

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

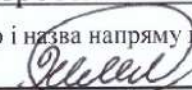
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

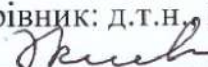
на тему:

**«Автоматизована система регулювання
технологічного процесу гомогенізації молока»**


08-24.МКР.001.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ЕПА-22мз
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Віктор ЖЕРЕБКОВ


Керівник: д.т.н., професор каф. КЕМСК
 Василь КУХАРЧУК
«___» _____ 2023 р.

Опонент: к.т.н., доц. кафедри ЕСС

 Владислав ЛЕСЬКО
«___» _____ 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри КЕМСК

 к.т.н., доц. . Микола МОЦНОРИЗ
(прізвище та ініціали)

«07» 06 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Компютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

К.т.н., доц.

Микола МОШНОРИЗ

"20" 03 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Жеребков Віктор Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. : Тема роботи «Автоматизована система регулювання технологічного процесу гомогенізації молока»

керівник роботи Кухарчук . В.В. д.т.н., проф. каф. КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "20" 03 2023 року
№ 68

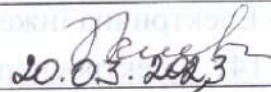
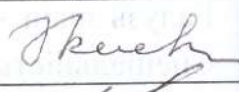
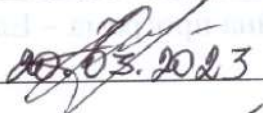
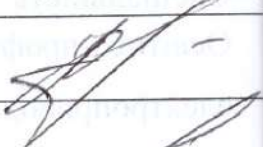
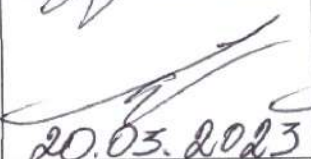
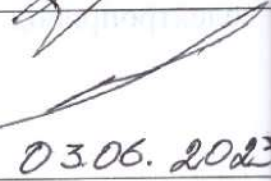
2. Строк подання студентом роботи "02" 06 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості відносно конструктивного виконання та особливостей роботи гомогенізатора.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Загальна характеристика об'єкту дослідження. Види і характеристика гомогенізаторів. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Матеріал необхідний для висвітлення сутності проведених досліджень та впровадження розроблених методик.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кухарчук В. В. д.т.н., професор	 20.03.2023	
Економічна частина	Шулле Ю.А., к.т.н., доцент	 20.03.2023	
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д.пед.н., завідувач кафедри, професор	 20.03.2023	 03.06.2023

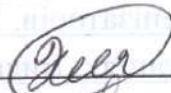
7. Дата видачі завдання «20» 03 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	20.03.2023	век
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	16.05.2023	век
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	05.06.2023	век
4	Виконання розділу «Економічна частина»	05.06.2023	век
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	05.06.2023	век
6	Попередній захист МКР	05.06.2023	век
7	Нормаконтроль МКР	05.06.2023	век
8	Рецензування МКР	09.06.2023	век
9	Захист МКР		век

Студент _____

(підпис)

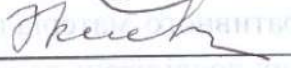


Жеребков В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)



Кухарчук В. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.9.06.-233.1

Жеребков В.В. Автоматизована система регулювання технологічного процесу гомогенізації молока. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, ОП – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця: ВНТУ, 2023. 137 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 29 назв; рис.: 38; табл. 8

В роботі запропоновано систему автоматизації гомогенізатора. Застосування системи дозволяє в реальному часі контролювати густину молока під час обробки. Цей чинник є важливим так, як гомогенізація є основою в технологічному процесі при переробці молока.

Розроблено лінеаризовану математичну модель торсіонного сенсора та зроблено аналіз математичних моделей електромеханічних перетворювачів енергії.

Ключові слова: гомогенізатор, частотний перетворювач, електропривод система керування.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА.....	11
1.1 Гомогенізація молока.....	11
1.2 Гомогенізатори молока.....	14
1.3 Різновиди диспергаторів-гомогенізаторів з високою силою зсуву....	24
1.4 Аналіз сенсорів густини.....	26
1.5 Електропривод.....	32
2 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ.....	34
2.1 Математична модель асинхронного двигуна.....	35
2.2 Лінеаризована математична модель асинхронного двигуна.....	37
2.3 Математична модель синхронного двигуна.....	40
2.4 Математична модель двигуна постійного струму.....	44
2.5 Висновки до розділу 2.....	47
3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБУ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ГУСТИНИ МОЛОКА.....	49
3.1 Сутність фазового методу регулювання густини.....	49
3.2 Узагальнена структурна схема засобу перетворення густини у двійковий код	49
3.3 Лінеаризована математична модель асинхронного двигуна.....	51
3.4 Функція перетворення пристрою керування з торсіонним сенсором.....	55
3.5 Результати експериментальних досліджень.....	61
3.6 Висновки до розділу 3.....	64
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	66

4.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода	66
4.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору перетворювача частоти для двигуна гомогенізатора	72
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	76
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	76
5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	76
5.1.2 Електробезпека	79
5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	80
5.2.1 Мікроклімат	80
5.2.2 Виробниче освітлення	81
5.2.3 Виробничий шум	82
5.2.4 Виробнича вібрація	83
5.2.5 Фактори трудового процесу	83
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях	85
5.3.1 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії іонізуючих випромінювань	86
5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії електромагнітного імпульсу	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
Технічне завдання	94
Додаток А. Протокол перевірки навчальної кваліфікаційної роботи	97
Додаток Б. Ілюстрований матеріал	99
Додаток В. Результати моделювання лінеаризованої моделі асинхронної машини привідного двигуна	129
Додаток Г. Результати моделювання пристрою вимірювання і керування	134

ВСТУП

Актуальність роботи. У сучасних технологічних процесах виробництва молока одним із нормативних є гомогенізація. Цей процес полягає в подрібненні жирових кульок молока або молочного продукту (дисперсна фаза) і одночасному їх рівномірному розподілі в плазмі молочного продукту (дисперсна фаза). Гомогенізація застосовується як для переробки сировини для молочної промисловості (незбираного або знежиреного молока і вершків), яку планується направити на подальшу переробку, так і для переробки кінцевого молочного продукту.

Метою гомогенізації є механічна стабілізація дисперсної фази, запобігання процесам фазового поділу, тобто утворення кремового осаду на поверхні продукту. Цей процес вкрай неприйнятний для молочної промисловості, а в деяких її галузях навіть неприйнятний. При розшаруванні продукту збільшується швидкість його скисання, погіршуються (або припиняються) процеси тривалого дозрівання і бродіння при виробництві кисломолочних продуктів, зменшується термін придатності отриманого продукту, що особливо важливо при зберіганні молочних консервів. Тому в таких випадках доцільно використовувати ротаційний метод з торсіометричним перетворювачем, який ґрунтується на визначенні кута закручування кручення, прямо пропорційного реологічним характеристикам речовини.

Приладобудівна промисловість інтенсивно розвивається в галузі розробки засобів контролю реологічних характеристик речовин. Створено сучасні методи та засоби дослідження реологічних характеристик, але кожна з них притаманна певній групі речовин. Практичне використання цих засобів вимагає значних витрат часу, якого часом не вистачає, а також спеціалізованого

громіздкого і недешевого обладнання, яке є не у всіх лабораторіях, і низького ступеня автоматизації - використання кваліфікованого персоналу.

При контролі реологічних характеристик за допомогою ротаційного віскозиметра використовується такий відомий метод, як використання кручень з малою жорсткістю, оскільки легко визначити найменші зміни реологічних характеристик (за винятком залежності екстремальних і встановлені значення напруги зсуву від швидкості деформації, отримані методом $W = \text{const}$ на ротаційних віскозиметрах з м'якими крученнями, мають лише якісне значення і в деяких випадках можуть повністю спотворювати результати вимірювань. Серед виробників сучасних ротаційних віскозиметрів переважно іноземні виробники, зокрема HAAKE та Brookfield. У більшості з них покращення характеристик досягається за рахунок зменшення паразитних параметрів: тертя в механічній системі, нелінійності моментної характеристики, електромагнітних індукцій в електричному ланцюзі та підвищення таких параметрів, як коефіцієнт зниження датчиків і кількість розрядів електричного кола. Проблема вимірювання реологічних характеристик речовини є актуальною для широкого кола вимірювальних завдань, тому пошук нових методів, аналіз їх похибок і розробка засобів підвищення точності ротаційних віскозиметрів на основі фазочастотного методу є перспективним і має наукове та практичне значення.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є автоматизація технологічного процесу гомогенізації молока для підвищення його якості за рахунок зменшення похибки вимірювання густини, яка є інформативним параметром кола зворотного зв'язку привідного двигуна.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Розробити метод та фазовий засіб вимірювання густини молока ротаційним віскозиметром;

- Розробити математичну модель вимірювального перетворення густини в двійковий код для його індикації та керування привідним двигуном;
- Розробити структурні та функціональні схеми засобу керування привідним двигуном з підвищеною точністю за рахунок вимірювання густини фазовим методом;
- Розробити методику експериментальних досліджень та інженерну методику проектування фазочастотного перетворювача .

Об'єкт дослідження - процес керування привідним двигуном з підвищеною точністю за рахунок фазового методу вимірювання густини молока;

Предмет дослідження – фазовий метод та засіб керування привідним двигуном, що реалізує вимірювання густини молока в процесі його гомогенізації.

Методи досліджень базуються на використанні математичного апарату теорії вимірювального перетворення, теорії фазочастотних вимірювань, теорії ймовірності, теорії цифрових автоматів, теорії електричних кіл, а також на використанні методів комп'ютерного моделювання цифрових схем та чисельних методів розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь.

Наукова новизна одержаних результатів.

Отримав подальший розвиток фазовий метод вимірювання густини молока, в якому на відмінну від відомих інформативний параметр густина перетворюється в кут закручування протидійної пружини та кут зсуву фаз в торсіонному сенсорі, що дозволило автоматизувати і забезпечити високу точність керування технологічного процесу гомогенізації молока.

Вдосконалено математичну модель процесу перетворення густини молока, в яку на відмінну від відомих додаткового введено рівняння перетво-

рення торсіонного сенсора, що дозволило підвищити точність вимірювання і як наслідок покращити якість готового продукту – вершкового масла.

Практичне значення одержаних результатів.

Проаналізована послідовність перетворень інформативного параметра густини у двійковий код з наступною його індикацією на екрані монітора мікропроцесорної системи з одночасним перетворення цифро-аналоговим перетворювачем в числові значення аналогової напруги для керування привідним асинхронним двигуном.

Структурна схема пристрою керування процесом барботажу молока, основними складовими якого є: привідний асинхронний двигун, протидійна пружина, торсіонний сенсор, мікропроцесорна система в якій аналогова величини різниці фаз перетворюється у бінарний код для індикації результату вимірювання та дискретного керування асинхронним приводом з метою підвищення точності та досягнення високої якості вершкового масла.

Пристрій керування, який забезпечує вимірювання густини в діапазоні її зміни від $\rho_{\min} = 800 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ до $\rho_{\max} = 1024 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ з відносною похибкою квантування, нормоване значення якої не перевищує $\delta_{\text{кн}} \leq 0.25\%$.

Розділ 1 ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

1.1 Гомогенізація молока

Гомогенізація є одним із нормативних процесів у сучасних процесах виробництва молока. Цей процес полягає в подрібненні жирових кульок молока або молочного продукту (дисперсна фаза) з одночасним рівномірним розподілом їх у плазмі молочного продукту (дисперсна фаза). Гомогенізація застосовується як для переробки сировини для молочної промисловості (незбираного або знежиреного молока і вершків), яку планується направити на подальшу переробку, так і для переробки кінцевого молочного продукту.

Метою гомогенізації є механічна стабілізація дисперсної фази, запобігання процесам фазового поділу, тобто утворення кремового відкладення на поверхні продукту. Для молочної промисловості цей процес вкрай небажаний, а в деяких її галузях навіть неприйнятний. При розшаруванні продукту збільшується швидкість його підкислення, погіршуються (або припиняються) процеси тривалого дозрівання і бродіння у виробництві кисломолочних продуктів, зменшується термін придатності отриманого продукту, що особливо важливо при зберіганні молочних консервів. Відповідно до рівняння Стокса, під час сепарації діаметр частинок має найбільший вплив на швидкість сепарації, яка пропорційна квадрату діаметра в момент часу. Тому після гомогенізації, яка зменшує діаметр жирової кульки, час осідання зменшується. До гомогенізації середній розмір жирової кульки молока, за різними авторами, становить 2,5...4,0 мкм, після неї — менше 1 мкм.

Гомогенізація — це фрагментація (дисперсія) жирових кульок шляхом застосування значних зовнішніх сил до молока чи вершків. У процесі обробки зменшується розмір жирових кульок і швидкість спливання. Відбувається перерозподіл речовини жирової кульки, жирова емульсія стабілізується. Цей

спосіб механічної обробки молока і рідких молочних продуктів сприяє підвищенню дисперсності жирової фази в них, що дозволяє виключити відстоювання жиру при зберіганні молока, розвиток окисних процесів і дестабілізацію при інтенсивному перемішуванні і транспортуванні. . Гомогенізація си- ровини сприяє:

1) при виробництві пастеризованого молока і вершків - набуття однорідності (смак, колір, жирність);

2) молоко і вершки стерилізовані - для підвищення стійкості при зберіганні;

3) кисломолочні продукти (сметана, кефір, йогурт та ін.) - для підвищення міцності і консистенції білкових згустків і запобігання утворенню жирової пробки на поверхні продукту;

4) пресерви згущені - запобігання виділенню жирової фази при тривалому зберіганні;

5) сухе незбиране молоко - зниження якості вільного молочного жиру, який не захищений білковими оболонками, що призводить до його швидкого окислення під дією кисню повітря;

6) відновлені молочні, вершкові та кисломолочні напої - для створення повноти смаку продукту та запобігання появі рідкого присмаку;

7) молоко з наповнювачами (какао та ін.) - для поліпшення смаку, підвищення в'язкості і зниження ймовірності утворення осаду.

Зменшення розмірів жирової кульки і рівномірний розподіл її в молоці досягається впливом на молоко значної зовнішньої сили (тиск, ультразвук, високочастотна електрична обробка та ін.) у спеціальних машинах - гомогенізаторах.

Найчастіше в молочній промисловості використовують метод гомогенізації молока шляхом продавлювання його через кільцевий клапанний зазор гомогенізаційної головки машини. Жирові кульки, проходячи крізь цю щілину, диспергують. Необхідний тиск створює насос. При виробництві незбираного молока розмір жирових кульок зменшується з 3-4 мкм до 0,7-0,8 мкм. Основним вузлом сучасних гомогенізаторів вентильного типу є гомогенізуюча головка. Він може бути одно- або двоступеневим. Другий ступінь зазвичай працює при більш низькому тиску, ніж перший. Застосування однієї або двох ступінчастої гомогенізації залежить від виду вироблюваних молочних продуктів. Двоступеневу гомогенізацію з великим перепадом тиску на обох щаблях застосовують при виробництві високожирних молочних продуктів (вершки, суміші морозива і т. П.) Вона дозволяє розсіювати утворення скупчення жирових кульок. Для вироблення інших видів молочних продуктів, у тому числі для питного молока, можна використовувати одноступеневу гомогенізацію.

