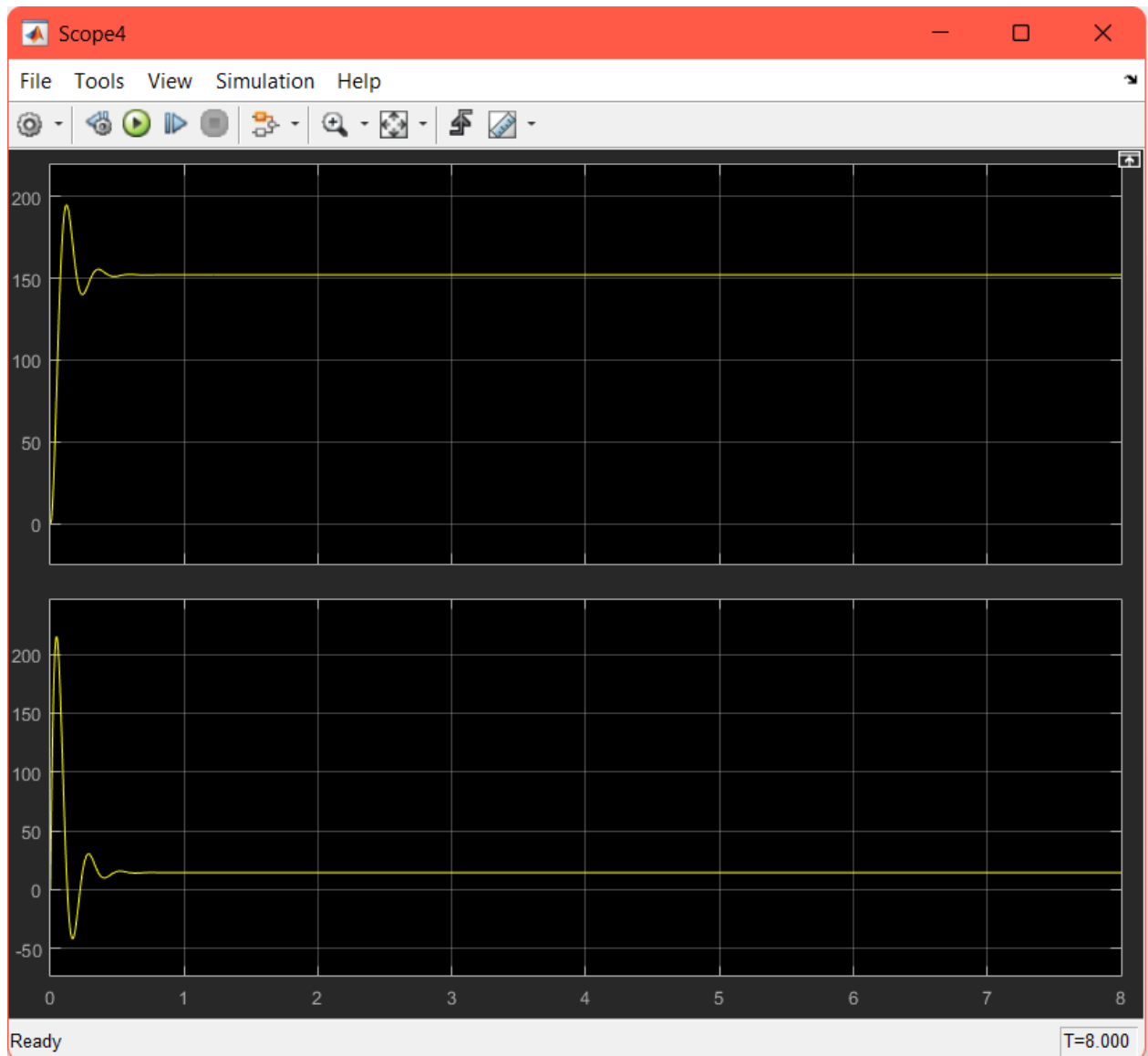


Рисунок 4.2 – Графіки швидкості та моменту двигуна

Модель вже керованого двигуна з перетворювачем частоти, можна побачити нижче на рис. 4.3.

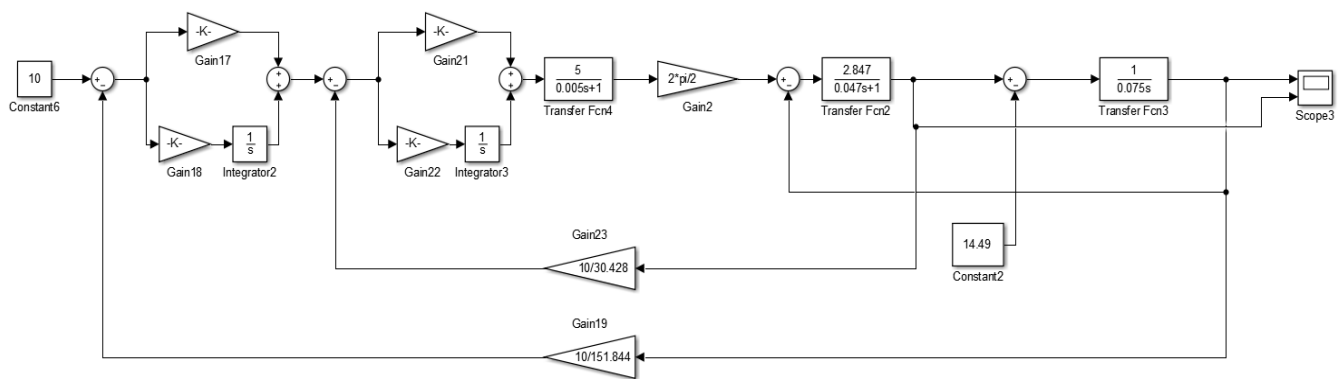


Рисунок 4.3 – Модель електродвигуна з перетворювачем частоти

На рис. 4.4 зображено графіки швидкості та моменту двигуна з встановленим перетворювачем частоти.

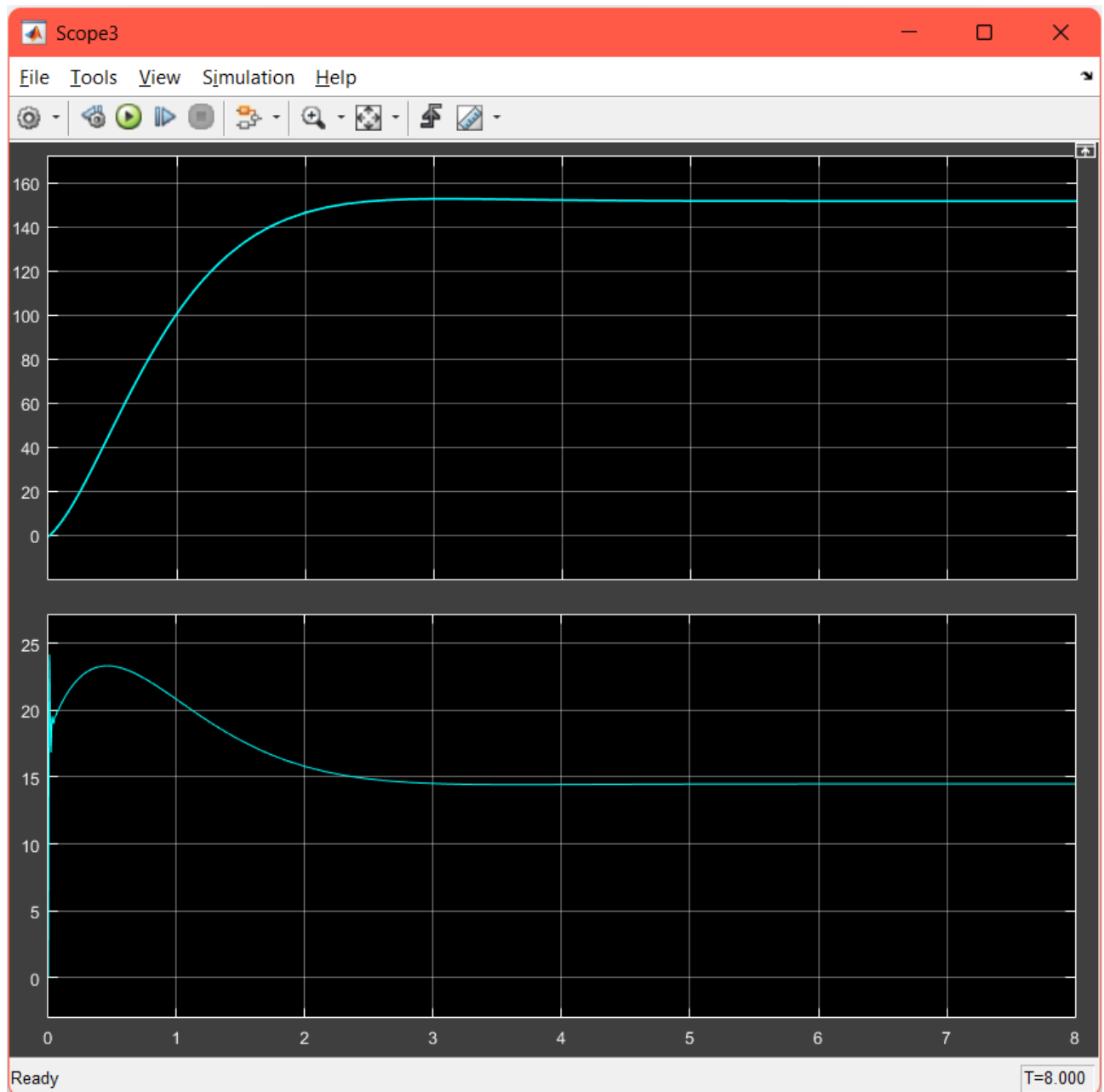


Рисунок 4.4 – Графіки швидкості та моменту з встановленим перетворювачем частоти

Порівняння графіків моделювання без ПЧ і з ним, приведено на рисунку на рис. 4.5.

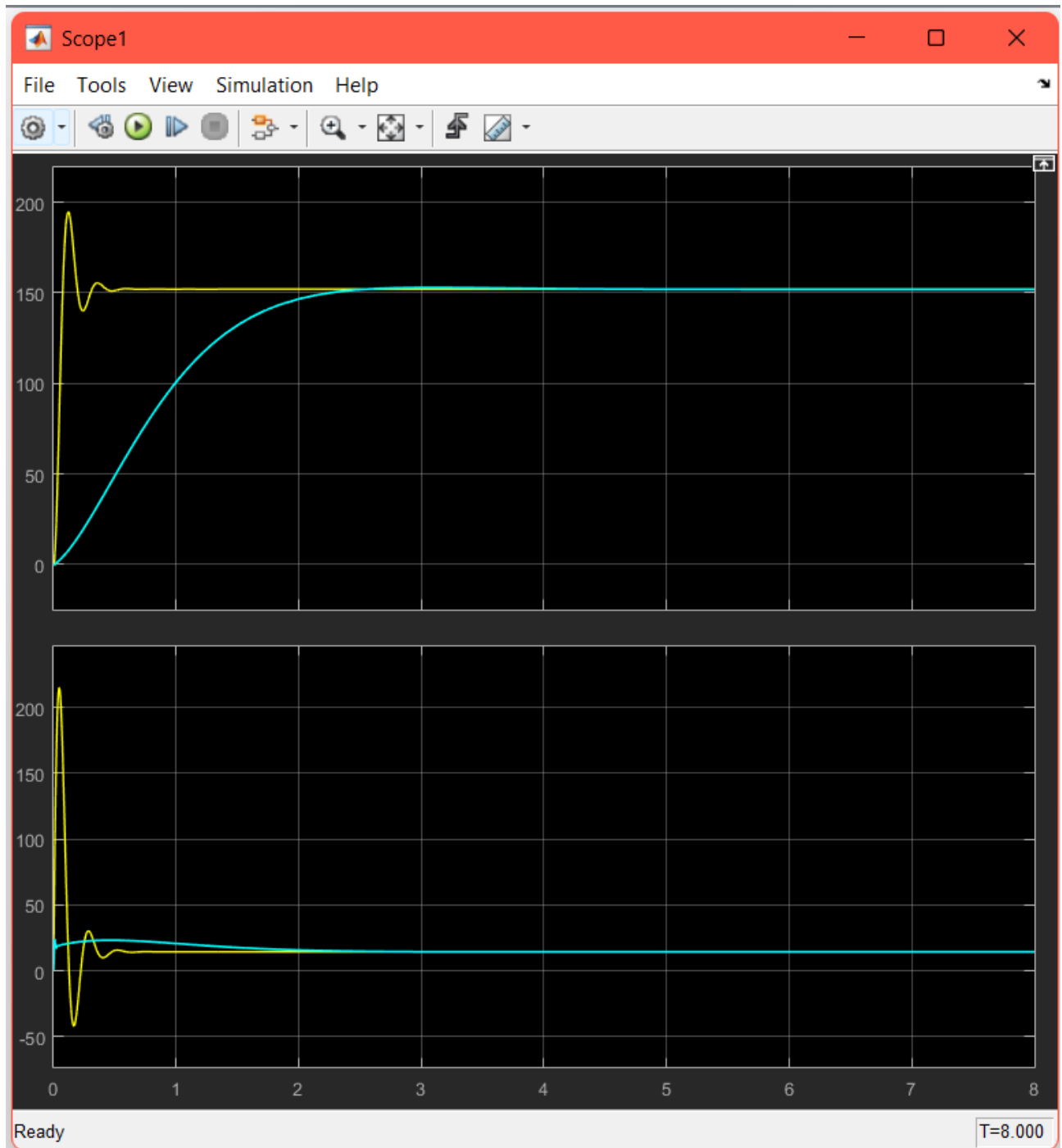


Рисунок 4.5 – Порівняння графіків швидкостей та моментів

Висновок: з графіків видно, що момент не виходить за межу максимального моменту, а отже вибір ПІ-регуляторів є доцільним, та необхідним для цієї системи.

5 ВИБІР ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Вибір сенсорів тиску

Оберемо сенсор тиску який буде використовувати в колонах випарної станції.

Сенсор тиску відіграють ключову роль у системі автоматизації будь якої випарної станції, оскільки контроль тиску є одним із основних факторів, що визначають ефективність, стабільність та безпеку процесу випаровування.

У випарній установці процес концентрування відбувається при зниженому тиску (вакуумі), що дозволяє знизити температуру кипіння продукту та запобігти його термічному руйнуванню. Для забезпечення стабільної та ефективної роботи випарної установки необхідно підтримувати задані значення тиску в кожній з камер. Саме тому в кожній ступені випарювання встановлюються сенсори тиску, які постійно вимірюють тиск і передають сигнал до автоматизованої системи керування.

Сигнали з сенсорів тиску використовуються для регулювання подачі пари, управління роботою вакуумного насоса або струменевих ежекторів, а також для контролю процесу між камерного перепаду тиску. Це забезпечує рівномірний хід випаровування у всіх камерах і знижує загальні енергетичні витрати шляхом оптимального використання вторинної пари.

Окрім регулюючої функції, сенсори тиску виконують важливу роль у системі технічної безпеки. У разі перевищення або падіння тиску за допустимі межі, система автоматично формує сигнал тривоги або зупиняють процес, що запобігає аварійним ситуаціям, пошкодженню обладнання та втраті якості готової продукції.

Загалом, сенсори тиску забезпечують точний контроль технологічного процесу, дозволяють оперативно реагувати на зміни параметрів, підвищують енергоефективність виробництва, забезпечують безпеку персоналу та стабільну роботу обладнання. Їхня наявність є обов'язковою умовою для надійної роботи автоматизованої випарної станції.

В розробленій системі автоматизації для утворення необхідного рівня розрідження приблизний тиск в колонах складає:

- V1: = 0,4–0,5 бар
- V2: = 0,28–0,35 бар
- V3: = 0,18–0,22 бар
- V4 = 0,12 бар

Отже необхідний діапазон тиску складає 0,1-0,5 бар, тому у якості сесору тиску оберемо WİKA PE 81.60, зовнішній вигляд наведено на рис. 5.1 а характеристики продемонстровано в табл.5.1



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд сенсора тиску WİKA PE 81.60

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики сенсору тиску WİKA PE 81.60

Діапазон вимірювання	0-0,6 бар
Ступінь захисту	IP65
Можливе перевантаження	3 бар
Похибка	±0,5%

Як видно з табл. 5.1 даний сенсор відповідає потрібному діапазону вимірюваних значень, та використовуватиметься в усіх 4-х колонах.

Що до сенсора який вимірюватиме тиск в МК, він відрізнятиметься від сенсорів в колонах тому що для підтримання потрібного рівню розрідження у всій системі тиск в конденсаторі повинен бути нижчим за тиск в останній колоні V4 на 0,01-0,03 бар.

У складі випарної установки конденсатор відіграє ключову роль у завершенні технологічного циклу випаровування, забезпечуючи конденсацію вторинної пари та підтримання вакууму в усьому контурі. Для стабільної та безпечної роботи цієї частини системи обов'язковим є постійний контроль тиску за допомогою відповідного сенсора.

Отже оптимальним діапазоном для сенсора в МК буде 0-0,1 бар. Тому було вирішено встановити сенсор тиску WIKA S-11 зовнішній вигляд, розміри й характеристики якого наведено нижче на рис. 5.2 і 5.3.



Рисунок 5.2 – Зовнішній вигляд сенсора тиску WIKA S-11

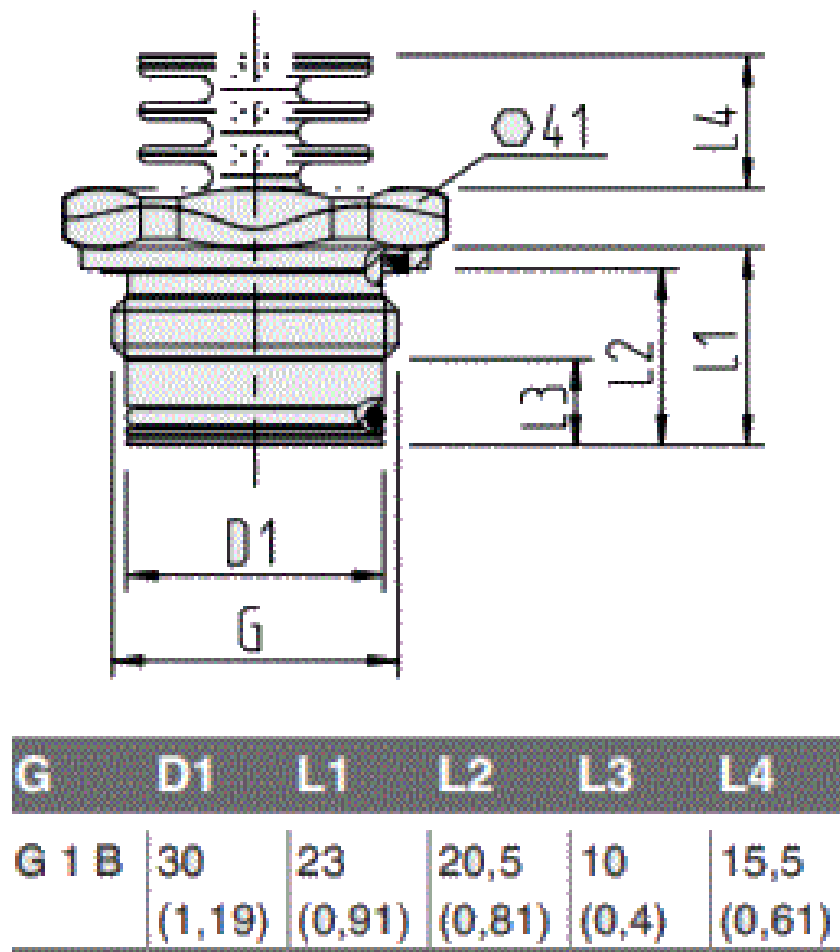


Рисунок 5.3 – Розміри сенсора тиску WİKA S-11

Сенсор тиску WİKA S-11 має такі характеристики:

- діапазон вимірювання: 0-0,1 бар;
- ступінь захисту: IP68;
- похибка: $\pm 0,5\%$;
- напруга живлення: 10В;
- вихідний сигнал 4-20 мА.

5.2 Вибір сенсорів температури

Температурні сенсори в колонах випарної установки є одним із найважливіших засобів контролю технологічного процесу випаровування та концентрації концентрату. Оскільки випаровування у такому обладнанні відбувається за зниженим тиском, температура кипіння рідини прямо залежить від тиску в кожній камері. Відповідно, точний температурний контроль є

обов'язковою умовою для забезпечення стабільної, безпечної та енергоефективної роботи всієї установки.