Також широкого поширення набув метод суміщення двох способів гомогенізації в одній машині (або послідовної обробки продукту в двох різних гомогенізаторах), доцільно виправити недоліки основного методу гомогенізації (або недоліки першого). машина). Так, на підприємствах, де використовуються щілинні гомогенізатори, замість двостадійної обробки в цих машинах вигідно використовувати дешевий відцентровий гомогенізатор на другій стадії обробки, який необхідний для запобігання злипанню частинок жиру. Завдяки цьому питомі енерговитрати значно зменшуються.. Або комбінувати конструкцію струминної гомогенізації з рефлектором, в якій ступінь перемішування продукту недостатня, але ступінь гомогенізації досить висока, з вихровою, яка, навпаки, має невеликий ступінь гомогенізації, але добре перемішує продукт. Гідродинамічний вібратор можна використовувати для попередньої або остаточної обробки суміші, комбінуючи його практично з будь-

яким іншим гомогенізатором, щоб підвищити ступінь подрібнення і перемішування, одночасно зменшивши бактеріальне забруднення.

1.2 Гомогенізатори молока

Для створення однорідної маси продукту (гомогенного середовища) використовують різні типи пристроїв, які відрізняються своєю основною силою впливу на продукт.

У результаті аналізу існуючих методів гомогенізації можна виділити найбільш перспективні з них. Це вакуумні, високонапірні, періодично-роторні міксери, постійні/внутрішньороторні, ультразвукові, відцентрові, струминні. Основним напрямом їх подальшого вдосконалення мають стати ґрунтовні дослідження щодо створення ефективних гомогенізаторів, які відповідатимуть усім сучасним вимогам.

Найбільш поширеними у виробництві залишаються вентильні (щілинні) гомогенізатори. У таких гомогенізаторах (рисунок 1.1) необхідний тиск (15 - 25 МПа) створюється багатосекційним плунжерним насосом, що приводиться в дію від електродвигуна потужністю 10 - 40 кВт.

Молоко подається до плунжерного насоса через всмоктувальний клапан 9. Під час нагнітального руху плунжера 10 нагнітальний клапан 8 відкривається і молоко під тиском надходить у вузьку кільцеву щілину, утворену між сідлом і клапаном 6, коли клапан закривається. Піднімається, долаючи силу стиснення пружини 5. Це зусилля і, відповідно, розмір кільцевого зазору регулюється гвинтом 4. Тиск контролюється манометром 7. Ширина кільцевого зазору становить приблизно 0,1 мм. Швидкість проходження молока через нього 150-200 м/с. Продуктивність цих машин становить 800-2000 кг/год.

Переваги клапанних гомогенізаторів:

— досить велика ступінь гомогенізації;

- масовий промисловий випуск.

Недоліки клапаних гомогенізаторів:

- висока вартість обладнання
- низький технологічний коефіцієнт корисної дії (0,0018%);
- дуже високі питомі витрати енергії (6,5 – 7,6 кВт/т);
- відсутні конструкції з продуктивністю менше 800 л/год ;
- масивний корпус, металомісткість та габаритні розміри;
- високі вимоги до якості очищення продукту;
- складна конструкція;
- необхідність у двоступінчастій обробці.

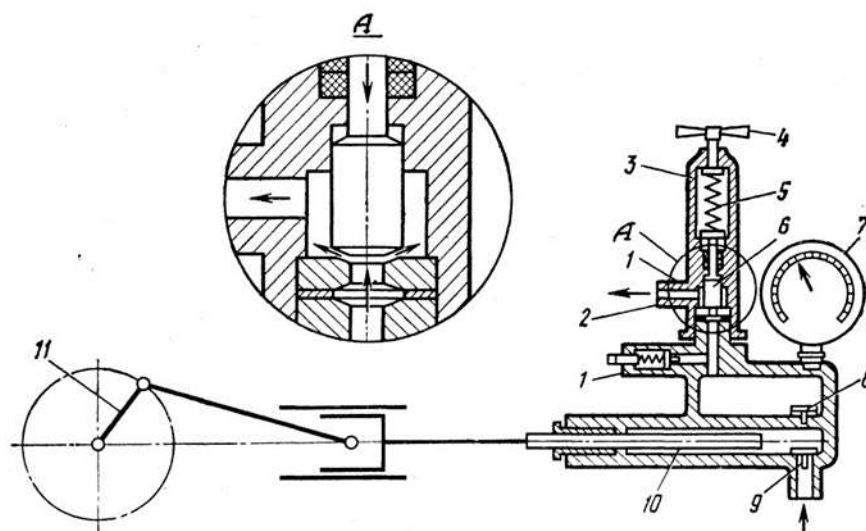


Рисунок 1.1 – Схема гомогенізатора клапанного типу

- 1 - запобіжний клапан; 2 - вихідний патрубок; 3 - корпус; 4 - гвинт; 5 - пружина; 6- клапан гомогенізуючої головки; 7- манометр; 8- нагнітальний клапан; 9 - всмоктуючий клапан; 10 - плунжер; 11 - привідний механізм.

Іншим відомим методом гомогенізації є ультразвукова гомогенізація. Він заснований на кавітації рідини, яка викликається в машинах з електро механічним збудником за допомогою вібраційного елемента 1 (рисунок 1.2). Таким елементом зазвичай є лопатка, встановлена в резонансному блоці 3.

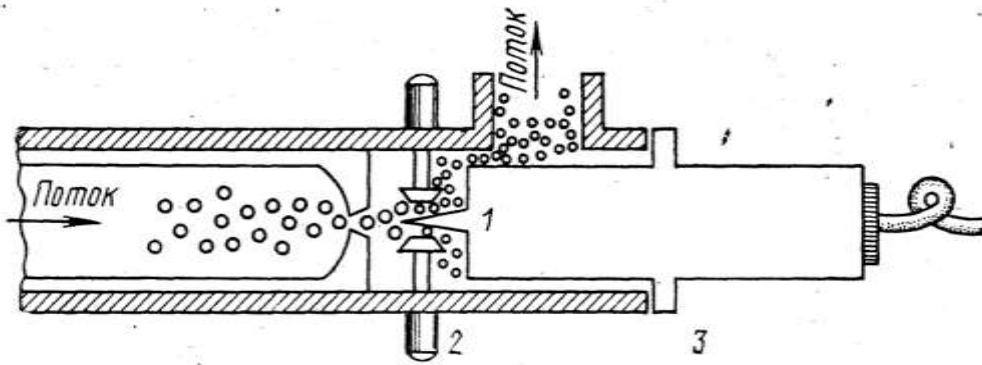


Рисунок 1.2 – Схема процесу ультразвукової гомогенізації

1- віброелемент; 2- контрольно-регулюючий пристрій; 3- резонансний блок.

На рис.1.3 зображено конструкцію гідродинамічного вібратора – пристрою ультразвукової гомогенізації, в якому кінетична енергія потоку безпосередньо перетворюється в енергію високочастотних пружних коливань. Під час роботи вібратора всі частинки рідини проходять через зону максимального звукового впливу, при цьому частинки обробленого молока не зустрічаються з частинками необробленого молока. Гідродинамічний вібратор складається з корпусу 9, коливальної системи 8 і патрубку 7 для подачі продукту в коливальну систему. Насадка являє собою трубу з концентрично встановленим всередині віджимом. Коливальна система складається з пакету прямокутних пластин товщиною 0,6-0,8 мм. Пластини заповнюють внутрішню порожнину камери, вони розташовані вздовж її поздовжньої осі і закріплені на хрестоподібному тримачі, який жорстко з'єднаний з поверхнею, що відбиває. Останній встановлюється в корпус з утворенням кільцевого зазору. Відстань між плитами 6-7 мм. При випробуванні гідродинамічного вібратора отримано певний ефект гомогенізації та бактеріального очищення.

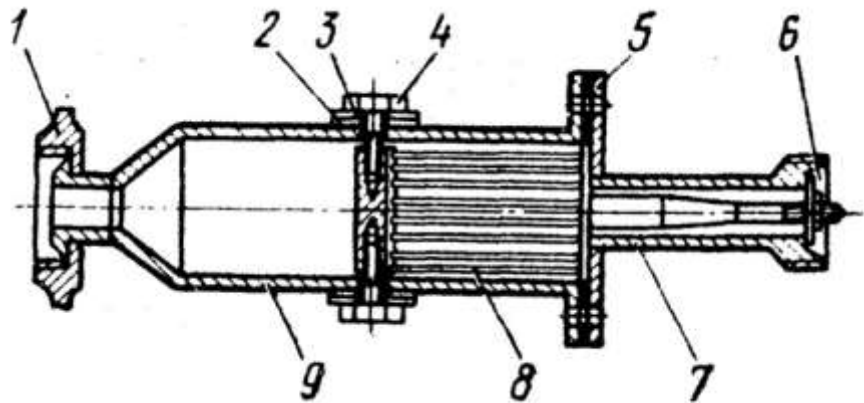


Рисунок 1.3 – Гідродинамічний вібратор

1 - гайка; 2 - прокладка резинова; 3 - шайба; 4 - болт; 5 - фланцеве з'єднання; 6 - різьбове з'єднання; 7 - сопло; 8 - коливальна система; 9 - корпус

Переваги ультразвукової гомогенізації:

- легке регулювання ступеня гомогенізації;
- можливість створювати машини практично будь-якої продуктивності;
- невибагливість до забруднень переробленого продукту; - поєднання гомогенізації з бактеріальним очищенням.

Недоліки ультразвукової гомогенізації:

- недостатня вивченість ультразвукової гомогенізації;
- невеликий ступінь гомогенізації, мінімальний діаметр жирових кульок не перевищує 1,48 мкм;—складна конструкція машин з електромеханічним збудником;
- висока чутливість до пульсації насосу.

Вакуумний гомогенізатор працює за методом введення енергії в потік рідини на основі процесів адіабатичного кипіння перегрітої рідини. Спосіб

емульгування полягає в наступному. Попередньо підігрітий продукт з температурою 75-95 0С подається у вакуум-камеру, де підтримується тиск 0,01-0,02 МПа. Після потрапляння у вакуумну камеру продукт перегрівається, в результаті чого відбувається вибухове кипіння, що призводить до руйнування жирових кульок.

Основним елементом пристрою (рисунок 1.4) є вакуумна камера 2, яка являє собою порожнисту ємність діаметром 300 мм і висотою 800 мм. Продукт вводиться по трубопроводу 1, який закінчується насадковим пристроєм. Вихід отриманого продукту здійснюється через патрубок 3 в нижньому днищі. Пар і повітря всмоктуються через бічне сопло 4 водокільцевим вакуумним насосом. Продуктивність - 1 т/год.

У двокамерному вакуумному гомогенізаторі необхідну температуру знижують до 60-80 0С. Такий апарат являє собою дві вакуумні камери, в першій з яких підтримується тиск 0,15 - 0,3 Па, у другій - 0,03 - 0,15 Па. Нагріте до 60-80 0С молоко розпилюється послідовно в першу і другу вакуумні камери.

Переваги вакуумних гомогенізаторів:

- знижується кислотність та збільшення термостійкості молока;
- виходить деаерація та дезодорація продукту;
- частково знищується шкідлива мікрофлора молока;
- можливість створити апарат з широким діапазоном продуктивності;
- невеликі питомі витрати енергії;
- можливість поєднання з пастеризатором (стерилізатором).

Недоліки вакуумних гомогенізаторів:

- невисока ступінь перемішування продукту;
- мінімальний ступінь гомогенізації, діаметр жирових кульок не більше 2,3 – 2,4 мкм;
- великі габаритні розміри устаткування;
- потрібно підігрівати продукт до 60 – 95 0С, що викликає незворотні наслідки в структурі продукту та вимагає додаткових енерговитрат.

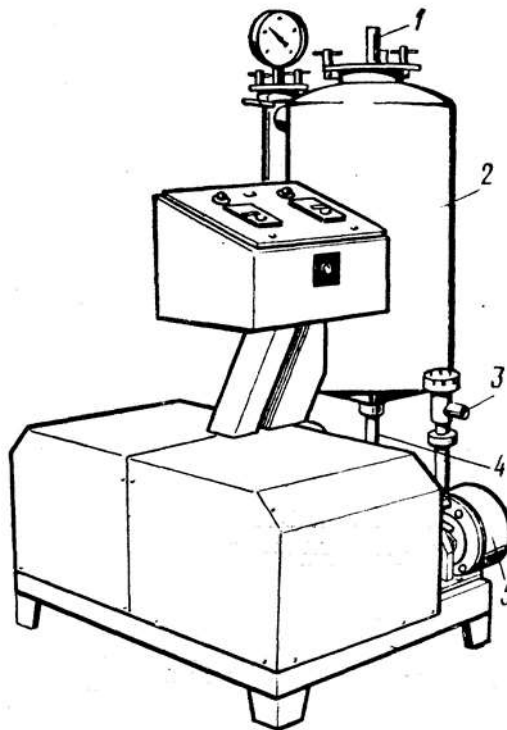


Рисунок 1.4 – Вакуумний однокамерний гомогенізатор

1 - патрубок з сопловим пристроєм для вводу продукту; 2 - вакуумна камера; 3 - патрубок для вводу емульсії; 4 - патрубок для відводу парів та повітря; 5- водокільцевий вакуумний насос

Роторні гомогенізатори використовуються для зміни консистенції таких молочних продуктів, як плавлені сири та масло. У продукті, обробленому

з їх допомогою, диспергується водна фаза, внаслідок чого продукт краще зберігається.

Принцип роботи роторного гомогенізатора полягає в наступному. Продукт подається в бункер, звідки за допомогою двох шнеків, що обертаються в протилежних напрямках, проштовхується через ротор і виходить через сопло з діафрагмою в бункер пакувальної машини. Для запобігання прилипання за собу до робочих органів верстата останні перед початком роботи змащують спеціальним гарячим розчином.

Переваги роторних гомогенізаторів:

- проста конструкція;
- широкий діапазон продуктивності;
- широка освоєність; – невеликі габарити та металомісткість.

Недоліки роторних гомогенізаторів:

- застосовуються для продуктів з високою густиною;
- ступінь подрібнення жирових кульок мінімальний;
- необхідність у періодичному змащенні робочих деталей.

Відцентровий гомогенізатор (рисунок 1.5) представляє собою два диски, один з яких 2 – нерухомий, а інший 8 – обертовий, з'єднаний з валом двигуна 9. Рухомий диск має кільцеобразні виступи з отворами 4, 5, 6. Ці виступи входять у пази на нерухомому диску.

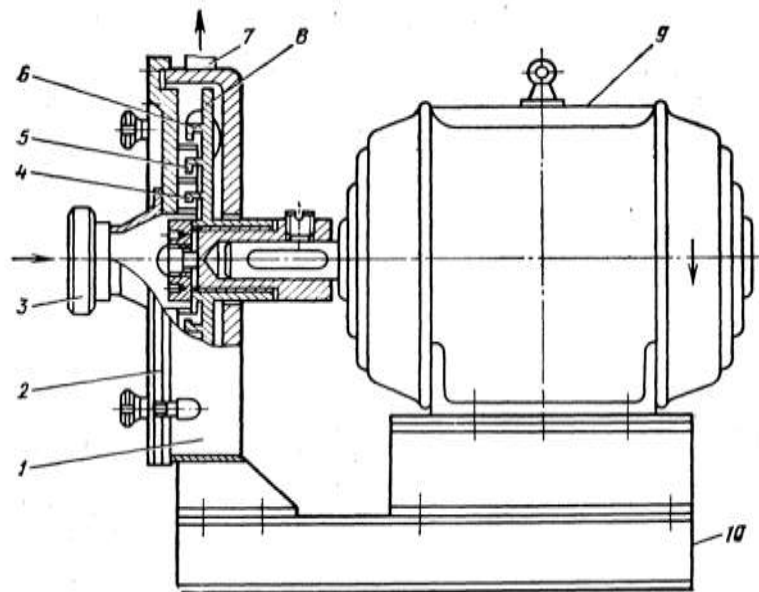


Рисунок 1.5 – Відцентровий гомогенізатор

1 - корпус; 2 - кришка; 3 - патрубок для виходу емульсії; 4 – 6 - кільця з отворами; 7 - патрубок для виходу емульсії; 8 - обертовий диск; 9 - електродвигун; 10 - станина

Продукт подається у вхідний патрубок 3 і потрапляє на перше внутрішнє кільце з отворами 4, яке кріпиться до обертового диска. Через отвори по периферії цього кільця суміш надходить у друге нерухоме кільце на кришці і надходить до другого обертового кільця 5, а потім до третього 6.

При відповідній частоті обертання вала двигуна в просторі між дисками виникають зони зі зниженим і підвищеним тиском: утворюються бульбашки пари, які періодично лопаються, що призводить до гідравлічного удару. Це явище відоме як кавітація. Кавітація призводить до руйнування жирових кульок молока та інтенсивного перемішування продукту. Але разом з цим поверхні, що піддаються гідравлічному удару, швидко руйнуються. Продукт видаляється під дією відцентрових сил через патрубок 7.

Переваги відцентрового гомогенізатора:

- невеликі витрати енергії;
- широкий спектр продуктивності;
- низька маса, габаритні розміри та металомісткість;
- стійкість до забруднення твердими частками;
- можливо його використання як насосу для перекачування молока.

Недоліки відцентрового гомогенізатора:

- низька ступінь гомогенізації;
- швидке зношування робочих механізмів машини, як наслідок забруднюється оброблюваний продукт;
- необхідність у зміцненні поверхневого шару робочих органів спеціальною обробкою або використання спеціальних сплавів, що збільшує вартість машини.

З найпоширеніших, які Ви можете зустріти на сучасному ринку, є:

- гомогенізатори високого тиску (наприклад гомогенізатори цільного молока),
- роторні змішувачі періодичної дії (ємнісні змішувачі),
- роторні змішувачі постійної/внутрішньої дії (насоси-диспергатори з високою силою зсуву).

Але завдання, яке стоїть перед цими пристроями завжди одне – досягти необхідної однорідності продукту.

Розглянемо основні відмінності пристроїв гомогенізації.

У чому різниця між роторним змішувачем з високою силою зсуву типу РСМ і гомогенізатором високого тиску?

Гомогенізатори високого тиску і міксери з високою силою зсуву виконують однакові функції подрібнення продукту і одночасний розподіл однієї речовини в іншій. Тільки відбувається це за рахунок різних сил впливу на продукт.

Гомогенізатори високого тиску використовують велику кількість енергії для формування перепаду тиску в невеликих отворах для гомогенізації продукту або зменшення розміру його інгредієнтів. У той час як міксери з високою силою зсуву типу РСМ здійснюють гомогенізацію продукту за рахунок дії пари ротора і статора.



Рисунок 1.6 - Гомогенізатор високого тиску

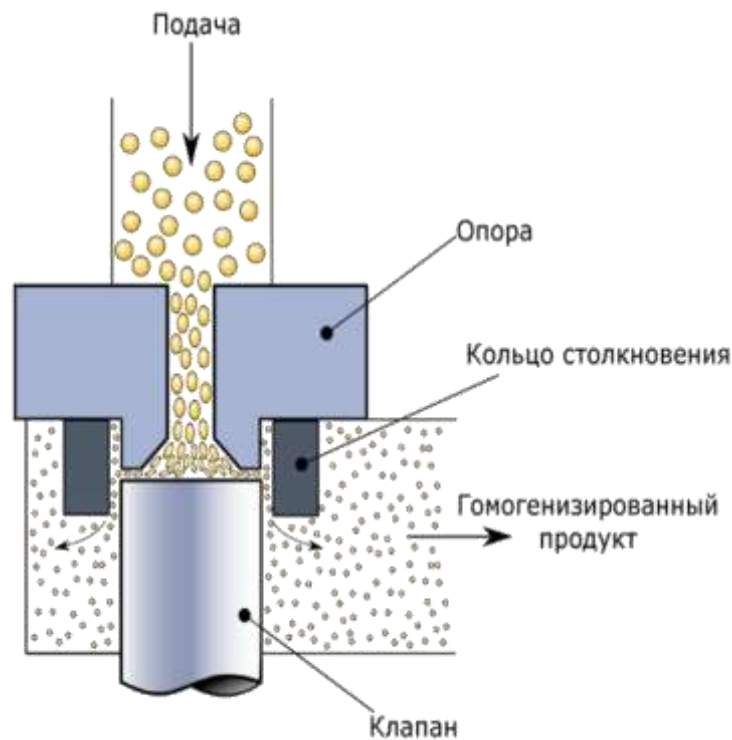


Рисунок 1.7 - Принцип роботи гомогенізатора високого тиску

1.3 Різновиди диспергаторів-гомогенізаторів з високою силою зсуву.

У свою чергу, диспергатори по типу РСМ можна використовувати по різному: як міксер вбудований в ємність (змішувача періодичної дії), так і насос-диспергатор (змішувач постійної дії). Але ефективність впливу на продукт буде відрізнятися.

Змішувач з високою силою зсуву постійної дії (насос-диспергатор РСМ) має вхідний канал подачі інгредієнтів перпендикулярний до зони зсуву і вихідний патрубок, який виносить продукт в осьовому напрямку. На відміну від диспергатора періодичної дії, змішувач постійної дії з високою швидкістю зсуву подає і виводить продукт безперервним потоком, і продукт часто ідеально гідратується, емульгується або гомогенізується за один прохід.

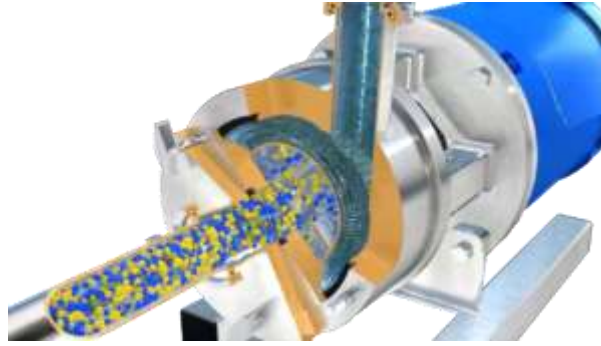


Рисунок 1.8 - Роторний змішувач постійної дії

Для порівняння, змішувачі періодичної дії встановлюються в ємність і змішують продукт без проходження через робочу камеру як у випадку з насосом-диспергатором. Використання таких агрегатів вимагає, щоб інгредієнти змішувалися в резервуарі протягом більш тривалих періодів часу, а 100% дисперсія рідко досягається, знижуючи вихід продукту і витрачаючи цінні інгредієнти.

Вбудовані змішувачі постійної дії з високою силою зсуву (насоси-диспергатори типу РСМ) мають кілька переваг у порівнянні з порційними змішувачами. Вони допускають більш контрольоване середовище змішування, вони менш громіздкі, вони дозволяють безперервне лінійне перемішування і можуть давати результати відразу.

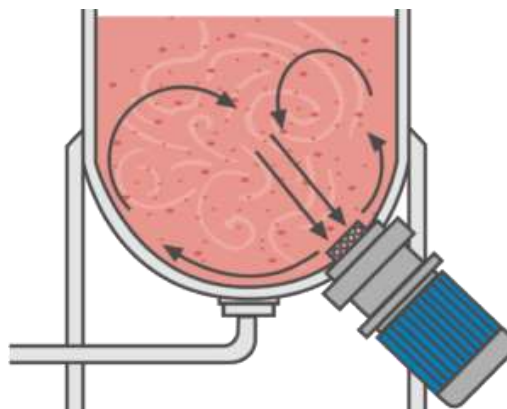


Рисунок 1.9 - Роторний змішувач періодичної дії

Але по факту, при роботі обох агрегатів процес гомогенізації здійснюється за рахунок попереднього процесу диспергації. Іншими словами, однорідний розподіл однієї речовини в іншій (створення гомогенного середовища) здійснюється за допомогою попереднього подрібнення/дроблення/диспергування частинок за допомогою: високого тиску (у випадку з гомогенізатором високого тиску) і за допомогою сил зсуву (у випадку з диспергаторами по типу ротор-статор).

1.4 Аналіз сенсорів густини

Метою даного огляду є характеристика ротаційних віскозиметрів, а також характеристика методів, що закладені в принципі їх роботи. В такому випадку доцільно розглянути класифікацію ротаційних віскозиметрів за критерієм вимірювання моменту опору, що зумовлений в'язкістю речовини. В основу такої класифікації покладений розподіл пристроїв для вимірювання електричних величин (11). Ротаційні віскозиметри в залежності від методу вимірювання моменту опору розділяють на пристрої безпосередньої оцінки та пристрої порівняння. Наявність проміжного перетворювача також приймається в якості ознаки для класифікації ротаційних віскозиметрів, згідно з якою ротаційні віскозиметри поділяються на чотири класи:

1. Безпосередньої оцінки.
2. Нульового порівняння.
3. Безпосередньої оцінки з проміжним перетворювачем.
4. Нульового порівняння з проміжним перетворювачем.

Поділ ротаційних віскозиметрів в межах класу виконується в залежності від виду основних перетворювальних елементів, що входять до складу віскозиметрів. Така класифікація представлена на рис. 1.4 (11).

Ротаційні віскозиметри усіх вище зазначених класів можуть бути дискретного або неперервного вимірювання з механічним або електричним чут-

ливим елементом які під час функціонування перебувають в статичному або динамічному стані рівноваги. Ротаційні віскозиметри кожного класу можуть мати відображуючий або записуючий пристрій відліку в'язкості і сприймаючий елемент тієї чи іншої форми.

Із загальної класифікації нас цікавлять ротаційні віскозиметри безпосередньої оцінки з проміжним перетворювачем, дискретного вимірювання з механічним чутливим елементом у вигляді торсіону динамічного стані рівноваги з відображуючим елементом відліку. Динамічна в'язкість в таких ротаційних віскозиметрах визначається як:

$$\Pi = f(R, M, \dot{\omega}) \quad (1.19)$$

де R – коефіцієнт, що залежить від геометричних розмірів сприймаючого елемента;

M – момент опору чутливого елемента (торсіону);

$\dot{\omega}$ - кутова швидкість обертання сприймаючого елемента.

Якщо R та $\dot{\omega}$ величини, що задаються оператором і під час вимірювання відомі то $M = var$ і безпосередньо залежить від в'язкості дослідної рідини. При цьому момент опору, що зумовлений в'язкістю речовини в таких ротаційних віскозиметрах визначається за формулою (12) :

$$M = C * \varphi \quad (1.20)$$

де $C = const$ – пружність матеріалу, з якого зроблено торсіон, яка відома під час вимірювання;

$\varphi = var$ – кут закручування торсіону, який залежить від в'язкості речовини.

Відповідно кут закручування торсіону є більш інформативним параметром по відношенню до в'язкості дослідної речовини, тому доцільно такі ротайні віскозиметри розділити:

Погружний сенсор густини, щільності та концентрації дозволяє проводити вимірювання в режимі реального часу з високою точністю. Сумісний з об'ємними датчиками витрати рідин, дозволяє розраховувати масову витрату рідини.

Сфера застосування:

Вимірювання концентрації різних речовин (харчова промисловість: молока, солі, цукру, спирту, хімічна: луги, кислоти, щільність шламу, вапняна рідина, концентрацією магнетиту в суспензії).

Сенсори для вимірювання густини:

У харчовому виробництві доводиться вимірювати густину молока, соку, сиропу, клеровок (для подальшого перерахунку в процент складу сухих речовин). В якості густиномірів в системах автоматизації застосовуються інтелектуальні перетворювачі різниці тиску APR-2200 фірми Aplisens з мембранними роздільниками, які підключаються по протоколу HART, мають межі вимірювання, які настроюються довільно і набір додаткових налаштувань.

Основна зведена похибка $\pm 0,1\%$ і цифрова компенсація додаткових похибок дозволяють використовувати ці перетворювачі для досить точного вимірювання густини для подальшого розрахунку вмісту сухих речовин.

Гідростатичний густиномір APR-2200D розроблений на базі інтелектуального перетворювача різниці тисків з двома дистанційними сепараторами. Розташовані на фіксованій відстані мембранні сепаратори разом з перет-

ворювачем різниці тисків змонтовані в захисній трубі діаметром 80 мм. Робоче положення густиноміра вертикальне, при цьому дзеркало вимірюваного середовища повинно бути над верхніми нівелювальними отворами труби.

Для його монтажу на ємкостях, що знаходяться під тиском, використовується стандартний фланець DN80 4МПа. Монтувати густиномір на резервуарах без надмірного тиску можна за допомогою довільного кронштейна, забезпечивши вертикальне положення осі датчика.

Комбіновані сенсори для вимірювання густини і швидкості звуку:

- Для вимірювання концентрації трикомпонентних сумішей за допомогою одного технологічного сенсора, наприклад суміші формальдегід-метанол-вода
- Розробка індивідуальних методик визначення концентрації для різноманітних завдань
- Доступна вибухозахисна версія.
- Монтується у виробничу лінію, байпас або в резервуарі

L-Com 5500 це нова комбінація сенсорів щільності та швидкості звуку Anton Paar в одному приладі для вимірювання 3-компонентних сумішей. Він складається з датчика щільності L-Dens 7500 з п'єзовозбудженою U-подібною трубкою, яка розширена модулем швидкості звуку. Значення щільності і швидкості звуку обчислюються безпосередньо в електроніці датчика.

Ця комбінація створює високопродуктивний сенсор з максимальною точністю на ринку (5×10^{-5} г/см³ для вимірювання щільності і 0,1 м/с для вимірювання швидкості звуку). Він ідеально підходить для моніторингу і контролю хімічних речовин, таких як суміші формальдегід-метанол-вода, або для

контролю виробництва пива, при якому аналізуються концентрації спирту, екстракту і води.

L-Com 5500 використовує цифрову обробку сигналу і може бути оснащений новим передавачем Pico 3000 і НМІ Pico 3000.