Сенсори температури встановлюються у кожній колоні (ступені випарника) й забезпечують безперервний моніторинг температурного режиму середовища. Отримані дані надходять на схему керування, яка на їх основі здійснює регулювання подачі пари та соку. Завдяки цьому забезпечується дотримання оптимальної температури кипіння, характерної для кожної конкретної камери, відповідно до її тиску.

Контроль температури особливо важливий для уникнення перегріву продукту, що може призвести до його карамелізації, зміни кольору, втрати аромату або зниження харчової цінності. Навпаки, надто низька температура може викликати нестабільне випаровування, зменшення концентрації або порушення теплового балансу між камерами. Точна інформація з температурних сенсорів дозволяє вчасно компенсувати такі відхилення за допомогою засобів автоматичного регулювання.

Окрім регулюючої функції, температурні сенсори відіграють важливу роль у технічній безпеці установки. За критичного перегріву або зниження температури до небезпечних рівнів система формує аварійне повідомлення або вмикає захисні механізми, що запобігає аваріям та виходу обладнання з ладу.

Загалом, сенсори температури в колонах випарної установки забезпечують:

- підтримку оптимальних умов випаровування;
- збереження якості кінцевого продукту;
- енергоефективне використання пари;
- стабільну роботу міжкамерного теплового балансу;
- функції аварійного захисту та сигналізації.

Отже, температурні сенсори є критично важливими елементами системи автоматизації, що гарантують точність, безперервність та безпечність випарного процесу на всіх його етапах.

Необхідний нам температурний діапазон, як вже було сказано вище, становить 40-75°C. На основі такого діапазону вимірювання та умов експлуатації для колон V1-V4 було обрано сенсор температури Comet P6181, зовнішній вигляд та характеристики якого наведені нижче на рис. 5.4 і табл. 5.2.



Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд сенсора температури Comet P6181

Таблиця 5.2 – Характеристики Comet P6181

Діапазон вимірювання	-100 - +200 °C
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	-30 - +85°C
Похибка	±0.1°C

Такий сенсор також підходить і в резервуар для збереження і підігріву соку, та в СТ – резервуар для охолодження води, на виході з якого температура води повинна бути 27°C.

В АКВ1-АКВ4 сенсор температури відрізнятиметься адже вимірювати потрібно температуру газоподібних речовин а не рідин.

Сенсори температури, встановлені в АКВ1–АКВ4, відіграють ключову роль у стабільній та енергоефективній роботі вакуумної випарної установки. Їх основне призначення — забезпечення оптимального температурного режиму роботи мультиструменевого конденсатора (МК), який відповідає за створення й підтримання вакууму в останньому корпусі випарника.

Залежно від температури конденсата або пари, яка надходить до МК, сенсори формують сигнал для регулювання витрати охолоджувальної води через клапани КР2-КР5. Завдяки цьому забезпечується ефективна конденсація вторинної пари, підтримується необхідний тиск (розрідження) у V4, а також запобігається як надлишковому використанню води, так і перегріванню чи нестабільній роботі конденсатора. Автоматичне регулювання на основі температурних сенсорів також сприяє зниженню енергетичних витрат і підвищенню загальної надійності процесу концентрування соку.

Пар що надходить в АКВ1–АКВ4 приблизно має температуру 45- 48 °С, на основі цього було обрано сенсор JUMO Etemp В, зовнішній вигляд та характеристики якого можна побачити нижче на рис. 5.5 та табл. 5.3.



Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд сенсора температури JUMO Etemp B

Таблиця 5.3 – Характеристики JUMO Etemp B

Діапазон вимірювання	-50 - +400 °C
Ступінь захисту	IP66
Напруга живлення	10 В
Вихідний сигнал	4-20 мА

5.3 Вибір сенсорів рівня

У складі багатокамерної випарної установки для виробництва концентрованого яблучного соку сенсори рівня виконують критично важливу функцію контролю заповнення випарних колон. Вони забезпечують надійну сигналізацію при досягненні визначених рівнів продукту в ємностях, що дозволяє підтримувати стабільний технологічний режим випаровування,

уникати переливів, роботи обладнання "всуху" та збоїв у подальших етапах переробки.

Рівень соку у випарних колоннах прямо впливає на ефективність теплопередачі, швидкість випаровування та якість кінцевого продукту. Використання рівневих сенсорів забезпечує можливість автоматизованого регулювання подачі соку та управління розрядкою, що підвищує точність процесу, знижує втрати сировини й енерговитрати.

Окрім цього, сенсори рівня дають змогу реалізувати захисні функції обладнання, зокрема аварійну зупинку у випадках критичного перевищення чи падіння рівня. Надійна робота таких датчиків — ключова умова безпечної та ефективної експлуатації випарної установки в умовах харчового виробництва.

Робота таких сенсорів складається в відстеженні навантаженості резервуарів беручи до уваги умови експлуатації для колон V1-V4 та резервуарів Tank та СТ та МК обрано сенсор Endress+Hauser Liquicap FMI21, зовнішній вигляд та технічні характеристики якого наведені нижче в табл.5.4 та на рис.5.6.

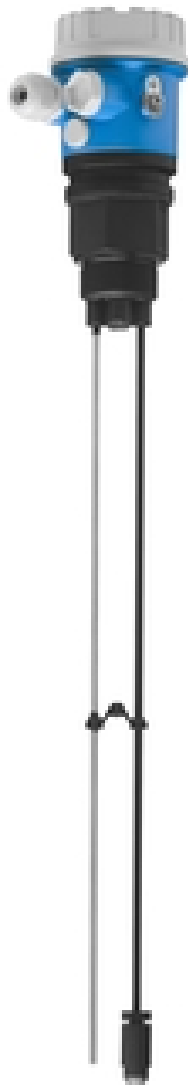


Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд сенсора рівня Liquicap FMI21

Таблиця 5.3 – Характеристики Liquicap FMI21

Робоча температура	-40 - +100 °C
Робочий тиск	10 бар
Напруга живлення	10 В
Вихідний сигнал	4-20 мА
Похибка	<1%

5.4 Вибір частотного перетворювача

В цьому підрозділі буде обрано перетворювач частоти до запропонованого двигуна. Частотний перетворювач SINAMICS G120 потужністю 5.5 кВт (артикул 6SL3244-0BB15-5FA1) відіграє критичну роль у системі автоматизації багатокамерної випарної станції для концентрування

яблучного соку. Його основним завданням є точне регулювання роботи приводного двигуна насоса, який подає охолоджувальну воду на мультиструминний конденсатор (МК). Цей конденсатор безпосередньо відповідає за створення та підтримання необхідного рівня вакууму у всіх колонах установки (V1-V4), що є вирішальним технологічним параметром процесу упарювання. Стабільність вакууму в діапазоні 0.1-0.5 бар безпосередньо впливає на температурний режим, ефективність випаровування води та якість кінцевого продукту. Будь-які відхилення тиску призводять до порушення технологічного процесу: зниження концентрації сухих речовин, втрати ароматичних сполук, карамелізації цукрів та збільшення енерговитрат.

Перетворювач частоти забезпечує динамічне регулювання продуктивності насоса шляхом зміни швидкості обертання двигуна на основі сигналів від сенсорів тиску (WIKA S-11) та рівня води (Endress+Hauser Liquicap FMI21). Коли система фіксує падіння вакууму нижче заданих значень, ПЧ миттєво збільшує частоту живлення двигуна, що призводить до посилення подачі охолоджувальної води в конденсатор. Це посилює процес конденсації пари та відновлює необхідне розрідження. Навпаки, при надлишковому вакуумі перетворювач знижує продуктивність насоса, запобігаючи перевитраті енергоресурсів. Така прецизійна адаптивна регульовальна функція дозволяє підтримувати оптимальні параметри процесу без втручання оператора.

Важливим аспектом є енергоефективність системи. У традиційних схемах без ПЧ насос працює на постійній максимальній потужності незалежно від реального навантаження, що призводить до перевитрати електроенергії на 30-50%. Частотне регулювання дозволяє точно адаптувати продуктивність насоса до поточних технологічних потреб, знижуючи енергоспоживання у періоди зменшеного навантаження. Додаткову ефективність забезпечує функція плавного пуску та зупинки двигуна, яка усуває гідравлічні удари у трубопроводах, зменшує механічні навантаження на підшипники та продовжує термін служби обладнання.

Технічні характеристики SINAMICS G120 (номінальний струм 12 А, максимальний струм 17 А, клас захисту IP55) спеціально оптимізовані для роботи в умовах випарних цехів з підвищеною вологістю та температурою. Вбудовані захисти від перевантаження, перегріву та "сухого ходу" запобігають аварійним ситуаціям. Підтримка промислових протоколів зв'язку (PROFINET, Modbus) забезпечує безпроблемну інтеграцію з верхнім рівнем автоматизації, дозволяючи ПЛК керувати роботою перетворювача на основі даних від усіх сенсорів системи.

Таким чином, SINAMICS G120 є ключовим компонентом, який не лише гарантує стабільність технологічного процесу концентрування соку, але й забезпечує значну енергоощадність, знижує експлуатаційні витрати та підвищує надійність всієї випарної установки. Його впровадження є обов'язковим для сучасних автоматизованих систем харчових виробництв.

Основні умови для вибору виглядають наступним чином:

$$\begin{cases} P_{пч} \geq P_{д.сп} \\ I_{пч} \geq I_{д.н} \end{cases} \quad (5.1)$$

де $P_{д.сп}$ – споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі;

$I_{д.н}$ – номінальний струм приводного двигуна.