Мінімальні витрати - один сенсор для вимірювання 3-компонентних сумішей

Інтелектуальне поєднання датчиків щільності та швидкості звуку дозволяє здійснювати дуже складне вимірювання концентрації за допомогою одного інструменту.

Визначення концентрації трьохкомпонентних сумішей

- Формальдегід-метанол-вода
- Цукор-інверсний цукор-вода
- Алкоголь-екстракт-вода

Завдяки розмірам сенсора 260 мм x 145 мм x 200 мм (Д x Ш x В) L-Com 5500 можна монтувати в мінімальному просторі з використанням різних технологічних з'єднань, які є загальними і стандартними для всіх галузей промисловості.

Найвища точність - надійне вимірювання в умовах, що змінюються

Сенсор L-Com 5500 поєднує в собі видатну точність L-Dens 7500 з технологією обробки сигналів L-Sonic.

L-Com 5500 означає

- Найвища точність на ринку (5×10^{-5} г/см³ для вимірювання щільності і 0,1 м/с для вимірювання швидкості звуку)

- Найвища точність вимірювання температури процесу з метою уникнення температурних впливів

- Герметично ущільнена U-подібна трубка не схильна до впливу конденсованої вологості, що виникає в результаті коливань температури навколишнього середовища і умов процесу

- Опціональний сенсор тиску дозволяє компенсувати впливи зміни тиску

- Одні і ті ж умови середовища при визначенні щільності і швидкості звуку за рахунок вимірювання за один цикл

Нестабільні умови процесу компенсуються, а зміна умов процесу і навколишнього середовища не впливає на продуктивність L-Com 5500.

Зручна система встановлення - вбудований монтаж, бай-пас і в резервуарах

Для забезпечення максимальної гнучкості на всіх типах виробничих установок, доступні різні варіанти установки, які задовольняють всі Ваші запити:

- вбудований монтаж, байпас і безпосередньо в резервуарі з насосом
- вбудована і байпасна установка без насоса

Для вбудованих, байпасних і безпосередніх установок в резервуарі L-Com 5500 поставляється в комбінації з різними насосами (Inline Pump 520, вбудований насос для проб), для забезпечення постійного потоку середовища через датчик і стабільних вимірів.

Для вбудованих і байпасних установок доступні стандартні адаптери, що дозволяють обходитися без насосів.

L-Com 5500, який поставляється в готовому до використання виконанні, не вимагає зусиль для введення в експлуатацію або настройки. L-Com 5500 забезпечує надійні значення вимірювання концентрації з самого початку, без необхідності фази запуску.

- Включено формули розрахунку концентрації
- Попередньо налаштовані датчики готові до використання
- Швидкий запуск і введення в експлуатацію на місці

Сенсор просто встановлюється і можна розраховувати вимірювання концентрації з максимальною точністю протягом всього терміну служби датчика. Ніякі додаткові експлуатаційні витрати на витратні матеріали або технічне обслуговування не повинні розраховуватися, що дозволяє зберігати конкурентоспроможність, знижуючи витрати виробництва.

1.5 Електропривод

Електропривод - це високотехнологічна автоматизована електромеханічна система, яка включає електричні, механічні та електронні компоненти. Сучасний електропривод складається з електродвигуна, електронного перетворювача електричної енергії та системи автоматичного керування. За допомогою електроприводів приводять у рух майже всі механізми на заводах і фабриках, транспортні засоби, побутову техніку.

Електроприводами обладнані трамваї і тролейбуси, поїзди, верстати і підйомні крани і автомобілі, вентилятори і кондиціонери, пральні машини і холодильники, принтери і годинники, сканери і дисководи. Різноманітні електроприводи (від крихітного, що переводить стрілки годинника, до гіганта розміром із двоповерхівку, що приводить у рух потужний рухомий склад) ра-

зом споживають понад 60% енергії, яку виробляють усі електростанції України. Сучасне автоматизоване виробництво неможливе без електроприводів.

Особливостями сучасного електроприводу є:

широке застосування напівпровідникових перетворювачів енергії для регулювання швидкості електроприводів;

використання мікропроцесорних контролерів для реалізації різних завдань керування електроприводами.

Основні вимоги електроприводу гомогенізатора

1. Надійність та безпека при роботі
2. Можливість регулювати продуктивність
3. Стійкість до великих навантажень та перевантажень
4. Енергоефективність.

Для забезпечення довготривалої та продуктивної роботи гомогенізатора потрібно обрати оптимальну потужність електродвигуна. Продуктивність гомогенізатора залежить від подачі його насоса. Для влаштування гомогенізаторів плунжерного типу подача залежить від діаметру плунжерів, величини ходу, кількості плунжерів і числа обертів колінчастого валу. При заданих параметрах гомогенізатора продуктивність $V_{сек}$ її можна розрахувати за формулою:

$$V_{сек} = \pi * d * S * n * z * \varphi$$

Розділ 2 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Перші роботи з математичної теорії ЕМ з'явилися в 1920-1940-х роках. До них належать праці Р. Парка, О.О. Хорєв, Х. Крон, Х.М. Петров. Фундаментальними роботами з математичної теорії ЕМ є праці Г. Крона, який запропонував модель і рівняння узагальненої ЕМ.

В останні роки зусиллями багатьох учених (Б. Адкінс, І. О. Глебов, Г. О. Сипайлов, Є. Я. Казовський, С. В. Страхов, В. В. Хрущов, І. П. Копилов, В. Ю. Чабан) математична теорія ЕМ отримала глибокий розвиток. Використання сучасної комп'ютерної техніки дозволило аналізувати стійкі процеси як окремий випадок перехідних процесів.

Історія розвитку електромеханіки свідчить про існування кількох підходів до математичного моделювання та побудови ЕМ математичних моделей [1, 2-22]: на основі теорії поля (рівняння Максвелла); на основі теорії кіл (рівняння Кірхгофа); комбіновані (рівняння Максвелла і Кірхгофа); на основі індивідуальних фізичних законів (рівняння Лагранжа 2-го роду).

Найбільш просунутим і поширеним підходом є комбінований підхід, який поєднує рівняння поля та рівняння кола, коли на основі картин поля в ЕМ повітряному проміжку записуються рівняння напруги, а через струми або тяги потоку електромагнітні записуються моментні рівняння.

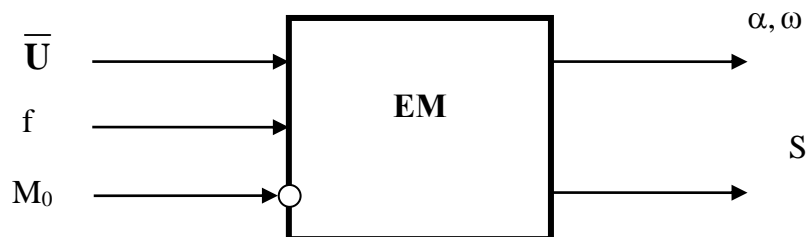


Рисунок 2.1 – Ідеалізоване подання ЕМ у вигляді багатополюсника

У цьому випадку ЕМ Рисунок 2.1 подається як багатополісник має електричні виводи, які характеризуються напругою \bar{U} і частотою f ; механічні виводи: момент на валу M_{em} , кутова швидкість ω_r та момент механічних втрат M_0 .

2.1 Математична модель асинхронного двигуна

Математичну модель АД запишеться у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_{s\alpha}(t)}{dt} = k \left[L_r (U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) + L_m (R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t) (L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t))) \right]; \\ \frac{di_{s\beta}(t)}{dt} = k \left[L_r (U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) + L_m (R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t) (L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t))) \right]; \\ \frac{di_{r\alpha}(t)}{dt} = k \left[-L_m (U_{s\alpha}(t) - R_s i_{s\alpha}(t)) - L_s (R_r i_{r\alpha}(t) + \omega_r(t) (L_r i_{r\beta}(t) + L_m i_{s\beta}(t))) \right]; \\ \frac{di_{r\beta}(t)}{dt} = k \left[-L_m (U_{s\beta}(t) - R_s i_{s\beta}(t)) - L_s (R_r i_{r\beta}(t) - \omega_r(t) (L_r i_{r\alpha}(t) + L_m i_{s\alpha}(t))) \right]; \\ \frac{d\omega_r(t)}{dt} = \frac{p}{J} \cdot (M_{em}(t) - M_0(\omega_r(t))); \\ M_{em}(t) = \frac{mp}{2} \cdot L_m (i_{s\beta}(t) i_{r\alpha}(t) - i_{r\beta}(t) i_{s\alpha}(t)), \end{array} \right. \quad k = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2}; \quad (2.1)$$

де $U_{s\alpha}(t) = \sqrt{2} U_m \cos(\omega t);$

$$U_{s\beta}(t) = \sqrt{2} U_m \sin(\omega t);$$

U_m - напруга мережі живлення;

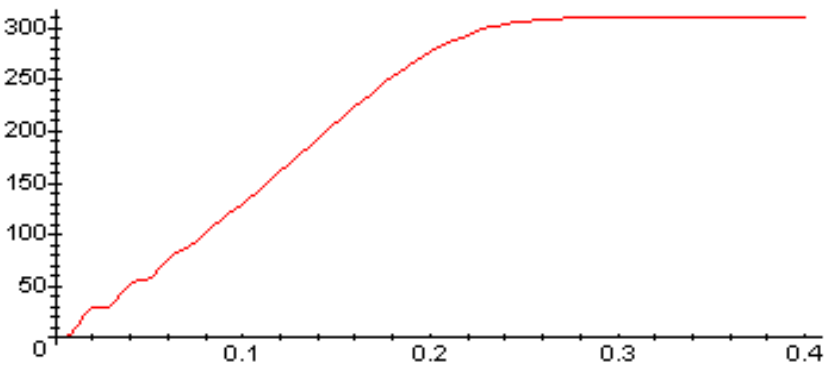
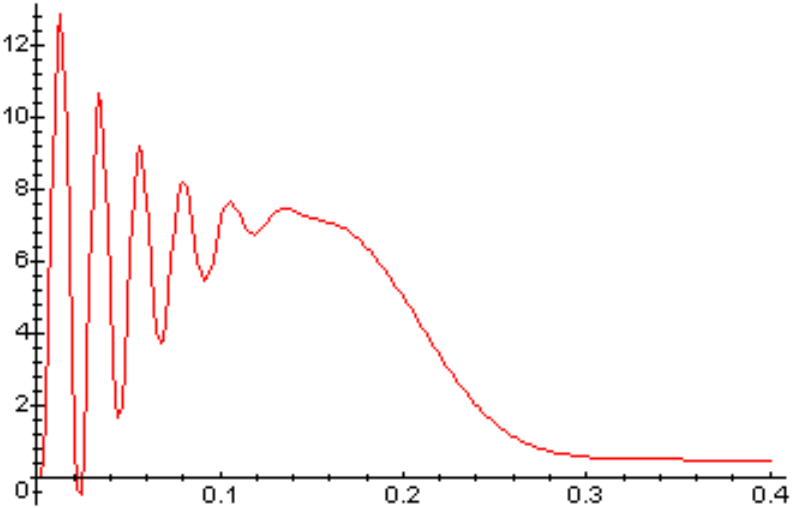
ω - кругова частота мережі живлення.

Система (2.1) являє собою систему жорстких нелінійних диференціальних рівнянь, розв'язок якої можна отримати тільки чисельними методами, наприклад, методом Рунге-Кутта зі змінним кроком інтегрування в середньо-вищій символічній математиці Maple V R5. [25].

Розв'язок системи (2.1) дозволяє отримати окрім залежностей механічних величин $\omega_r(t)$, $M_{em}(t)$, $M_{em}(\omega_r)$ також і такі енергетичні характеристики ЕМ:

- втрати в обмотках статора $Q_s(t) = R_s (i_{s\alpha}(t) + i_{s\beta}(t))^2;$

- втрати в обмотках ротора $Q_r(t) = R_r(i_{r\alpha}(t) + i_{r\beta}(t))^2$;
- електромагнітну потужність $P_{em}(t) = \omega_r(t) \times M_{em}(t)$;
- потужність в обмотках статора $P_s(t) = P_{em}(t) + Q_s(t)$;
- потужність, що передана на ротор $P_r(t) = P_{em}(t) - Q_r(t)$;
- коефіцієнт корисної дії ЕМ $\eta(t) = P_r(t)/P_s(t)$.

Залежність	Графічне представлення залежностей
$\omega_r(t)$	
$M_{em}(t)$	

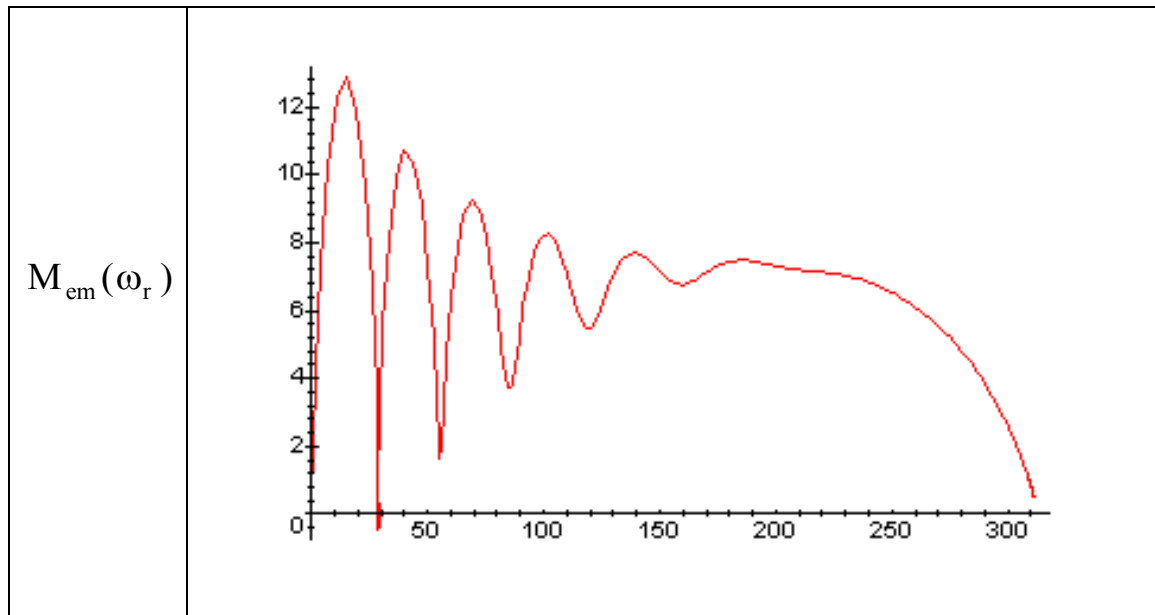


Рисунок 2.2 – Результати моделювання механічних характеристик АД

2.2 Лінеаризована математична модель асинхронного двигуна

Залежність кутової швидкості ω_r в часі t є дуже важливим параметром, тому що ця фізична величина є вихідною для опосередкованих вимірювань кутового прискорення $d\omega_r/dt$, моменту інерції ротора J , динамічного моменту $J \cdot d\omega_r/dt$.