Споживана електродвигуном потужність в номінальному усталеному режимі:

$$P_{д.сп} = \frac{k \cdot P_{д.н}}{\eta_n}, \quad (5.2)$$

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

$$P_{д.сп} = \frac{0,99 \cdot 2,2}{0,82} = 2,656 .$$

Необхідна робоча потужність перетворювача частоти:

$$P_{\text{пч}} \geq \frac{P_{\text{д.пуск}}}{\lambda_{\text{пч}}}, \quad (5.3)$$

де $P_{\text{д.пуск}}$ – пускова потужність приводного двигуна;

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

Пускова потужність двигуна:

$$P_{\text{д.пуск}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{пуск}} \cdot \cos\varphi_{\text{пуску}}, \quad (5.4)$$

де $I_{\text{пуск}}$ - пусковий струм двигуна,

а $\cos\varphi_{\text{пуску}}$ – це пусковий коефіцієнт потужності ($\cos\varphi_{\text{пуску}} \approx 0,3$)

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{н}} \cdot k_{\text{кр}}, \quad (5.5)$$

де $k_{\text{кр}}$ - співвідношення пускового струму та номінального струму (розділ 3),

$$I_{\text{пуск}} = 5,2 \cdot 6 = 31,2 \text{ (A)}.$$

$$P_{\text{д.пуск}} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 31,2 \cdot 0,3 = 6,48 \text{ (кВт)}.$$

Тоді відповідно до виразу (5.3):

$$P_{\text{пч}} \geq \frac{6,48}{1,5} = 4,32 \text{ (кВт)}.$$

Струм який споживає електродвигун при лінійному розгоні не повинен перевищувати пусковий струм перетворювача частоти:

$$I_{\text{пч пуск}} = \frac{1,5 \cdot M_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{\text{н}}}, \quad (5.6)$$

де - $M_{\text{н}}$ - номінальний момент двигуна, який вже був розрахований вище;

а $\omega_{\text{н}}$ – номінальна кутова швидкість, яка теж розрахована вив розділі 3 .

$$I_{\text{пч пуск}} = \frac{1,5 \cdot 14,49 \cdot 151,844}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,81 \cdot 0,82} = 7,17 \text{ (A)}.$$

За розрахованими вище характеристиками ми обираємо ПЧ Siemens SINAMICS G120 Power Module PM240-2, зовнішній вигляд, характеристики та блок схему якого можна побачити на рис. 5.6-5.7 та на табл. 5.3.



Рисунок 5.6 – ПЧ Siemens SINAMICS G120

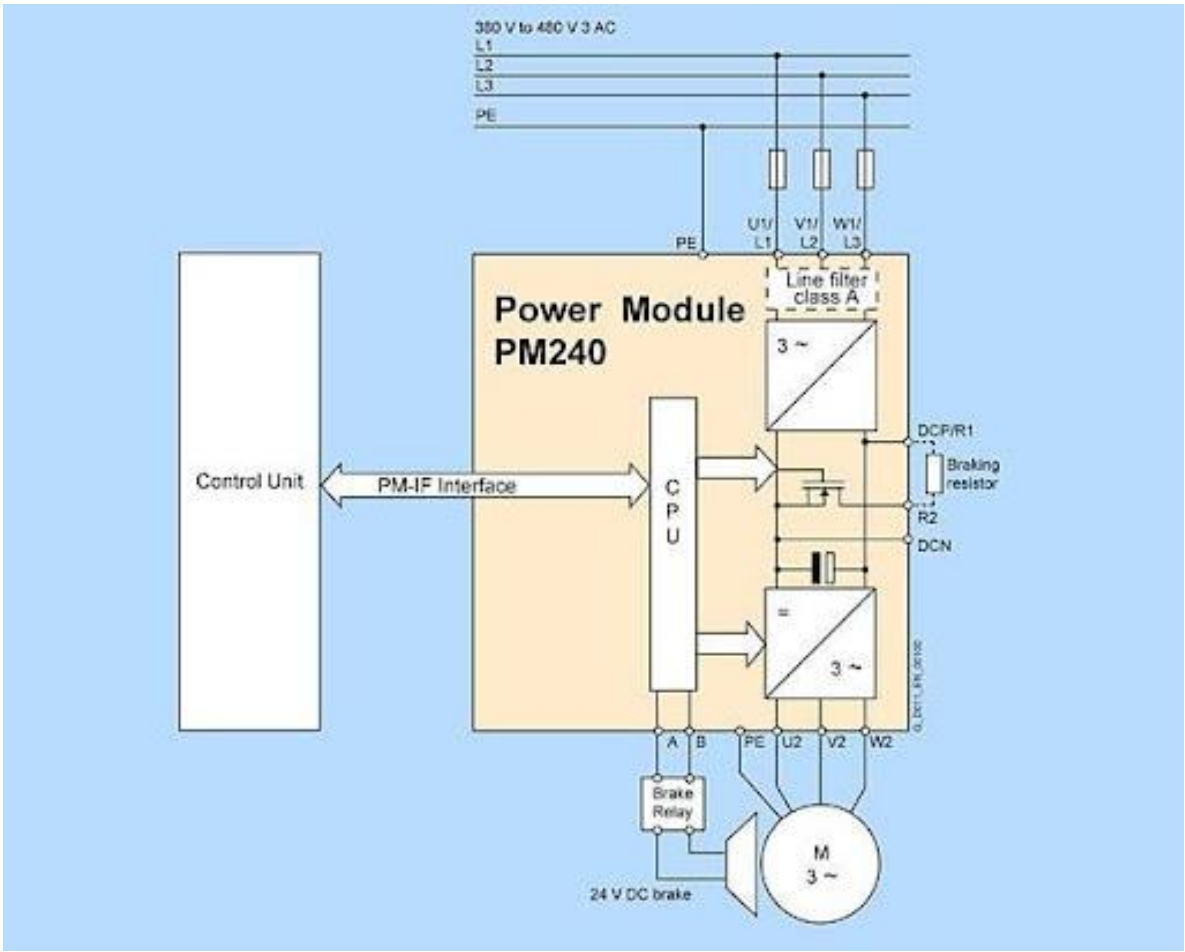


Рисунок 5.7 – Блок схема ПЧ Siemens SINAMICS G120

Таблиця 5.4 технічні характеристики ПЧ

Параметри перетворювача частоти	Значення
Виробник/Серія	Siemens SINAMICS G120
Тип	Power Module PM240-2
Потужність двигуна $P_{пч.н}$ кВт	5,5
Номінальна напруга живлення U_n В	400
Номінальна сила струму $I_{пч.н}$ А	12
Максимальний струм $I_{пч.max}$ А	17
Клас захисту IP	55
Вхідна частота $f_{вхід}$ Гц	47-63
Вихідна частота $f_{вих}$ Гц	0-650

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Насоси потребують постійного регулювання швидкості для забезпечення оптимального режиму роботи, зокрема при зміні навантаження або технологічних вимог. Типовий діапазон регулювання складає $D=(3:1)$ рідше ширший, що дозволяє ефективно керувати продуктивністю.

Для забезпечення плавного та енергоефективного регулювання рекомендуються такі системи електричного привода: ПЧ-АД (перетворювач частоти з асинхронним двигуном), ТП-ДПС (тиристорний перетворювач з двигуном постійного струму) або РКС-ДПС.

РКС-ДПС використовує двигун постійного струму (ДПС), швидкість якого регулюється за допомогою релейно-контакторної апаратури (пускатів, реостатів, групового перемикачання обмоток). Регулювання швидкості ступінчате (дискретне), зазвичай через зміну опору в колі якоря або збудження. Його перевагами є простота конструкції та обслуговування, недоліками є високі втрати енергії в реостатах, низька точність регулювання, вимагає частого техобслуговування через зношування контактів. Зазвичай використовується в застарілих системах або там, де не потрібне плавне регулювання (наприклад, простих насосах з фіксованою витратою).

ТП-ДПС використовує тиристорний перетворювач для керування напругою живлення двигуна постійного струму. Регулювання швидкості плавне, за рахунок зміни вихідної напруги перетворювача та висока точність. Його перевагами є краща динаміка роботи, а недоліками висока вартість тиристорного обладнання, потрібне додаткове охолодження, вимагає складного керування. Використовується в прецизійних насосних системах, де потрібне точне дозування рідини.

ПЧ-АД використовує асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором, швидкість якого регулюється за допомогою зміни частоти та напруги живлення від перетворювача частоти (ПЧ). Регулювання швидкості плавне, безступінчате, має високу енергоефективність. Його перевагами є вища

надійність, низькі експлуатаційні витрати, можливість інтеграції в сучасні АСУ ТП. Недоліками ж є вища вартість ПЧ, чутливість до перевантажень та перегріву. Найпоширеніша система для сучасних електроприводів, зокрема у насосах, які подають охолоджувальну воду на мультитрубчасті конденсатори, що використовуються для створення вакууму в колоні багатокамерної випарної станції.

При порівнянні можливих варіантів вирішення будь-якого завдання кращим, за інших рівних умов так як у всіх є свої переваги та недоліки, вважається варіант, який передбачає мінімум приведених витрат:

$$Z = E_n \cdot K + C, \quad (6.1)$$

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

K – капітальні вкладення, грн;

$A \ C$ – загальні щорічні відрахування, які враховуються у собівартості продукції, грн/рік.

Здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні вкладення:

$$K = D + CK, \quad (6.2)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 32000$ грн);

а CK – вартість системи керування ($CK = 45000$ грн),

$$K = 32000 + 45000 = 77000 \text{ (грн)} .$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (6.3)$$

$$K_{\text{річні}} = 0.17 \cdot 77000 = 13090 \text{ (грн/рік)} .$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_a + C_p + C_d + C_o , \quad (6.4)$$

де C_a – амортизаційні відрахування, грн/рік;

C_p – відрахування на ремонт, грн/рік;

C_d – додаткові відрахування, грн/рік;

C_o – відрахування на обслуговування, грн/рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних вкладень:

$$C_a = 0.1 \cdot K , \quad (6.5)$$

$$C_a = 0.1 \cdot 77000 = 7700 \text{ (грн/рік)} .$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних вкладень:

$$C_p = 0.02 \cdot K , \quad (6.6)$$

$$C_p = 0.02 \cdot 77000 = 1540 \text{ (грн/год)} .$$

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

$$C_d = C_{d1} + C_{d2} , \quad (6.7)$$

де C_{d1} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік, грн/рік; 20

C_{d2} – додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік, грн/рік.