Дослідження перехідних режимів мають з великі труднощі, що зумовлені суттєвою нелінійністю та великою жорсткістю системи диференціальних рівнянь ОД. Так для практичних розрахунків суттєво необхідно є розробка методів для аналітичного динамічного аналізу, які відображають з необхідною точністю реальні процеси [1, 2].

Одним із напрямків такого роду досліджень є використання лінеаризованих динамічних характеристик ОД, які отримані в результаті різноманітних спрощень. В практиці динамічних розрахунків використовують спрощену лінеаризовану характеристику ОД у вигляді [3]

$$\left(T_{eo} \frac{dM_d(t)}{dt} + M_d(t) \right) \gamma_0 = 1 - \frac{\omega_r(t)}{\omega_0}, \quad (2.2)$$

де M_d - електромагнітний обертальний момент ОД;

$T_{eo} = 1/(\omega_c S_k)$ - електромагнітна постійна часу;

$\gamma_0 = S_k/(2M_k)$ - крутизна статичної характеристики;

ω_r - кутова швидкість ротора;

ω_0 - кутова швидкість для ідеального холостого ходу;

$\omega_c = 2\pi f_c$ - кутова швидкість поля статора;

S_k, M_k - критичні значення ковзання та обертового моменту.

Аналіз перехідних режимів АД показав, що розрахунки, виконані з використанням характеристики (2.1), дають задовільні за точністю результати в діапазоні ковзань $S < 0.08 \div 0.10$ [200]. Як було показано в [4], саме в цьому діапазоні проявляється найбільший вплив проти дійної пружини. Тому для проведення подальших досліджень вибрано модель (2.2). Для визначення $\omega_r(t)$ використовується рівняння руху ротора

$$J \frac{d\omega_r(t)}{dt} = M_d(t) - M_c, \quad (2.3)$$

де J - момент інерції;

M_c - момент механічних втрат.

Аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.10), (2.11) відносно $\omega_r(t)$ та $M_d(t)$ при нульових початкових умовах $M_d(0) = 0, \omega_r(0) = 0$, отриманий за допомогою пакету символної математики Maple V, представлено у вигляді:

$$\omega_r(t) = \frac{-\omega_0}{4F^2 T_{eo}} \left[\frac{(2M_c \gamma_0 T_{eo} - \gamma_0 \omega_0 J_n + F)(-F^2 - F\gamma_0 \omega_0 J_n + 2FT_{eo})}{\exp\left(-t \frac{\gamma_0 \omega_0 J_n - F}{2\gamma_0 \omega_0 J_n T_{eo}}\right)} \right] +$$

$$+ \frac{\omega_0}{4F^2 T_{eo}} \left[\frac{(2M_c \gamma_0 T_{eo} - \gamma_0 \omega_0 J_n - F)(-F^2 + F\gamma_0 \omega_0 J_n - 2FT_{eo})}{\exp\left(-t \frac{\gamma_0 \omega_0 J_n + F}{2\gamma_0 \omega_0 J_n T_{eo}}\right)} \right] -$$

$$- \omega_0(1 - \gamma_0 M_c) \quad (2.4)$$

$$M_d(t) = \frac{1}{2\gamma_0(4T_{eo} - \gamma_0 \omega_0 J_n)} \left[\exp\left(-t \frac{\gamma_0 \omega_0 J_n + F}{2\gamma_0 \omega_0 J_n T_{eo}}\right) \left[\gamma_0^2 \omega_0 J_n M_c - \gamma_0 M_c F + 2F - \right] + \right.$$

$$+ \exp\left(-t \frac{\gamma_0 \omega_0 J_n - F}{2\gamma_0 \omega_0 J_n T_{eo}}\right) \left[-2F - 4\gamma_0 M_c T_{eo} + \gamma_0^2 \omega_0 J_n M_c + \gamma_0 M_c F \right] + 8M_c T_{eo} \gamma_0$$

$$\left. - 2M_c \gamma_0^2 \omega_0 J_n \right]$$

$$F = \sqrt{\gamma_0 \omega_0 J_n (\gamma_0 \omega_0 J_n - 4T_{eo})}. \quad (2.5)$$

Чисельний розв'язок рівнянь (2.5) представлено на рис. 2.2.

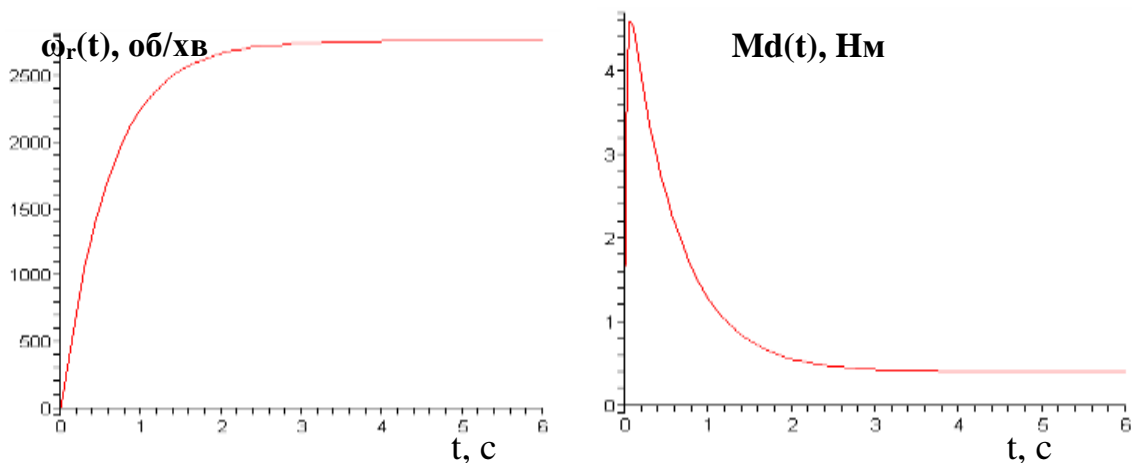


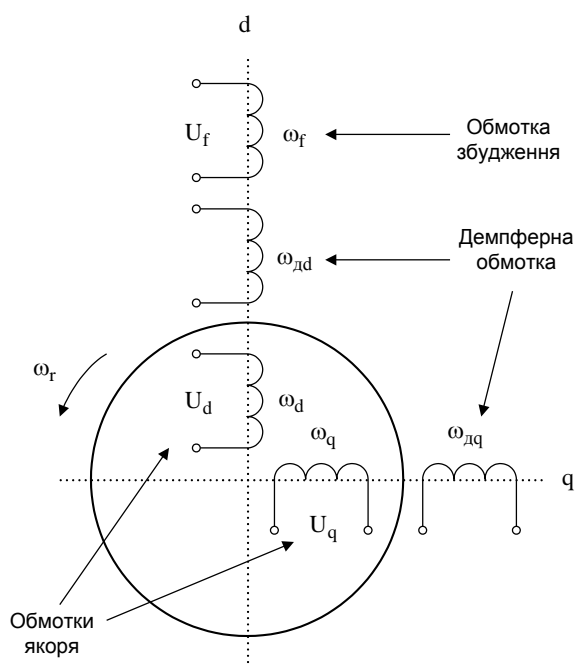
Рисунок 2.3 – Результати моделювання кутової швидкості та динамічного моменту за їх аналітичними виразами (2.12)

2.3 Математична модель синхронного двигуна

В усталеному режимі роботи в синхронному двигуні (СД). Тому можливі коливання, коли кутова швидкість при постійному навантаженні та постійній напрузі коливається відносно фіксованого значення швидкості. Зазвичай частота коливань на один-два порядки нижче частоти мережі і визначається параметрами світлодіода. Для того щоб зменшити амплітуду і частоту коливань, в світлодіод вставлена демпфіруюча обмотка.

Під час аналізу процесів перетворення енергії в СД розглядають загальмовану машину з приведеними обмотками [12-17].

СД ділять на явно- і неявнополюсні. Хоча явнополюсні СД мають різні опори по осях d і q (рис. 2.4), з точки зору процесів електромеханічного пере-



творення енергії це симетричні ЕМ.

СД явно- і неявнополюсні під час аналізу потрібно розглядати як багатообмоткові і враховувати кількість обмоток якоря, збудження і демпферної обмотки (рис. 2.3). У найпростішому випадку СД – триобмоткова машина.

Рівняння СД прийнято записувати для системи координат d, q , зв'язаних з обмотками ротора. Для машин з приведеними обмотками записуються такі рівняння [13] у вигляді:

Рисунок 2.4 – Просторова модель синхронного двигуна СД

$$\begin{cases} U_d = d\psi_d/dt + \psi_q\omega_r + R_a i_d; \\ U_q = d\psi_q/dt - \psi_d\omega_r + R_a i_q; \\ U_f = d\psi_{fd}/dt + R_f i_f; \\ 0 = d\psi_{dd}/dt + R_{dd} i_{dd}; \\ 0 = d\psi_{dq}/dt + R_{dq} i_{dq}, \end{cases} \quad (2.6)$$

Рисунок 2.4 – Просторова модель синхронного двигуна СД

де R_a - активний опір обмоток якоря;

R_f - активний опір обмоток збудження;

R_{dd}, R_{dq} - активний опір демпферної обмотки в повздовжній та поперечній осях;

U_d, U_q, U_f - напруги обмотки якоря в повздовжній та поперечній осях і обмотки збудження відповідно.

Потокозчеплення обмоток

$$\begin{cases} \psi_d = L_d i_d + M_{ad} i_f + M_{ad} i_{dd}; \\ \psi_q = L_q i_q + M_{aq} i_{dq}; \\ \psi_f = L_f i_f + M_{ad} i_d + M_{ad} i_{dd}; \\ \psi_{dd} = L_{dd} i_{dd} + M_{ad} i_d + M_{ad} i_f; \\ \psi_{dq} = L_{dq} i_{dq} + M_{ad} i_q, \end{cases} \quad (2.7)$$

де $L_d, L_q, L_f, L_{dd}, L_{dq}$ - індуктивності обмоток якоря, обмотки збудження і демпферної обмотки по осях d і q відповідно;

M_{ad}, M_{aq} - взаємні індуктивності обмоток по осях d і q відповідно.

Електромеханічний момент M_e визначається через струми і потокозчеплення або через струми

$$M_e = \psi_d i_q - \psi_q i_d; \quad (2.8)$$

$$M_e = M(i_f i_q + i_q i_{dd} - i_d i_{dq}), \quad (2.9)$$

де $M = M_{aq} = M_{ad}$, що має місце в неявнополіусному СД.

Сукупність рівнянь напруг (2.7) і рівняння моменту (2.8) чи (2.9) описує процеси електромеханічного перетворення енергії в СД.

Підставивши (2.9) в (2.8) та провівши відповідні математичні перетворення, можна записати систему рівнянь (2.10) у матричній формі:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_f \\ i_{dd} \\ i_{dq} \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \times \begin{bmatrix} U_d + L_q i_q \omega_r + M_{aq} i_{dq} \omega_r - R_a i_d \\ U_q - L_d i_d \omega_r - M_{aq} i_f \omega_r - M_{ad} i_{dd} \omega_r - R_a i_q \\ U_f - R_f i_f \\ -R_{dq} i_{dq} \\ -R_{dd} i_{dd} \end{bmatrix}, \quad (2.10)$$

де

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} L_d & 0 & M_{ad} & 0 & M_{ad} \\ 0 & L_q & 0 & M_{aq} & 0 \\ M_{ad} & 0 & L_f & 0 & M_{ad} \\ 0 & M_{aq} & 0 & L_{dq} & 0 \\ M_{ad} & 0 & M_{ad} & 0 & L_{dd} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{M_{ad}^2 - L_f L_{dd}}{k} & 0 & \frac{(L_{dd} - M_{ad})M_{ad}}{k} & 0 & \frac{(L_f - M_{ad})M_{ad}}{k} \\ 0 & -L_{dq}/k_1 & 0 & M_{aq}/k_1 & 0 \\ \frac{(L_{dd} - M_{ad})M_{ad}}{k} & 0 & \frac{M_{ad}^2 - L_d L_{dd}}{k} & 0 & \frac{(L_d - M_{ad})M_{ad}}{k} \\ 0 & M_{aq}/k_1 & 0 & -L_q/k_1 & 0 \\ \frac{(L_f - M_{ad})M_{ad}}{k} & 0 & \frac{(L_d - M_{ad})M_{ad}}{k} & 0 & \frac{M_{ad}^2 - L_d L_f}{k} \end{bmatrix};$$

$$k = -2M_{ad}^3 + M_{ad}^2(L_d + L_f + L_{dd}) - L_d L_f L_{dd}; k_1 = M_{aq}^2 - L_q L_{dq}.$$

Таким чином, математична модель СД запишеться у такому вигляді

$$\left\{ \begin{aligned}
\frac{di_d(t)}{dt} &= \frac{1}{k} \left[\left(M_{ad}^2 - L_f L_{\Delta d} \right) \left(U_d(t) + L_q i_q(t) \omega_r(t) + M_{aq} i_{\Delta q}(t) \omega_r(t) - R_a i_d(t) \right) - \right. \\
&\quad \left. - M_{ad} \left(M_{ad} - L_{\Delta d} \right) \left(U_f(t) - R_f i_f(t) \right) \right]; \\
\frac{di_q(t)}{dt} &= \frac{1}{k_1} \left[L_{\Delta q} \left(U_q(t) - L_d i_d(t) \omega_r(t) - M_{ad} i_f(t) \omega_r(t) - M_{ad} i_{\Delta q}(t) \omega_r(t) - R_a i_q(t) \right) + \right. \\
&\quad \left. + M_{aq} R_{\Delta q} i_{\Delta q}(t) \right]; \\
\frac{di_f(t)}{dt} &= -\frac{1}{k} \left[M_{ad} \left(M_{ad} - L_{\Delta q} \right) \left(U_d(t) + L_q i_q(t) \omega_r(t) + M_{aq} i_{\Delta q}(t) \omega_r(t) - R_a i_d(t) \right) + \right. \\
&\quad \left. + \left(L_d L_{\Delta d} - M_{ad}^2 \right) \left(U_f(t) - R_f i_f(t) \right) + M_{ad} \left(L_d - M_{ad} \right) R_{ad} i_{\Delta d}(t) \right]; \\
\frac{di_{\Delta d}(t)}{dt} &= -\frac{1}{k_1} \left[\left(U_q(t) - L_d i_d(t) \omega_r(t) - M_{ad} i_f(t) \omega_r(t) - M_{ad} i_{\Delta q}(t) \omega_r(t) - R_a i_q(t) \right) \times \right. \\
&\quad \left. \times M_{aq} + L_q R_{\Delta q} i_{\Delta q}(t) \right]; \\
\frac{di_{\Delta q}(t)}{dt} &= \frac{1}{k} \left[-M_{ad} \left(M_{ad} - L_f \right) \left(U_d(t) + L_q i_q(t) \omega_r(t) + M_{aq} i_{\Delta q}(t) \omega_r(t) - R_a i_d(t) \right) + \right. \\
&\quad \left. + M_{ad} \left(L_d - M_{ad} \right) \left(U_f(t) - R_f i_f(t) \right) + \left(L_d L_f - M_{ad}^2 \right) R_{\Delta d} i_{\Delta d}(t) \right]; \\
\frac{d\omega_p(t)}{dt} &= \frac{p}{J} \left(M_e(t) - M_0(\omega_r(t)) \right); \quad M_e(t) = M \left(i_f(t) i_q(t) + i_q(t) i_{\Delta d}(t) - i_d(t) i_{\Delta q}(t) \right); \\
k &= -2M_{ad}^3 + M_{ad}^2 \left(L_d + L_f + L_{\Delta d} \right) - L_d L_f L_{\Delta d}; \quad k_1 = M_{aq}^2 - L_q L_{\Delta q}; \quad M = M_{aq} = M_{ad}.
\end{aligned} \right. \quad (2.11)$$

Розв'язок системи (2.11) отримано чисельними методами в середовищі символної математики Maple V R5 (рис. 2.5 – 2.6).