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в двигуні за рік

$$C_{d1} = \Delta W_{\Sigma \text{дв}} \cdot c , \quad (6.8)$$

де $\Delta W_{\Sigma \text{дв}}$ – сумарні втрати енергії 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) ($c = 3,44$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma \text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех}}) \cdot k_z \cdot \Phi, \quad (6.9)$$

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

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

k_z – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);

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

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (6.10)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 2,2$ кВт);

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,82$),

$$\Delta P_{\text{ном}} = 2,2 \cdot \frac{1 - 0,82}{0,82} = 0,482 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{\text{перех}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (6.11)$$

$$\Delta P_{\text{перех}} = 0,1 \cdot 0,482 = 0,0482 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (6.12)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення ($\varepsilon = 0,8$);

$Z_{p.d.}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{p.d.} = 90$ 1/рік);

$Z_{p.z.}$ – кількість робочих змін ($Z_{p.z.} = 2$);

$t_{p.z.}$ – тривалість робочої зміни ($t_{p.z.} = 8$ год),

$$\Phi = 0,8 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 8 = 1152 \text{ (год/рік)} .$$

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (6.9):

$$\Delta W_{\Sigma_{дв}} = (0,482 + 0,0482) \cdot 0,8 \cdot 1152 = 488,632 \text{ ((кВт} \cdot \text{год)/рік)} .$$

Додаткові відрахування згідно формули (6.8):

$$C_{д1} = 488,632 \cdot 3,44 = 1680,89 \text{ (грн/рік)} .$$

Додаткові відрахування, які враховують втрати енергії в системі керування за рік:

$$C_{д2} = \Delta W_{\Sigma_{ск}} \cdot c , \quad (6.13)$$

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

Втрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\Sigma_{ск}} = \Delta P_{ск} \cdot k_z \cdot \Phi , \quad (6.14)$$

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

Втрати потужності в системі керування:

$$\Delta P_{ск} = P_{сп} \cdot \frac{1 - \eta_{пп}}{\eta_{пп}} , \quad (6.15)$$

де $P_{пп}$ – номінальна потужність перетворюючого пристрою ($P_{пп} = 5,5$ кВт);

$\eta_{пп}$ – номінальний ККД перетворюючого пристрою ($\eta_{пп} = 0,96$),

$$\Delta P_{\text{ск}} = 5,5 \cdot \frac{1-0,96}{0,96} = 0,229 \text{ (кВт)} .$$

Втрати потужності в системі керування згідно формули (6.14):

$$\Delta W_{\Sigma \text{ск}} = 0,229 \cdot 0,8 \cdot 1152 = 211,04 \text{ ((кВт} \cdot \text{год)/рік)} .$$

Додаткові відрахування згідно формули (6.13):

$$C_{\text{д2}} = 211,04 \cdot 3,44 = 725,977 \text{ (грн/рік)} .$$

Додаткові відрахування згідно формули (6.7):

$$C_{\text{д}} = 1680,89 + 725,977 = 2406,867 \text{ (грн/рік)} .$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових витрат

$$C_o = 0,05 \cdot (C_a + C_p + C_d), \quad (6.16)$$

$$C_o = 0,05 \cdot (7700 + 1540 + 2406,867) = 582,34 \text{ (грн/рік)} .$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (6.4):

$$C = 7700 + 1540 + 2406,967 + 582,34 = 12229,207 \text{ (грн/рік)} .$$

Приведені витрати згідно формули (6.1):

$$З = 0,17 \cdot 77000 + 12229,207 = 25319,207 \text{ (грн/рік)} .$$

Для інших систем електричного привода проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода			
	ПЧ-АД	ТП-Д	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР
Вартість двигуна Д, грн	32000	30000	31000	33000
Вартість системи керування СК, грн	45000	29800	33000	35000
Капітальні вкладення К, грн	77000	59800	64000	68000
Річні капітальні витрати Крічн, грн/рік	13090	10166	10880	11560
Амортизаційні відрахування СА, грн/рік	7700	5980	6400	6800
Відрахування на ремонт СР, грн/рік	1540	1196	1280	1360
Додаткові відрахування СД, грн/рік	2406,867	5000	2750	6500
Відрахування на обслуговування СО, грн/рік	592,34	1000	975,76	1500
Загальні відрахування грн/рік С	12229,207	13176	11405,76	16160
Приведені витрати З, грн/рік	25319,207	23339	22285,76	27720

Як видно з таблиці ПЧ-АД має середню цінову категорію, проте технічно краще підходить для нашого технологічного процесу що дозволяє забезпечити надійне та стабільне протікання технологічних процесів з невеликими переплатами.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розглядаються заходи з охорони праці під час монтажу та експлуатації системи автоматизації процесу уварювання яблучного соку. При виконанні робіт персонал, що займається встановленням та експлуатацією системи автоматизації уварювання яблучного соку, може підпадати під вплив таких шкідливих виробничих факторів як:

- фізичні фактори – мікроклімат, виробничий шум, вібрації та освітлення;
- хімічні фактори — хімічні речовини (йдеться про ароматичні сполуки, органічні кислоти та цукри)
- фактор трудового процесу – важкість, або й ще тяжкість праці, напруженість праці .

Тяжкість праці визначається фізичним навантаженням на організм, яке включає енерговитрати, динамічну та статичну навантажку, масу підніманого або переміщуваного вантажу, кількість повторюваних рухів, робочу позу та переміщення у просторі. Напруженість праці пов'язана з психоемоційними факторами, такими як інтелектуальне та сенсорне навантаження, емоційний тиск, монотонність роботи та особливості робочого режиму. Обидва ці фактори суттєво впливають на працездатність і стан здоров'я працівника.

Підсумовуючи вищесказане, можна дійти висновку, що під час монтажу та експлуатації системи автоматизації процесу уварювання яблучного соку на персонал діє широкий спектр шкідливих виробничих факторів, які впливатимуть на умови праці та здоров'я працівників. Для забезпечення безпечних умов роботи необхідно вжити певні заходи, спрямовані на мінімізацію дії фізичних, хімічних і психофізіологічних факторів, а також організувати робочий процес з урахуванням оптимального режиму роботи та відпочинку. Це дозволить підвищити безпеку, зменшити ризики отримання виробничих травм а також забезпечити ефективну роботу системи автоматизації.

7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації

Технічні рішення з безпечної організації робочого процесу

Підтримка електроустановок у справному стані забезпечується регулярним наглядом за їх роботою та безперебійністю електропостачання, також важливим є проведення планових та позапланових електричних вимірювань, оперативна ліквідація аварії й ведення технічної документації.

Під час роботи з електрообладнанням необхідно ретельно стежити за відсутністю напруги на корпусах пристроїв. У разі її виявлення обладнання має бути негайно відключене. Особливу увагу слід приділяти стану електродвигунів: при появи диму, незвичайного шуму, перегріву або інших несправностей їх потрібно вимкнути. Усі монтажні та ремонтні роботи проводяться виключно після повного зняття напруги.

Регулярне очищення освітлювальної арматури від бруду та видалення пилу з електрообладнання виконуються згідно з встановленими графіками, які залежать від умов експлуатації. Роботи без зняття напруги дозволяються лише у виняткових випадках у електроустановках до 1000 В і виконуються двома електриками з обов'язковим використанням діелектричних засобів захисту, таких як калоші, рукавиці та ізольований інструмент. Використання металевих інструментів (ножівок, напилків тощо) під час таких робіт суворо заборонено.

Заміна запобіжників проводиться лише після зняття напруги. Якщо повне відключення неможливе, роботи виконуються зі зняттям навантаження, обов'язково у захисних окулярах та діелектричних рукавицях. Для таких робіт електрик повинен мати кваліфікаційну групу не нижче III, а при роботах на висоті — не нижче IV.

Дотримання правил безпеки також включає заборону робіт у несприятливих погодних умовах, таких як ожеледиця, гроза або вітер понад 15 м/с. На робочому місці заборонено куріння та вживання їжі. Використовувати можна лише справний інструмент, термін випробування якого не минув. Ці вимоги спрямовані на запобігання аваріям та забезпечення безпеки працівників.

Роботи на висоті дозволяється розпочинати тільки після повного завершення всіх підготовчих заходів. До них входить перевірка стану обладнання, закріплення захисних засобів, огляд риштувань та огорожень. Особлива увага приділяється демонтажу, який потребує присутності навченого персоналу та чіткого дотримання порядку розбирання конструкцій. Робоче місце має бути підготовлене з урахуванням усіх ризиків, адже перевищення допустимого навантаження на риштування або накопичення матеріалів в одному місці може стати причиною аварії.

Важливим є також правильне поводження з вантажами, де підйом та опускання повинні здійснюватися на мінімальній швидкості без поштовхів, а дрібні деталі — виключно в спеціальній тарі. Забороняється підйом робітників по стояках риштувань або скидати матеріали згори. Щодо використання інструментів, працівники повинні уникати натягування та перегинання кабелів, контакту з ріжучими частинами, а також самостійного ремонту обладнання, що може призвести до небезпечних ситуацій. Погодні умови — ще один важливий аспект безпеки: роботи повинні припинятись при сильному вітрі, опадах чи ожеледиці, адже ризики падіння або втрати контролю над матеріалами в таких умовах значно зростають.

Не менш важливою є частина, що стосується завершення робіт. Після закінчення робочого дня працівник має звільнити риштування від матеріалів, інструментів, тари, сміття, щоб забезпечити безпеку майданчика для наступного використання. Робоче місце і прилеглу територію необхідно повністю прибрати, перекрити входи та підйоми, встановити заборонні знаки та інформувати керівника про будь-які проблеми чи дефекти, які виникли під час виконання завдань. Інструменти після роботи слід зібрати в інвентарні ящики або розмістити в спеціально відведених місцях, щоб запобігти їх втраті чи пошкодженню.

Засоби індивідуального захисту після використання підлягають огляду, очищенню та розміщенню у спеціально визначених зонах для зберігання, причому чистий та робочий одяг не повинні зберігатись разом. Після

завершення робіт необхідно дотримуватись правил особистої гігієни — вимити руки, обличчя, прийняти душ, бути особливо обережним на мокрій підлозі душових та роздягалень. Під час руху важливо впевнитись у стійкості ноги перед тим, як перенести на неї вагу тіла, щоб уникнути падіння. Покидати приміщення підприємства слід у встановлений адміністрацією час, що дозволяє зберегти порядок і контроль.

7.2 Електробезпека

При автоматизації процесу концентрування яблучного соку головним способом захисту від ураження електричним струмом є заземлення згідно з ГОСТ 12.1.030. Для гарантії безпеки застосовуються ізолювальні пристрої, огороження струмопровідних частин та використання низьких напруг. Особлива увага приділяється стану ізоляції, оскільки її знос може призвести до пробою та виникнення небезпеки.

Персонал, що працює з електроустановками, зобов'язаний застосовувати засоби індивідуального захисту (діелектричні рукавички, спецвзуття), які періодично перевіряються на відповідність нормам. Установки напругою до 1 кВ обладнуються суцільними огороженнями з дотриманням безпечної відстані до струмопровідних частин (не менше 5 см). Висота розташування неогороджених елементів повинна бути не нижче 3,5 м у робочих зонах.