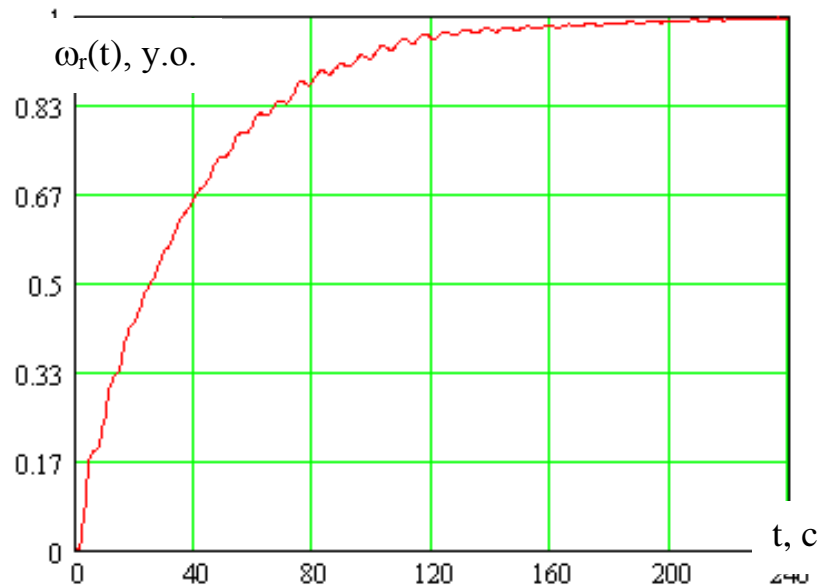


Рисунок 2.5 – Залежність кутової швидкості СД від часу

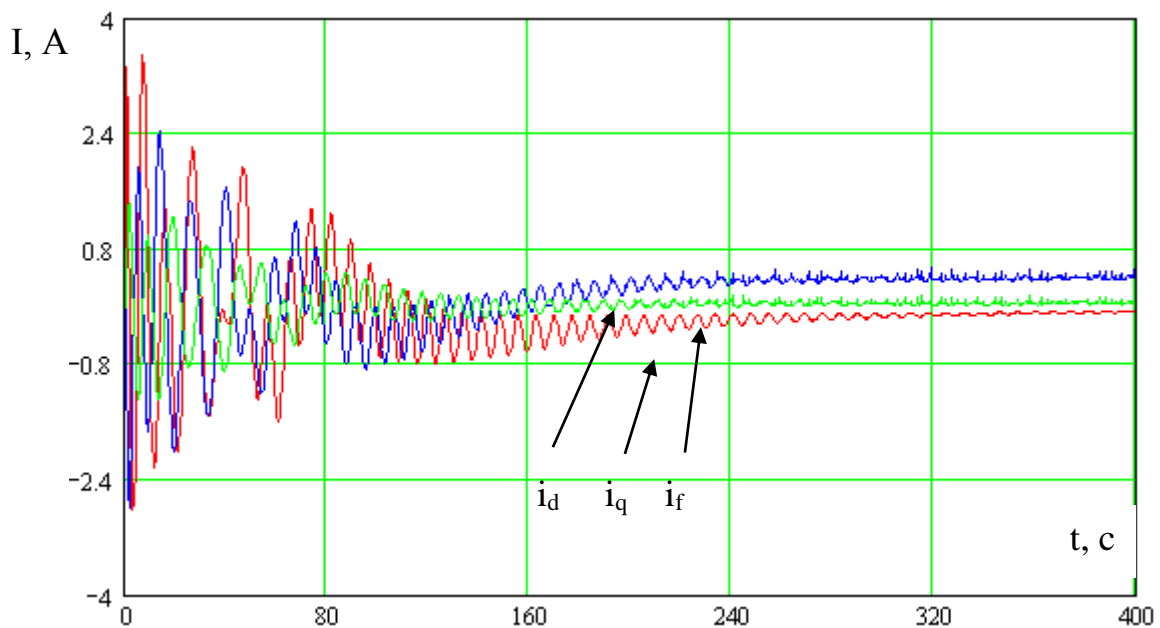


Рисунок 2.6 – Залежності струмів i_d , i_q , i_f СД від часу

2.4 Математична модель двигуна постійного струму

Розглянемо діагностичну модель ДПС на прикладі двигуна паралельного збудження. Цей ЕМ має два ланцюги: ланцюг обмотки збудження і ланцюг якоря, який складається з послідовно з'єднаних обмоток - компенсації, додаткових полюсів і якоря. Рівняння рівноваги напруг ланцюга ДПС прийнято записувати в нерухомій системі координат α , β [15, 14, 8]:

$$\begin{cases} U = R_b i_b + \frac{d\psi_{вш}}{dt}; \\ U = R i_a + \frac{d\psi}{dt} + \omega_r \psi_{ad}, \end{cases} \quad (2.12)$$

де U – напруга, що прикладена до контактів ДПС;

i_a, i_b - струми, що протікають в обмотках;

R_b, R - активні опори контурів обмоток збудження і якоря, причому

$$R_b = R_{ш} + R_{рег}, \quad R = R_k + R_d + R_a;$$

$R_{ш}, R_k, R_d, R_a$ - активні опори шунтової, компенсаційної обмоток і обмоток додаткових полюсів та якоря;

$R_{рег}$ - опір регулювання;

$\psi_{вш}$ - потокозчеплення обмотки паралельного збудження;

ψ - повне потокозчеплення обмоток контуру якоря ідеалізованої ЕМ.

Потокозчеплення обмоток ДПС паралельного збудження

$$\begin{cases} \psi_{вш} = L_{ш} i_b; \\ \psi_{ad} = L_{ad} i_b; \\ \psi = L i_a; \\ L = (L_k + L_d + L_a) + 2(L_{kd} - L_{ка} - L_{да}), \end{cases} \quad (2.13)$$

де $L_{ш}$ – повна індуктивність обмотки паралельного збудження;

L_k, L_d, L_a – повні індуктивності обмоток: компенсаційної, додаткових полюсів і якоря;

$L_{kd}, L_{ка}, L_{да}$ – взаємні індуктивності обмоток: компенсаційної і додаткових полюсів, додаткових полюсів і обмотки збудження.

L_{ad} – взаємна індуктивність обмотки якоря по повздовжній осі і обмотки збудження.

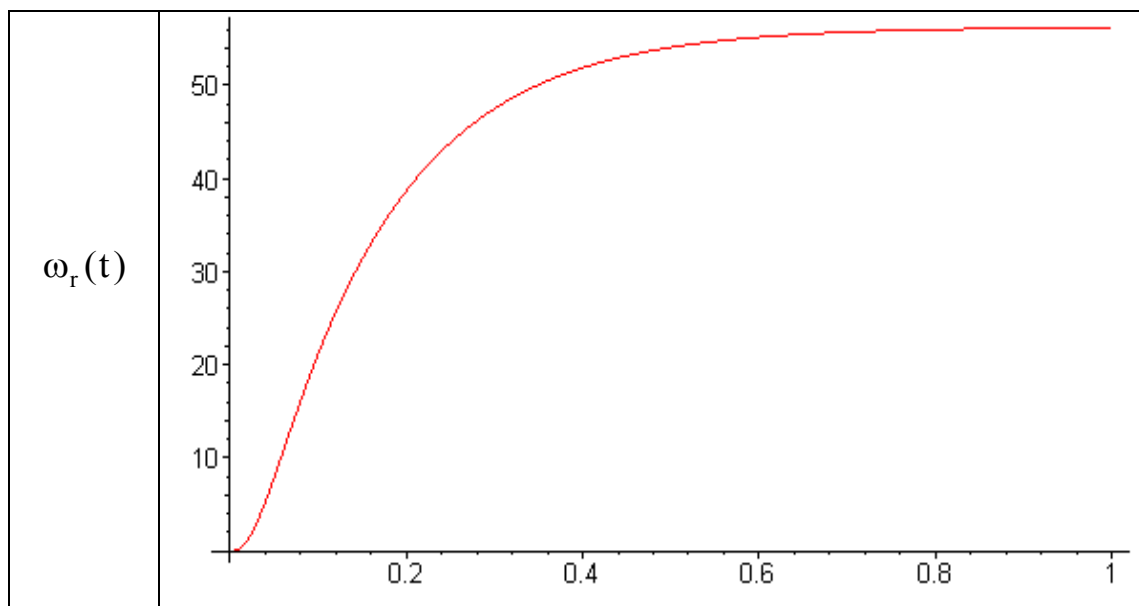
Електромеханічний момент M_e визначається через струми і потокозчеплення

$$M_e = \psi_{ad} i_a. \quad (2.14)$$

Таким чином, математична модель ДПС запишеться у вигляді

$$\begin{cases} \frac{di_B(t)}{dt} = \frac{U(t) - R_B i_B(t)}{L_{ш}}; \\ \frac{di_a(t)}{dt} = \frac{U(t) - R i_a(t) - \omega_r(t) L_{ad} i_B(t)}{L}; \\ \frac{d\omega_r(t)}{dt} = \frac{p}{J} [M_e(t) - M_0(\omega_r(t))]; \\ M_e(t) = L_{ad} i_B(t) i_a(t). \end{cases} \quad (2.15)$$

Розв'язок системи (2.15) отримано чисельними методами в середовищі символної математики Maple V R5 [25] і наведено на рис.2.5.



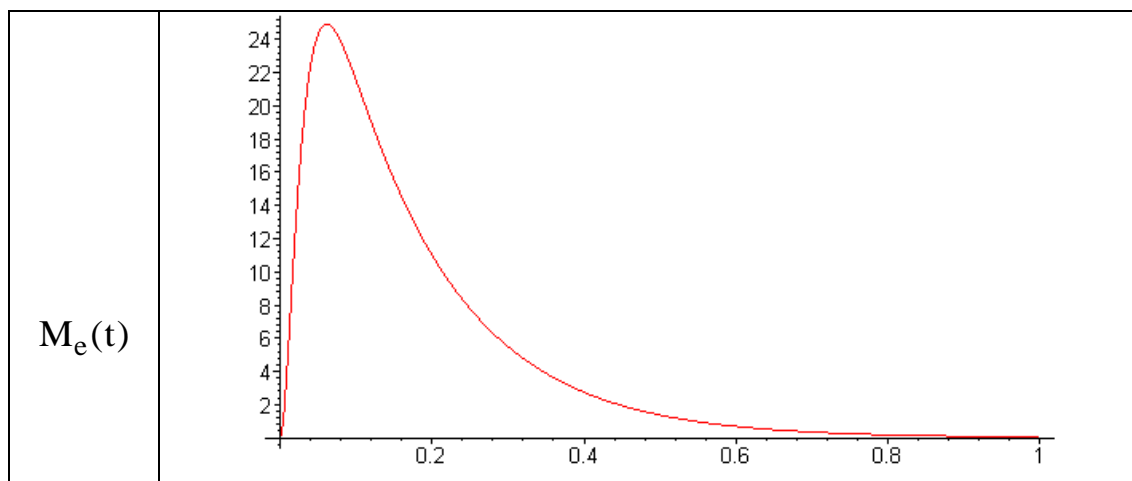


Рисунок 2.7 – Результати моделювання двигуна постійного струму

2.5 Висновки до розділу 2

Проведений аналіз результатів дослідження перехідних режимів роботи привідних двигунів дозволяє стверджувати, що вони пов'язані з великими труднощами, які зумовлені перш за все суттєвою нелінійністю їхніх математичних моделей та великою жорсткістю системи диференціальних рівнянь електромеханічних перетворювачів енергії: асинхронних та синхронних машин і машин постійного струму.

Встановлено, що для практичної прикладної задачі автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока, де перехідні процеси суттєво не впливають на точність розрахунків, доцільним є використання лінеаризованих динамічних характеристик асинхронного двигуна у вигляді диференційного рівняння другого порядку. Аналіз перехідних режимів АД показав, що розрахунки, виконані з використанням цієї моделі, дають задовільні за точністю результати в діапазоні ковзань $S < 0.08 \div 0.10$ [200]. Саме в цьому діапазоні здійснюється процедура барботажу (перемішування) молока для отримання необхідної густини вершкового масла.

Головними перевагами асинхронного приводу є простота їх конструкції та легкість використання. Вони також є:

Надійними та довговічними. Через безконтактну взаємодію між основними деталями пристрою вони рідко ламаються і не зношуються;

Доступна ціна. Проста конструкція та недорога сировина для виробництва електродвигунів забезпечує низьку вартість обладнання;

Простий принцип використання. Для роботи з асинхронним двигуном не потрібно мати спеціальні навички;

Універсальність. Електродвигун асинхронного типу встановлюється практично у будь-яке обладнання.

Ці переваги пояснюють необхідність їхнього вибору для подальшого застосування в якості асинхронного приводу для перемішування молока та отримання необхідної густини вершкового масла.

Розділ 3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАСОБУ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ГУСТИНИ МОЛОКА

3.1 Сутність фазового методу регулювання густини

Пропонується такий метод регулювання. До ротора привідного асинхронного двигуна через пружну муфту під'єднується виконавчий механізм для здійснення барботажу – починаючи з густини молока ρ_m і завершуючи процес барботажу при досягненні густини вершкового масла $\rho_{вм}$. В залежності від значення густини ρ_m на валу АД створюється відповідний оберտальний момент M_p . Під дією оберտального моменту M_p протидійна пружина закручується на кут α , який торсіонний сенсор перетворює у відповідне значення різниці фаз φ . Значення різниці фаз φ в мікропроцесорній системі МПС перетворюється в двійковий код $N[00..11]$, який відтворюється у вигляді числового значення густини на моніторі НЛ з одночасним його перетворенням цифро-аналоговим перетворювачем ЦАП в значення напруги U_k для керування асинхронним двигуном АД.

Таким чином наявність зворотного зв'язку по густині та фазовий метод перетворення густини в бінарний код забезпечують максимальну точність автоматизованого регулювання технологічного процесу гомогенізації молока.

3.2 Узагальнена структурна схема засобу перетворення густини у двійковий код

Виходячи з сутності запропонованого методу виділимо основні види перетворень, що тут відбуваються:

$$\rho_m \rightarrow M_p \rightarrow \alpha \rightarrow \varphi \rightarrow N \rightarrow U_k. \quad (3.1)$$

Для здійснення такої послідовності перетворень пропонується узагальнена структурна схема засобу регулювання густини, яка наведена на рис.3.1.