Забороняється використовувати електромережу будівлі, що демонтується, для тимчасового освітлення – слід застосовувати окрему тимчасову мережу з відповідними світильниками. Додаткові заходи включають застосування ПЗВ, регулярний контроль стану кабелів, заземлення (опір до 4 Ом) та захист обладнання від вологи (клас IP44). Усі роботи виконуються після повного зняття напруги з вивішуванням плакатів "Не вмикати! Працюють люди"

7.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Параметри мікроклімату виробничих приміщень регламентуються в основному документом ДСН 3.3.6.042-99. Основними чинниками що характеризують мікроклімат приміщення є:

- температура повітря;

- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;

До основних робіт що виконуються входять оперативно-ремонтні роботи та роботи з обслуговування електрообладнання. Данні роботи відносяться до категорії Пб по важкості праці . За цією категорією енерговитрати становлять – до 233-290 Вт.

Приведені нижче допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень взяті за умови що важкість роботи відноситься до категорії Пб.

В холодний період року допустимі :

- Температура – від 15 до 21 °С;
- Відносна вологість – 75 % ;
- Швидкість руху повітря – 0,2 ;

В теплий п період року допустимі :

- Температура – від 18 до 27 °С;
- Відносна вологість – 65% (при 26 °С) ;
- Швидкість руху повітря – 0,3 ;

Склад повітря робочої зони:

В робочій зоні забрудненість повітря регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³. У повітрі випарного відділу можуть бути присутні пари соку, органічні леткі сполуки та аерозолі, що утворюються під час випарювання. Їх ГДК наведено нижче:

- Водяна пара – середня добова – 7 мг/м³, максимальна разова - 10 мг/м³;
- Цукри – середня добова – 5 мг/м³, максимальна разова - 10 мг/м³;
- Органічні кислоти – середня добова – 0,5-2 мг/м³, максимальна разова - 5 мг/м³;
- Ароматичні сполуки – середня добова – 0,1-0,5 мг/м³, максимальна разова - 1 мг/м³;

Умови праці у випарному відділі характеризуються наявністю у повітрі певних речовин, що виділяються під час технологічного процесу. При

дотриманні встановлених норм їх концентрація зазвичай не перевищує допустимих меж.

Повітря містить незначні кількості природних компонентів соку - переважно цукри та органічні кислоти у вигляді дрібних частинок. За належної організації вентиляції та своєчасного технічного обслуговування обладнання, їх вміст у повітрі робочої зони залишається в межах встановлених санітарних нормативів.

Сучасні системи вентиляції в яких місцеві відсоси з кратністю повітрообміну ≥ 10 об./год , ефективно відводять надлишкову теплоту та вологу, підтримуючи мікроклімат на рівні, що забезпечує комфортні умови праці. Персонал має доступ до засобів індивідуального захисту, які використовуються переважно як додатковий захід безпеки.

Виробниче освітлення:

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Отже нижче наводиться характеристика зорових робіт середньої точності.

- Найменший розмір об'єктів розрізнення – 0,5-1,0 мм;
- Контраст об'єкта на фоні – середній, великий на світлому середньому фонах.
- Загальне (комбіноване) освітлення – 400 лк;
- Норма при штучному освітленні – 200 лк;
- Мінімальна природня освітленість (від вікон) – 2,4 лк;
- Мінімальна сумісна освітленість – 4 лк.

Для створення ефективної системи освітлення у випарному відділі необхідно застосувати комплексний підхід, що поєднує сучасні технології та грамотну організацію простору. Перш за все, важливо модернізувати штучне освітлення, встановивши енергоефективні LED-світильники з антибліковими розсіювачами, які забезпечать рівномірну освітленість 300–500 лк на робочих поверхнях. Особливу увагу слід приділити підсвічуванню критичних зон, таких як панелі управління та місця відбору проб.

Водночас варто максимально використовувати природне світло — збільшити світлові прорізи, регулярно чистити вікна та застосовувати світловідбивні

поверхні. Це допоможе не лише покращити освітлення, але й скоротити енерговитрати.

Необхідно також регулярно перевіряти стан світильників, контролювати коефіцієнт пульсації (не більше 15%) та своєчасно замінювати несправні елементи, щоб підтримувати ефективність освітлювальної системи.

Виробничий шум:

Шум негативно впливає на організм людини, зокрема порушує роботу шлунка та особливо сильно діє на центральну нервову систему. Щоб забезпечити допустимий рівень шуму в приміщенні, у проекті передбачено застосування засобів колективного захисту, серед яких — акустичні, архітектурно-планувальні та організаційно-технічні рішення.

Основним документом щорегулює допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях є ДСН 3.3.6.037 данні з відти наведені в таблиці 7.1

Таблиця 7.1 – Норми звукового тиску

Види трудової діяльності	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах зсередньогеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для ефективного зниження шумового навантаження в приміщенні важливо використовувати звукопоглинаючі матеріали на стелі та стінах. Крім того, для мінімізації шуму від вентиляції доцільно застосовувати вентилятори з низьким рівнем шуму. Ці заходи допоможуть створити комфортні умови роботи та зменшити шкідливий вплив шуму на працівників.

Виробничі вібрації:

У випарному відділі рівні шуму та вібрації регламентуються чинними нормативами для промислових приміщень. Допустимі рівні звукового тиску коливаються від 69 дБ на високих частотах (8000 Гц) до 107 дБ на низьких (32 Гц), при цьому основне обладнання (насоси, випарні апарати, вентиляційні

системи) генерує шум у діапазоні 65-85 дБ. Що стосується вібрації, нормативні значення становлять від $0,2 \times 10^{-2}$ м/с² на частотах 16-63 Гц до $1,3 \times 10^{-2}$ м/с² на 2 Гц, що відповідає 92-108 дБ.

Фактичні виміри показують, що рівні шуму від насосного обладнання (75-85 дБ) та вібрації від трубопроводів ($0,5-1,5$ м/с²) знаходяться у межах норми, але потребують постійного контролю. Для зниження шкідливого впливу застосовуються комплексні заходи: шумопоглинаючі кожухи та акустичні екрани для боротьби з шумом, віброізолюючі амортизатори та динамічне гасіння коливань для зменшення вібрації. Персонал забезпечується індивідуальними засобами захисту - протишумними навушниками з коефіцієнтом зниження шуму 25-30 дБ, віброзахистними рукавицями та спеціальними килимками.

Регулярний моніторинг включає щоквартальні вимірювання шуму за допомогою прецизійних шумомірів класу 1, контроль вібрації спеціальними віброметрами, а також планові медичні огляди працівників для виявлення ранніх ознак професійних захворювань. Незважаючи на те, що поточні показники відповідають нормам, особливу увагу приділяють зонам з підвищеними рівнями шуму на низьких частотах та вібрації в діапазоні 8-31,5 Гц, де спостерігається наближення до гранично допустимих значень. Оптимізація режимів роботи обладнання, своєчасне технічне обслуговування та використання сучасних засобів захисту дозволяють підтримувати безпечні умови праці у випарному відділі.

7.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека на виробничих та інших об'єктах регулюється чинними Правилами пожежної безпеки України. Класифікація пожежо- та вибухонебезпечних властивостей матеріалів і речовин проводиться згідно з вимогами ДСТУ 8829:2019, який встановлює методику визначення категорій приміщень за рівнем пожежної та вибухонебезпечності.

Виробничі приміщення з виробництва яблучного концентрату належать до категорії В за вибухопожежною небезпекою, оскільки технологічний процес

передбачає роботу з горючими рідкими матеріалами (яблучний сік, концентрат) при підвищених температурах. Будівля виробництва має II ступінь вогнестійкості, що передбачає використання несучих та огорожувальних конструкцій з цегли, бетону або залізобетону з обов'язковим вогнезахисним покриттям металевих елементів. Особливу увагу приділяють протипожежному захисту обладнання для випарювання та пастеризації, де температура може досягати 80-90°C. Технологічні лінії обладнуються автоматизованими системами пожежогасіння, особливо в зонах з підвищеною температурою. Всі електричні комунікації виконуються у вогнестійкій ізоляції, з додатковим захистом від вологи. Для дерев'яних допоміжних конструкцій (якщо такі є) застосовують імпрегновані вогнезахисними складами матеріали. Вентиляційні системи обладнуються протипожежними клапанами, а процесне обладнання - температурними датчиками та системами аварійного відключення. Особливістю такого виробництва є необхідність постійного контролю за станом трубопроводів, теплообмінників та резервуарів для зберігання, де можливі витoki горючого продукту. Всі робочі зони обладнуються первинними засобами пожежогасіння - вогнегасниками типу ABC для рідких речовин і пінними системами для потенційних зон розливу. Персонал проходить обов'язковий інструктаж з дій при надзвичайних ситуаціях, зокрема при загорянні електрообладнання або розливі гарячого концентрату.

Межі мінімальної вогнестійкості будівельних конструкцій, та максимальні межі поширення вогню по них, що регламентуються ДБН В.1.1.7-2016 наведено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – межі мінімальної вогнестійкості будівельних конструкцій, та максимальні межі поширення вогню по них.

Ступінь вогнестійкості будівель	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі поширення вогню по них								
	стіни				Колони	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	Перекрыття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	Самонесучі	зовнішні не-несучі	Внутрішні не-несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди та їх мінімальні межі вогнестійкості регламентовані ДБН В.1.1.7-20016 наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості.

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекрыття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 7.4 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 3.3. Протипожежні відстані від житлових,

громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських споруд слід приймати за таблицею 3.3 (знаменник).

Таблиця 7.4 – протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами.

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IV a, V
II	6/9	8/9	10/12

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було розроблено електромеханічну систему автоматизації процесу концентрації яблучного соку, спрямовану на підвищення ефективності та енергоощадності виробництва. Основна увага приділялася автоматизації випарної станції, яка є ключовою ланкою технологічного процесу. Розроблена система дозволяє стабілізувати процес уварювання, зменшити витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту за рахунок точного регулювання параметрів температури, тиску та рівня рідини.