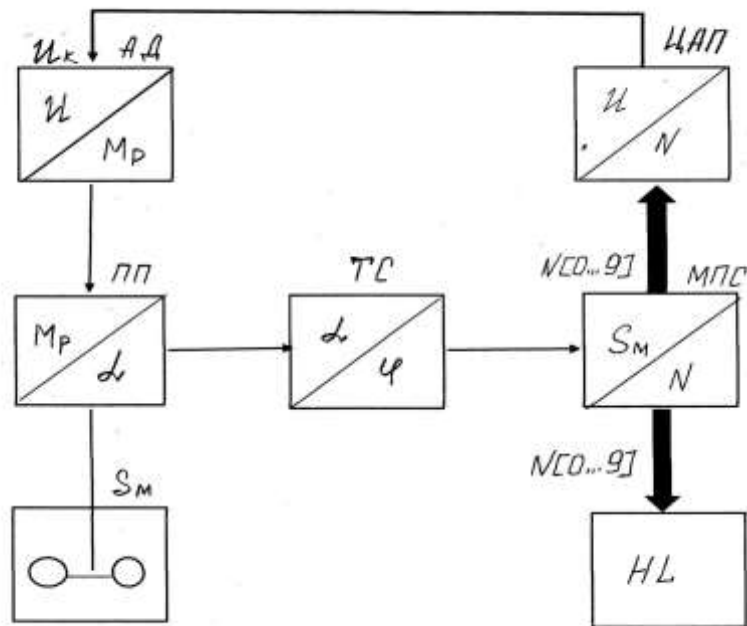


Рисунок 3.1 – Схема автоматичного регулювання густини молока

Наведена на рис.3.1 схема складається з таких основних елементів:

- Привідний асинхронний двигун АД;
- Протидійна пружина ПП, що є чутливим елементом торсіонного сенсора, який перетворює обертальний момент M_D в кут її закручування α ;
- Ємність, що заповнена молоком в середині якої розміщено виконавчий механізм для здійснення барботажу;
- Торсірний сенсор ТС кута закручування α кут зсуву фаз φ ;
- Мікропроцесорної системи МПС, в якій реалізується метод час-імпульсного перетворення різниці фаз φ в двійковий код N ;
- В МПС двійковий код N перетворюється в десятковий з подальшою його індикацією на моніторі HL , а також одночасно його перетворення ЦАП в значення напруги U_k для керування асинхронним двигуном АД.

Опишемо виділену послідовність перетворень, яку необхідно реалізувати для здійснення запропонованого методу автоматичного регулювання.

3.3 Лінеаризована математична модель асинхронного двигуна

В якості математичної моделі привідного двигуна використаємо динамічну характеристику, лінеаризовану в околиці S_1^0

$$\left(T_{em} T_e \frac{d^2 M_{em}(t)}{dt^2} + 2T_{em} \frac{dM_{em}(t)}{dt} + M_{em}(t) \right) \cdot \gamma = T_s \frac{dS}{dt} + S \quad (3.2)$$

де $\gamma = \gamma_0 \frac{(1 + \varepsilon_0^2)^2}{1 - \varepsilon_0^2}$ - коефіцієнт крутизни статичної характеристики для даного

го ε_0 ;

T_e, T_s - постійні часу при тому ж самому значенні ε ;

$$T_e = \frac{T_{em}}{1 + \varepsilon^2}; T_s = \frac{T_{em}}{1 - \varepsilon^2};$$

M_{em} - електромагнітний момент.

S - значення ковзання.

Розв'язок рівняння (3.2) отримано в середовищі символічної математики Maple V4

$$M_{em}(t) = (T_s p M_p(t) + S \omega_r J) \times \left\{ \frac{1}{\gamma \omega_r J + T_s p} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{em}}\right) \cdot \left(\cos(Ft) + \frac{1}{T_e \sqrt{F}} \cdot \sin(Ft) \right) \right] \right\} \quad (3.3)$$

$$\text{де } F = -\frac{-T_e \gamma \omega_r J - T_e T_s p + \gamma T_m \omega_r J}{\gamma T_m T_e^2 \omega_r J}.$$

Результати розв'язку та числові параметри моделі (3.3) наведені на рис.3.2.

Лінеаризована математична модель АД:

$\text{Sys} := (\gamma T_m T_e \text{diff}(M(t), t^2) + 2 \gamma T_m \text{diff}(M(t), t) + \gamma M(t) = (T_s p) / (W_r J)) * (-M(t) + M_p) + S;$

$$\begin{aligned}
 \text{Sys} &:= \gamma T_m T_e \left(\frac{d^2}{dt^2} M(t) \right) + 2 \gamma T_m \left(\frac{d}{dt} M(t) \right) + \gamma M(t) \\
 &= \frac{T_s p (-M(t) + M_p)}{W_r J} + 0.163
 \end{aligned}$$

Початкові умови:

> M(0):=0; D(M)(0):=0;

$$M(0) := 0$$

$$D(M)(0) := 0$$

> ### WARNING: `dsolve` has been extensively rewritten, many new result forms can occur and options are slightly different, see help page for details

dsolve(Sys, M(t), method=laplace);

Параметри асинхронної машини:

> fc:=50; Sk:=0.39; S0:=0.07; Mk:=2.2; J:=0.00047; Mp:=0.1;p:=2;

$$fc := 50$$

$$Sk := 0.39$$

$$S0 := 0.07$$

$$Mk := 2.2$$

$$J := 0.00047$$

$$Mp := 0.1$$

$$p := 2$$

Параметри моделі:

> Wc:=3.1415*fc; Tem:=1/(Wc*Sk); S:=(Wc-Wr)/(Wc);

$$Wc := 157.0756$$

$$Tem := 0.0163240653$$

$$S := 1.000000000 - 0.006366385485Wr$$

> g0:=(Sk)/(2*Mk);E:=S0/Sk;

```

g0 := 0.0886363636
E := 0.179487179;
> gamma1 := g0 * (((1 + E^2)^2) / (1 - E^2));
gamma1 := 0.0975830103;
> Te := Tem / ((1 + E^2)^2);
Te := 0.0153210118;
> Ts := Tem / ((1 - E^2)^2);
Ts := 0.0174289463;
> Wr := 157; F := 1 / (gamma1 * Wr * J + Ts * p);
Wr := 157
F := 23.7763823;
> omega := -(-Te * gamma1 * Wr * J -
Te * Ts * p + gamma1 * Tem * Wr * J) / (gamma1 * Tem * Te^2 * Wr * J);
omega := 19094.1411;
> M(t) := F * (Ts * p * Mp + S * Wr * J) * (1 - exp(-
(t/Te)) * (cos(sqrt(omega) * t) + (sin(sqrt(omega) * t)) * (1 / (Te * sqrt(omega)))));
M(t) := 0.08371717570
- 0.08371717570e^-65.26984064 t (cos(138.1815515t)
+ 0.4723484425sin(138.1815515t))
> plot(M(t), t = 0..0.15);

```

Рисунок 3.2 – Схема програми розв'язку лінеаризованої моделі АД

Розв'язки математичної моделі (3.3) для різних значень густини наведено на рис.3.3, що являють собою залежність обертового моменту від значення густини.

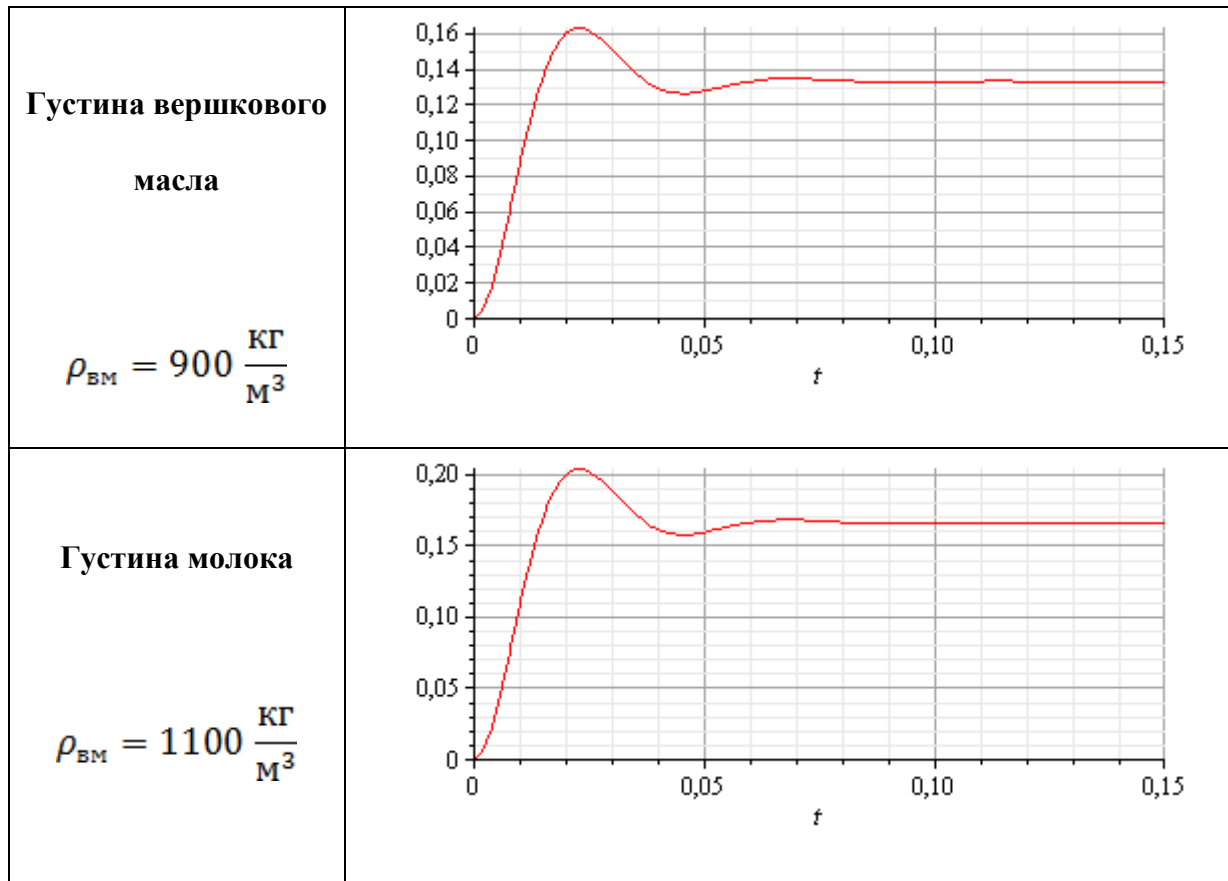


Рисунок 3.3 – Розв’язок математичної моделі (3.3)

Момент на валу АД прямо пропорційно пов’язаний з густиною молока ρ_M , яке піддають барботажу

$$M_p = k \cdot \rho_M \quad (3.4)$$

де $k = 0.00018 \text{ [м}^4\text{]}$ стала вимірювального перетворення.

Під дією обертального моменту M_p протидійна пружина закручується

$$\text{на кут } \alpha = C \cdot M_p = C \cdot k \cdot \rho, \quad (3.5)$$

де $C = 5 \frac{\text{град}}{\text{кг}\cdot\text{м}}$ - жорсткість пружини торсіонного сенсора.

В торсіонному сенсорі кут α закручування протидійної пружини перетворюється в різницю синусоїдних напруг на його виході

$$\varphi = S \cdot \sigma = S \cdot C \cdot k \cdot \sigma \quad (3.6)$$

$S = 40$ – чутливість торсіонного сенсора.

Результати моделювання обертального моменту M_p , кута закручування пружини α та різниці фаз φ наведено на рис.3.4.

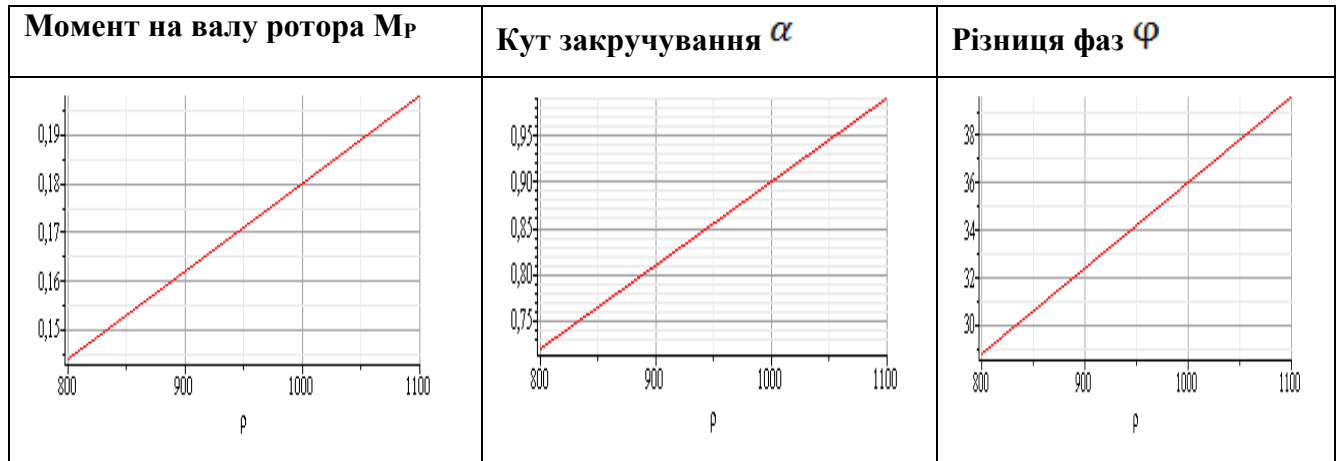


Рисунок 3.4 – Результати моделювання торсіонного сенсора

3.4 Функція перетворення пристрою керування з торсіонним сенсором

Одним із методів вимірювання різниці фаз є її перетворення в інтервал часу.

Якщо ви будете перетворювати $\varphi_x \rightarrow t_x$ в кожному періоді вимірюваної величини і квантувати цей часовий інтервал t_x імпульсами зразкової частоти f_0 , то матимемо цифровий фазометр миттєвих значень.

Принцип дії сучасних цифрових фазометрів миттєвих значень заснований на перетворенні різниці фаз φ_x двох періодичних сигналів однакової частоти в часовий інтервал t_x із наступним його квантуванням імпульсами частоти f_0 .

Структурну схему цифрового фазометра миттєвих значень наведено на рис.3.5, часові діаграми його роботи - на рис.3.6.

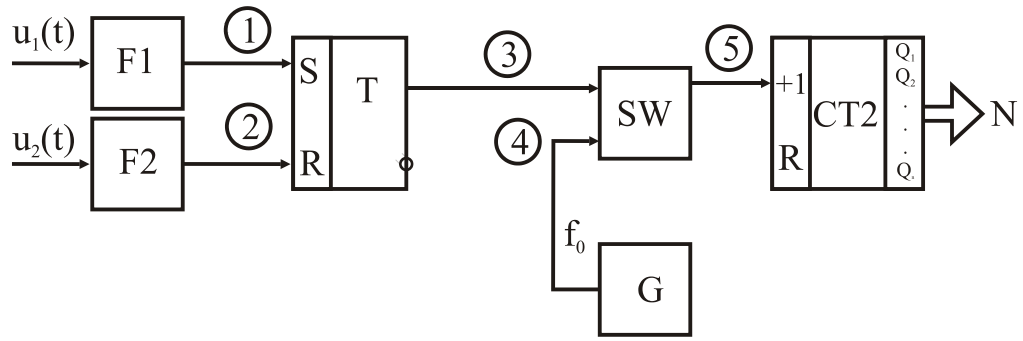


Рисунок 3.5

Основними елементами фазометра є два формувача F_1 і F_2 , RS - тригер, схема збігу SW, генератор G зразкової частоти, двійковий лічильник CT2.