У роботі було обґрунтовано вибір електричних виконавчих механізмів, зокрема приводного двигуна насоса подачі охолоджувальної води, а також сенсорних елементів для контролю тиску, температури та рівня. Проведено розрахунки потужності двигуна, критичного моменту, ковзання та інших параметрів, що дозволило вибрати оптимальне обладнання. Моделювання в програмному пакеті Matlab-Simulink підтвердило ефективність обраного приводного двигуна та перетворювача частоти, який забезпечує плавне регулювання швидкості обертання.

Загалом, розроблена система автоматизації дозволяє значно підвищити ефективність процесу концентрації яблучного соку, знизити енерговитрати та забезпечити стабільну якість продукції. Впровадження запропонованих рішень сприятиме оптимізації виробництва та зменшенню впливу на навколишнє середовище, що є актуальним для сучасних харчових підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛАТЕРАТУРИ

1. Герасименко Г.І., Кухарчук І.І. – Процеси і апарати харчових виробництв: навч. посіб. — К.: Центр учбової літератури, 2012. — 432 с.
<https://library.nuft.edu.ua/>
2. Саченко В.І., Омеляненко І.В. – Автоматизація харчових виробництв: навч. посіб. — К.: Ліра-К, 2020. — 312 с. <https://lib.nau.edu.ua/>
3. Олійник О. В. – Електропривод: основи теорії та практики. Частина 1: Асинхронний привід. — К.: ІСДО, 2015. — 250 с.
4. Касьянов Г.І., Скобло Т.В. – Системи автоматичного керування: навч. посібник. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019.
<https://nauka.nuft.edu.ua>
5. Ткаченко С.Ю., Климчук В.П. – Проектування систем автоматизації: Підручник. — К.: Ліра-К, 2017. <http://lib.iitta.gov.ua/709704>
6. Симоненко О.М., Кравченко М.М. – Процеси і апарати переробки плодів і овочів. — Вінниця: ВНТУ, 2020. (для прив'язки до ВНТУ)
7. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів / Видмиш А. А., Бабій С. М., Петрусь В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 101 с.
8. 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.
9. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
10. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. :

Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

12. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

13. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

14. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

15. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. <https://dwg.ru/dnl/15125>.

Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри
КЕМСК
к.т.н., доц.
Микола МОШНОРІЗ
“ 04 ” 03
2025 р

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ на бакалаврську кваліфікаційну роботу

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ЯБЛУЧНОГО СОКУ

08-24.БКР.015.00.000 ТЗ

Керівник роботи
проф.

Гребко В. В.

“ 04 ” 03 2025 р

Виконавець: ст. гр. ЕМСА-216

Пугач Д. Є.

“ 04 ” 03 2025 р

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Електромеханічна система автоматизації процесу концентрування яблучного соку»

Скорочене найменування розробки – «Автоматизація випарної станції».

Замовник – кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Автоматизована система керування призначена для харчової промисловості, з метою концентрації яблучного соку .

4 Вимоги до розробки

Вибір оптимальної системи автоматизації залежить від типу сушарки, яка використовується на виробництві, показників якості, елементарної бази на сушарці.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу.

6 Технічні характеристики

Кількість двигунів – 1 шт.; продуктивність насоса – 25 м³/год.

7 Джерела розробки

Індивідуальне завдання на бакалаврську дипломну роботу.

8 Елементна база

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

9 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

11 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	
Графічна частина	
Охорона праці	

12 Технічне обслуговування і ремонт

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

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане трифазною напругою 400 В від силової мережі підприємства.

Додаток Б

(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

Електромеханічна система автоматизації процесу концентрування яблучного соку

ВСТУП

Актуальність роботи. Одним з основних завдань харчової промисловості є забезпечення безперебійного постачання населення якісними та безпечними продуктами харчування, а також впровадження передових технологій, які сприяють збільшенню продуктивності, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та раціональному використанню енергетичних і матеріальних ресурсів. Особливої уваги заслуговують процеси виробництва натуральних продуктів, зокрема соків прямого віджиму, які мають високу харчову цінність та користуються значним попитом серед споживачів.

Зростаючі вимоги до якості, енергоефективності та стабільності технологічних процесів обумовлюють потребу автоматизації таких ключових етапів виробництва, як уварювання яблучного соку. Саме цей процес визначає кінцеву консистенцію, смакові властивості, термін зберігання продукції, а також впливає на економічну ефективність виробництва в цілому.

Інтенсифікація процесу уварювання та застосування сучасних електромеханічних систем управління дозволяють не тільки знизити енерговитрати, а й значно зменшити участь людини в керуванні технологічним устаткуванням, підвищивши безпеку й надійність роботи всієї установки. Завдяки прогресу в галузі сенсорних технологій, участь людини в керуванні технологічним устаткуванням, підвищивши безпеку й надійність роботи всієї установки. Завдяки прогресу в галузі сенсорних технологій, виконавчих механізмів та мікропроцесорних систем, з'явилися нові можливості для розробки високоефективних автоматизованих систем, що відповідають сучасним вимогам харчової галузі.

Метою бакалаврської роботи є підвищення ефективності процесу уварювання яблучного соку шляхом розробки електромеханічної системи автоматизації, що забезпечує точне регулювання параметрів температури та тиску, сприяє покращенню якості кінцевого продукту та зниженню витрат енергії.

Об'єктом дослідження у бакалаврській роботі є електромеханічна система керування процесом уварювання яблучного соку у випарному апараті.

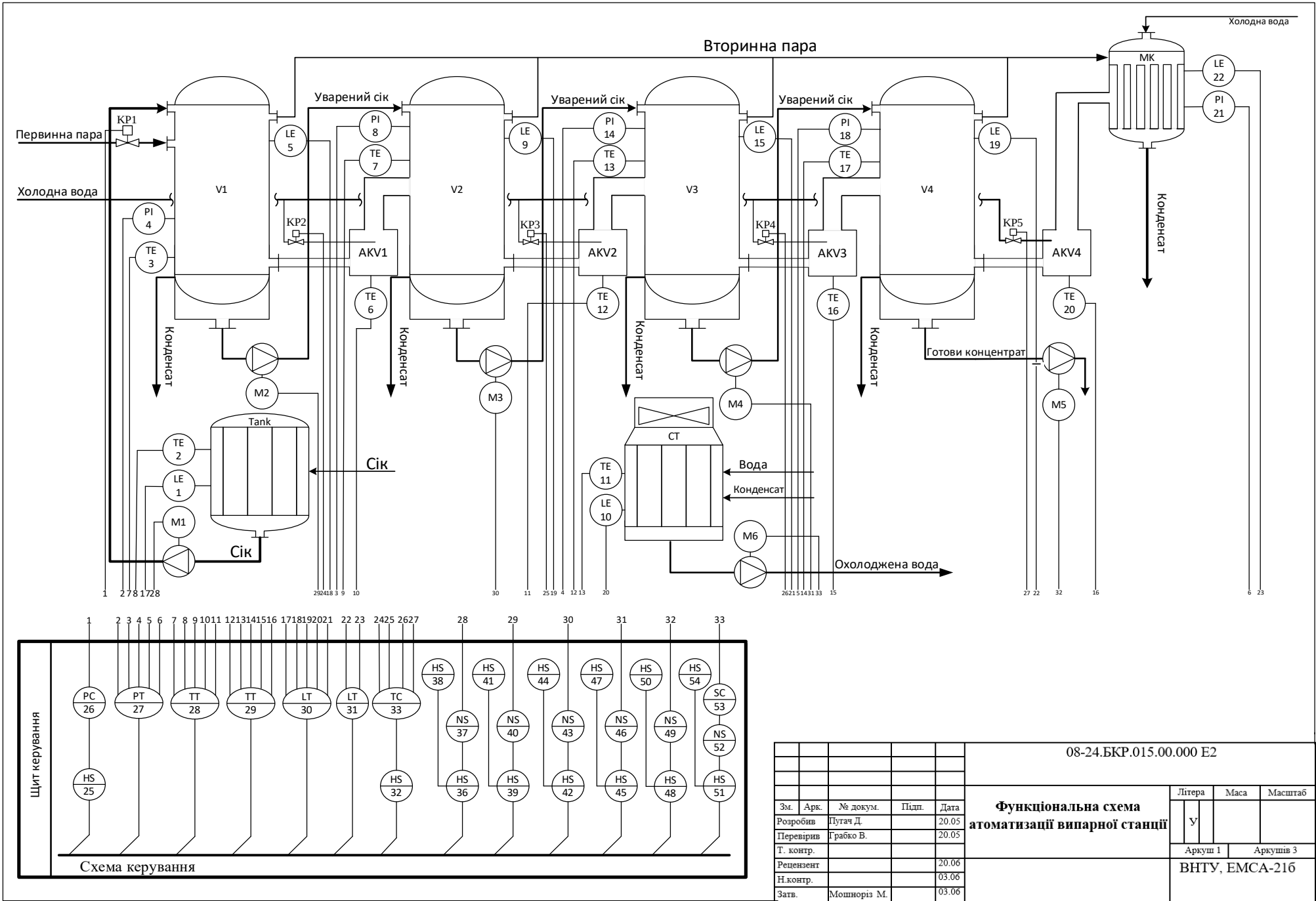
Предметом дослідження є процеси регулювання температури, швидкості обертання мішалки та автоматизації контролю за параметрами уварювання соку.

Задачі дослідження:

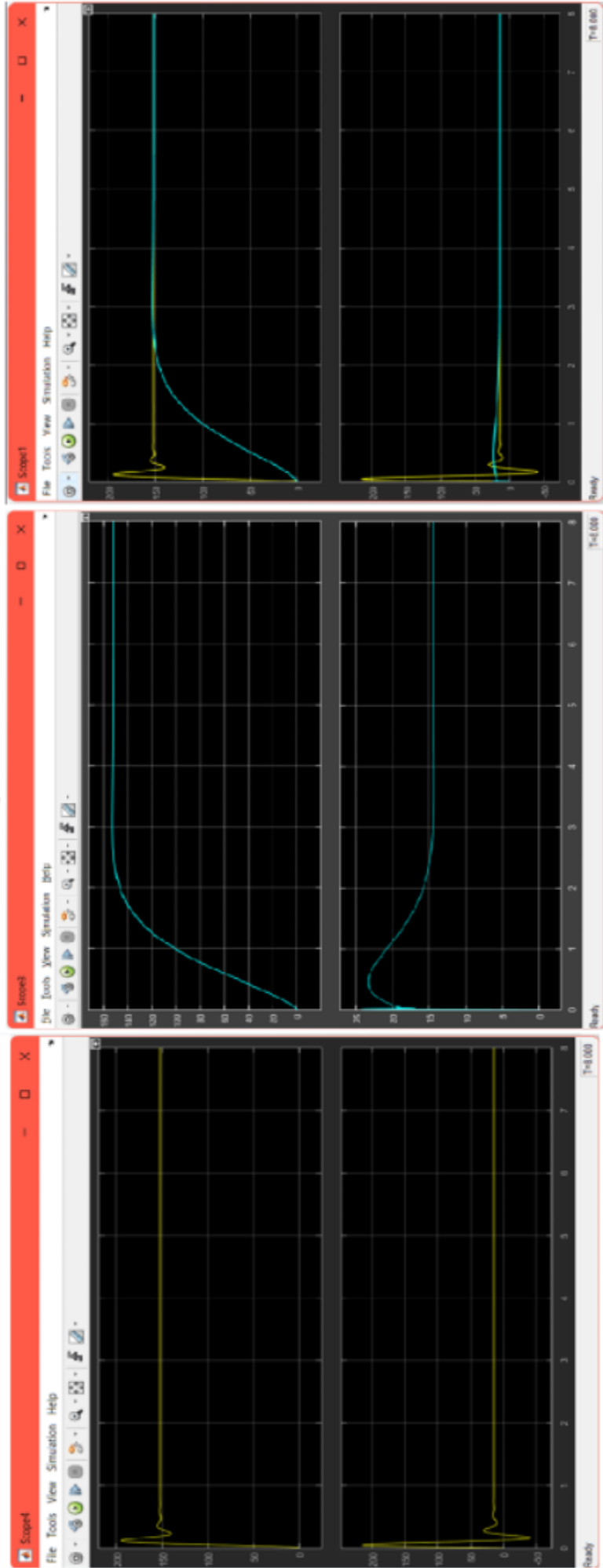
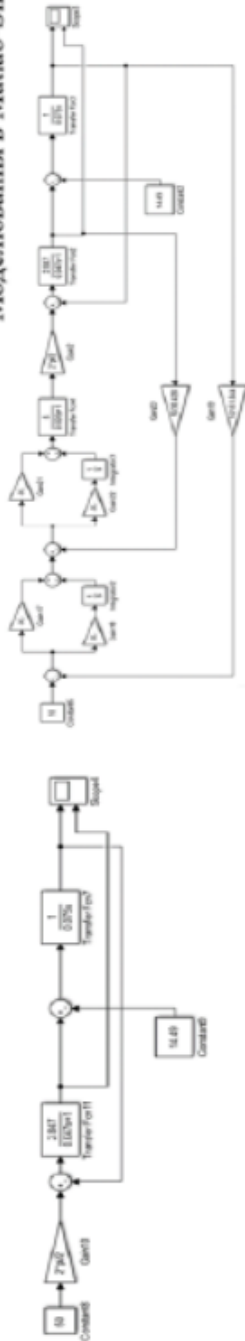
- ознайомитись з процесом виробництва яблучного концентрату.

- виконати розрахунок потужності двигуна та його перевірку згідно з параметрами технологічного процесу.

- описати процес реалізації автоматизованої системи управління технологічним процесом концентрації яблучного соку.



Моделирование в Matlab-Simulink

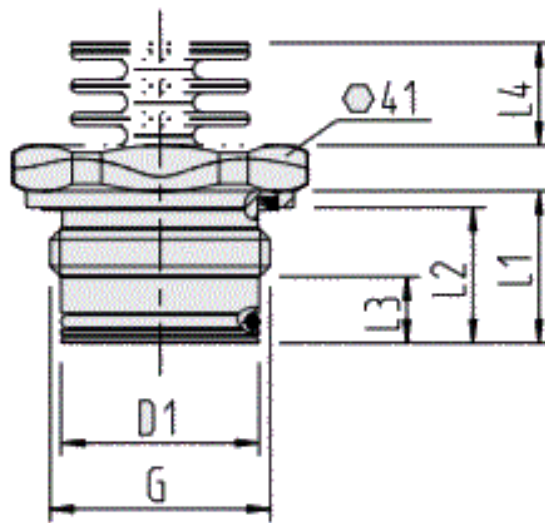




Зовнішній вигляд сенсора тиску WİKA PE 81.60



Зовнішній вигляд сенсора тиску WİKA S-11



G	D1	L1	L2	L3	L4
G 1 B	30 (1,19)	23 (0,91)	20,5 (0,81)	10 (0,4)	15,5 (0,61)

Розміри сенсора тиску WKA S-11



Зовнішній вигляд сенсора температури Comet P6181



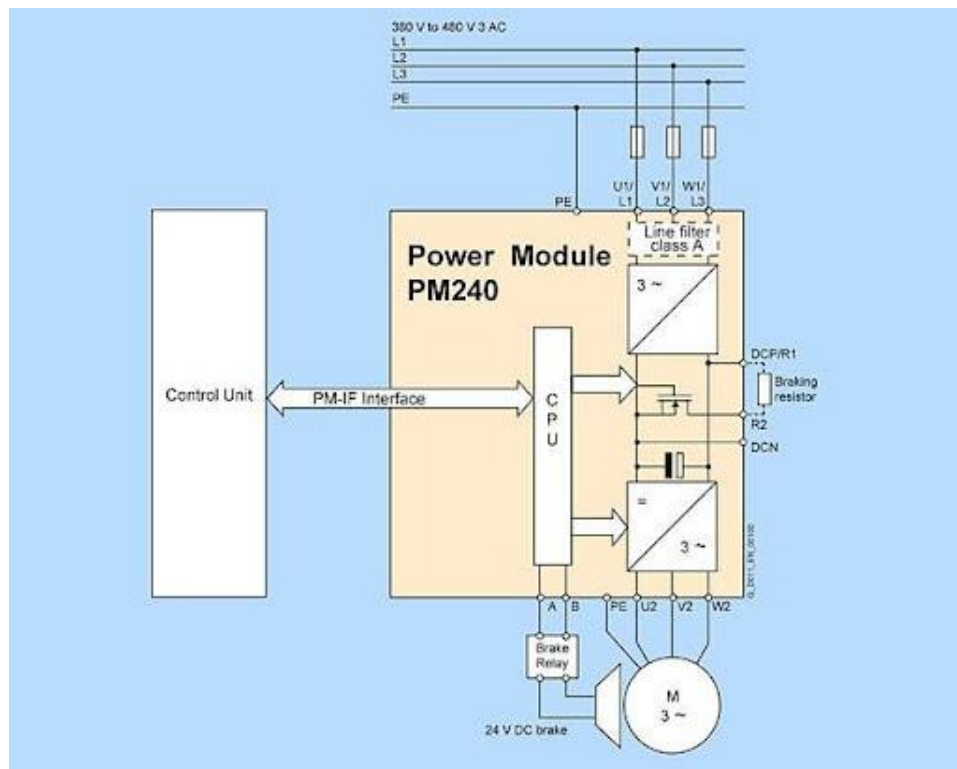
Зовнішній вигляд сенсора температури JUMO Etemp B



Зовнішній вигляд сенсора рівня Liquicap FMI21



ПЧ Siemens SINAMICS G120



Блок схема ПЧ Siemens SINAMICS G120

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики сенсору тиску WKA PE 81.60

Діапазон вимірювання	0-0,6 бар
Ступінь захисту	IP65
Можливе перевантаження	3 бар
Похибка	±0,5%

Таблиця 5.2 – Характеристики Comet P6181

Діапазон вимірювання	-100 - +200 °C
Ступінь захисту	IP65
Робоча температура	-30 - +85°C
Похибка	±0.1°C

Таблиця 5.3 – Характеристики JUMO Etemp B

Діапазон вимірювання	-50 - +400 °C
Ступінь захисту	IP66
Напруга живлення	10 В
Вихідний сигнал	4-20 <u>мА</u>

Таблиця 5.3 – Характеристики Liquicap FMI21

Робоча температура	-40 - +100 °C
Робочий тиск	10 бар
Напруга живлення	10 В
Вихідний сигнал	4-20 <u>мА</u>
Похибка	<1%

Таблиця 5.4 технічні характеристики ПЧ



Параметри перетворювача частоти	Значення
Виробник/Серія	<u>Siemens SINAMICS G120</u>
Тип	<u>Power Module PM240-2</u>
Потужність двигуна $P_{пч.н}$ кВт	5,5
Номінальна напруга живлення U_n В	400
Номінальна сила струму $I_{пч.н}$ А	12
Максимальний струм $I_{пч.мах}$ А	17
Клас захисту IP	55
Вхідна частота $f_{вхід}$ Гц	47-63
Вихідна частота $f_{вих}$ Гц	0-650

Таблиця 6.2 – порівняльна таблиця

Показники	Системи електричного привода			
	ПЧ-АД	ТП-Д	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР
Вартість двигуна Д, грн	32000	30000	31000	33000
Вартість системи керування СК, грн	45000	29800	33000	35000
Капітальні вкладення К, грн	77000	59800	64000	68000
Річні капітальні витрати Крічн , грн/рік	13090	10166	10880	11560
Амортизаційні відрахування СА, грн/рік	7700	5980	6400	6800
Відрахування на ремонт СР, грн/рік	1540	1196	1280	1360
Додаткові відрахування СД, грн/рік	2406,867	5000	2750	6500
Відрахування на обслуговування СО, грн/рік	592,34	1000	975,76	1500
Загальні відрахування грн/рік С	12229,207	13176	11405,76	16160
Приведені витрати З, грн/рік	25319,207	23339	22285,76	27720

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Електромеханічна система автоматизації процесу концентрування яблучного соку

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1,15 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП

Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Грабко В.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Пугач Д. Є.

(прізвище, ініціали)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Електромеханічна система автоматизації процесу концентрування аблучного соку

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1,15 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укріття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціал, посада)

Гарант ОН

Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціал, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

Павлюк О.А.

(прізвище, ініціал)

					08-24.БКР.015.00.000 Е2			
					Гребко В.В.			
					Функціональна схема			
					атоматизації випарної станції			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літера		Маса	Масштаб
Розробив		Пугач Д.		20.05	У			
Перевірив		Гребко В.		20.05				
Т. контр.					Аркуш 1		Аркушів 3	
Рецензент		Бабенко Д.		20.06	ВНТУ, ЕМСА-216			
Н.контр.		Жуков		03.06				
Затв.		Мошноріз М.		03.06				