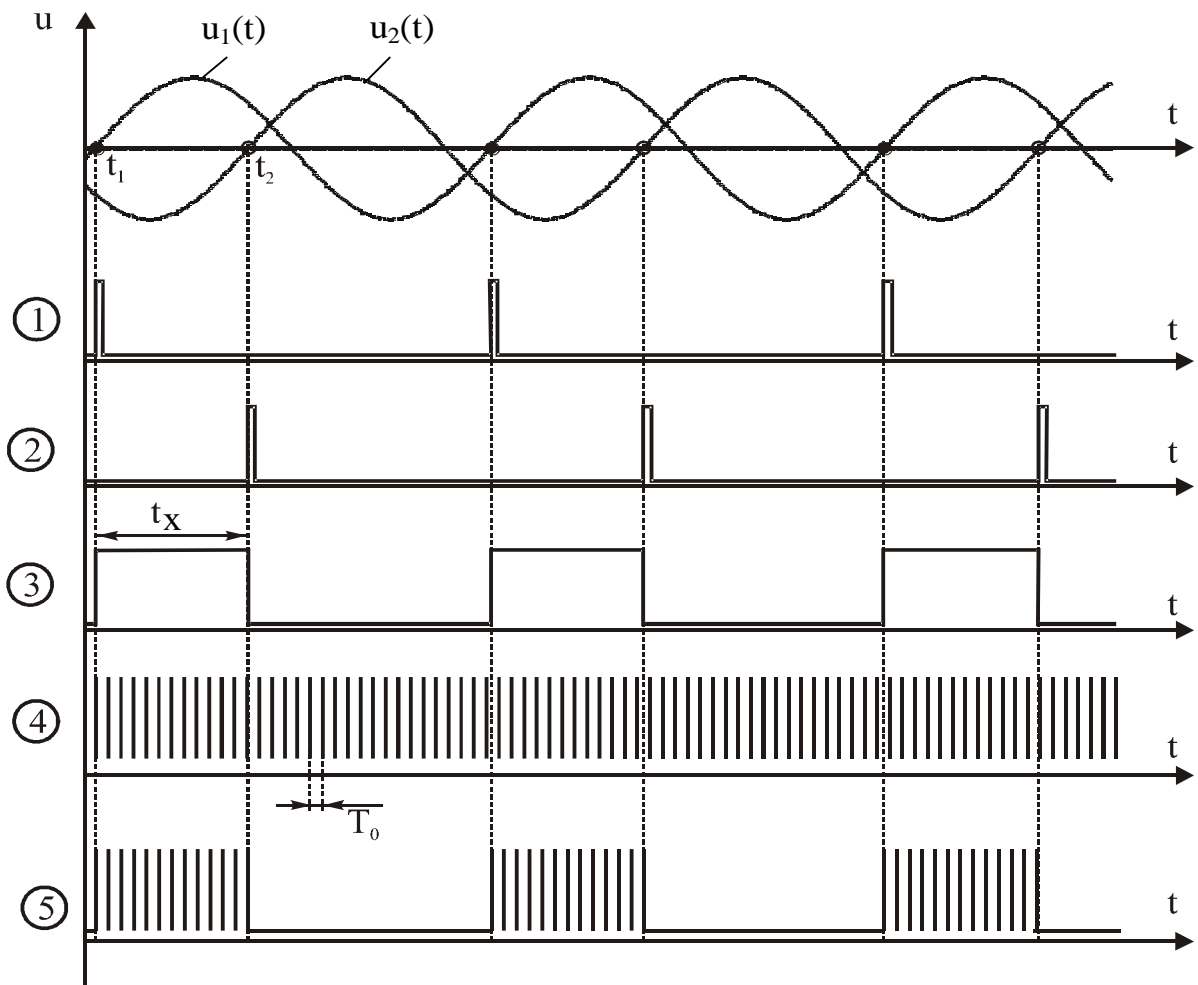


Рисунок 3.6

При перетворенні різниці фаз двох електричних сигналів $u_1(t)$ і $u_2(t)$ із частотою f_x у часовий інтервал t_x здійснюють відповідні формувачі F_1 , F_2 і RS-тригер T . Квантування часового інтервалу t_x імпульсами зразкової частоти f_0 відбувається за схемою збігу SW а процедуру ввідліку здійснює двійковий лічильник $CT2$.

Вимірювання. У момент переходу напруги $u_1(t)$ через рівень нуля на виході формувача F_1 формується короткий імпульс, що встановлює тригер T в стан логічної одиниці. Одиничним рівнем відкривається схема SW , і імпульси зразкової частоти f_0 із виходу генератора G через відкриту схему SW надходять на вхід $CT2$. У лічильнику $CT2$ відбувається підрахунок кількості імпульсів f_0 .

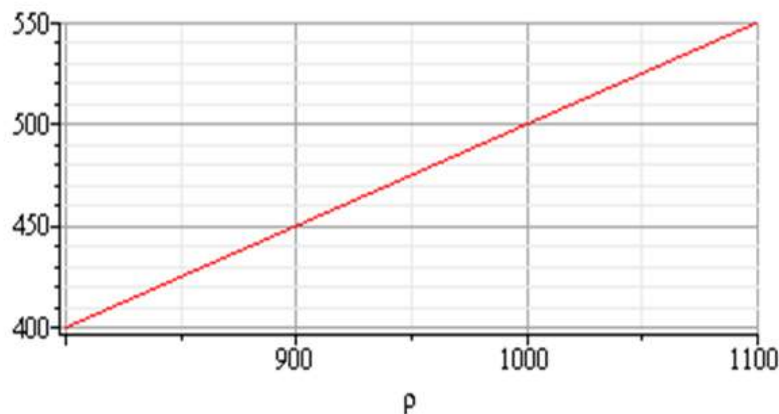


Рисунок 3.7

Такий процес відбувається доти, поки напруга $u_2(t)$ не буде досягати рівня логічного нуля. В момент переходу $u_2(t)$ через нульовий рівень на виході формувача F_2 формується короткий імпульс, що встановлює тригер T в стан логічного нуля. Нульовим рівнем закривається схема SW , і закінчується надходження імпульсів із частотою f_0 на вхід лічильника $CT2$.

Кількість імпульсів із частотою f_0 , що надійшли до лічильника $CT2$ за часовий інтервал t_x , визначається як

$$N_{\phi} = \int_{t_1}^{t_2} T_0 dt = \frac{t_x}{T_0} = t_x f_0 \quad (3.7)$$

Оскільки різниця фаз φ_x , яка вимірюється, і є різницею початкових фаз напруг $u_1(t)$ і $u_2(t)$

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \omega t_2 - \omega t_1 = \omega t_x = 2\pi f_x t_x \quad (3.8)$$

то рівняння перетворення цифрового фазометра миттєвих значень буде мати вигляд (статична характеристика наведена на рис.5.3)

$$N_\varphi = t_x f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{f_0}{f_x} \varphi_x = \frac{f_0 \varphi}{360 f_x} \quad (3.9)$$

Для отримання функції перетворення пристрою регулювання густини молока в (3.9) підставимо значення різниці фаз φ з рівняння (3.6) і матимемо

$$N_\rho = \frac{1}{360} \cdot \frac{S \cdot C \cdot k \cdot f_0}{f_x} \cdot \rho, \quad (3.10)$$

а її графічне подання наведено на рис.3.7.

Рисунок 3.7 – Результати моделювання $N_\rho = f(\rho)$.

В результаті заміни аналогової фізичної величини різниці фаз дискретною виникає похибка квантування, відносно значення якої оцінюють так

$$\delta_K = \frac{1}{N_\rho} \cdot 100\% = \frac{360 \cdot f_x}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0 \cdot \rho} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

а закон її зміни в діапазоні вимірюваної густини наведено на рис.3.8

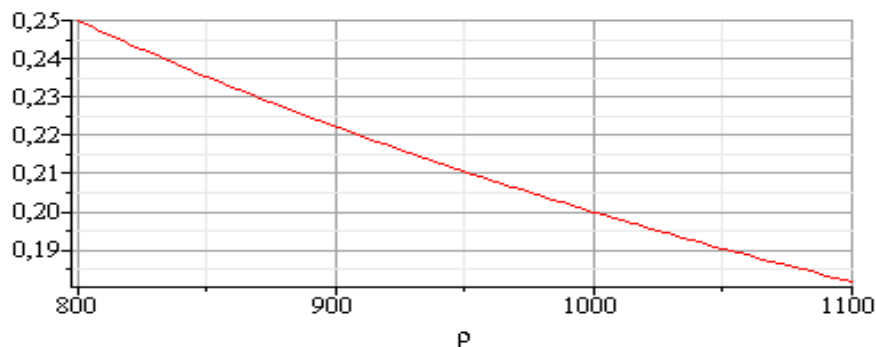


Рисунок 3.8 – Результати моделювання похибки квантування

Для оцінювання чутливості пристрою регулювання густини молока візьмемо похідну від рівняння перетворення (3.10) і отримаємо

$$S = \frac{d}{d\rho} N_{\rho} = \frac{1}{360} \cdot \frac{S \cdot C \cdot k \cdot f_0}{f_X} = \text{const.} \quad (3.12)$$

Для оцінювання чутливості пристрою регулювання густини молока візьмемо похідну від рівняння перетворення (3.10) і отримаємо

Виходячи з цього чутливість пропонованого пристрою регулювання по всьому діапазоні зміни густини є сталою величиною.

Для реалізації різних законів регулювання цифро-аналоговий перетворювач МПС перетворює двійковий код $N[00\dots11]$ в аналогову напругу керування

$$U_K = h \cdot N_{\rho},$$

де $h = \frac{U_0}{2^n}$ - крок квантування ЦАП.

Закон зміни напруги керування в діапазоні вимірюваної густини наведено на рис.3.9.

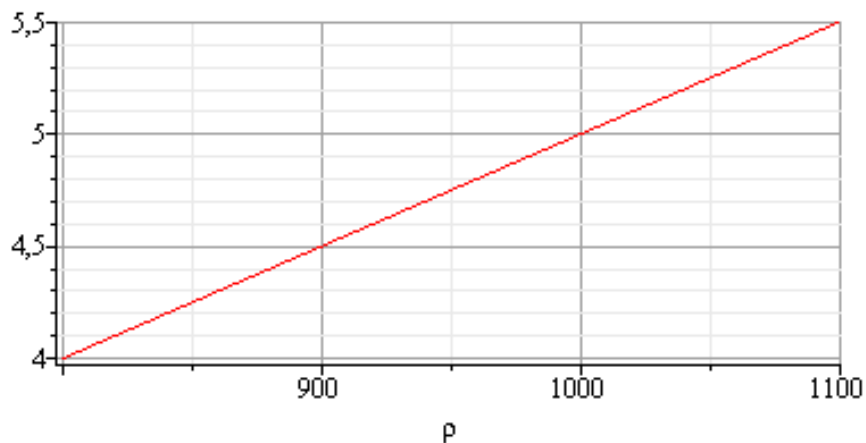


Рисунок 3.9 – Закон зміни напруги керування

Для встановлення діапазону вимірювання густини необхідно отримати аналітичні залежності для оцінювання верхньої і нижньої межі вимірювання.

Верхня межа вимірювання обмежена розрядністю n програмованого таймера мікропроцесорної системи, що здійснює процедуру лічби кількості

імпульсів квантування за часовий інтервал t_X . В якості вихідного використаємо рівняння перетворення (3.10), подавши його в такому вигляді

$$2^n = \frac{1}{360} \cdot \frac{S \cdot C \cdot k \cdot f_0}{f_X} \cdot \rho_{\max}. \quad (3.13)$$

З (3.13) отримаємо аналітичну залежність для оцінювання числового значення верхньої межі вимірювання

$$\rho_{\max} = \frac{2^n \cdot f_X \cdot 360}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0} \quad (3.14)$$

Підставивши в (3.14) відповідні числові значення отримаємо

$$\rho_{\max} = \frac{2^n \cdot f_X \cdot 360}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0} = \frac{1024 \cdot 50 \cdot 360}{40 \cdot 5 \cdot 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 25 \cdot 10^4} = 1024 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right].$$

Нижня межа вимірювання для запропонованої схеми (рис.3.1) обмежена нормованим значенням похибки квантування $\delta_K \leq \delta_{\text{КН}}$. Виходячи з цього рівняння похибки квантування подамо так

$$\delta_{\text{КН}} = \frac{360 \cdot f_X}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0 \cdot \rho_{\min}} \cdot 100\%. \quad (3.15)$$

З (3.15) отримаємо аналітичну залежність для оцінювання числового значення нижньої межі вимірювання

$$\rho_{\min} = \frac{360 \cdot f_X \cdot 100\%}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0 \cdot \delta_{\text{КН}}}. \quad (3.16)$$

За нормоване значення похибки квантування $\delta_{\text{КН}}$ візьмемо максимальне значення $\delta_{\text{Кмакс}}$. З наведених на рис.3.8 результатів моделювання отримаємо

$$\delta_{\text{КН}} = \delta_{\text{Кмакс}} \leq 0.25\%. \quad (3.17)$$

Врахувавши (3.17), отримаємо числове значення нижньої межі вимірювання

$$\rho_{\min} = \frac{360 \cdot f_X \cdot 100\%}{S \cdot C \cdot k \cdot f_0 \cdot \delta_{\text{КН}}} = \frac{360 \cdot 50 \cdot 100\%}{0.25 \cdot 40 \cdot 5 \cdot 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 25 \cdot 10^4} = 800 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \quad (3.18)$$

Порівнявши отримані числові значення діапазону вимірювання, який обмежений нижньою і верхньою межами вимірювання, можна стверджувати про їхню відповідність густині молока і густині вершкового масла.

Отже, в діапазоні зміни густини від $\rho_{\min} = 800 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ до $\rho_{\max} = 1024 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$, пропонований пристрій керування забезпечує вимірювання інформативного параметра з похибкою квантування, нормоване значення якої не перевищує $\delta_{\text{кн}} \leq 0.25\%$.

3.5 Результати експериментальних досліджень

З метою оцінювання впливу кутової швидкості привідного асинхронного двигуна на якість барботажу молока проведено експериментальні дослідження похибок вимірювання кутової швидкості. В якості зразкового засобу вимірювання використано тахометричну установку УТ-05 – 60 з діапазоном відтворення частоти обертання 10–60000 об/хв і похибкою не більшою $\pm 0,05\%$ [144–147]. Структурна схема устаткування від вимірюваного значення частоти обертання наведена на рис. 3.10.

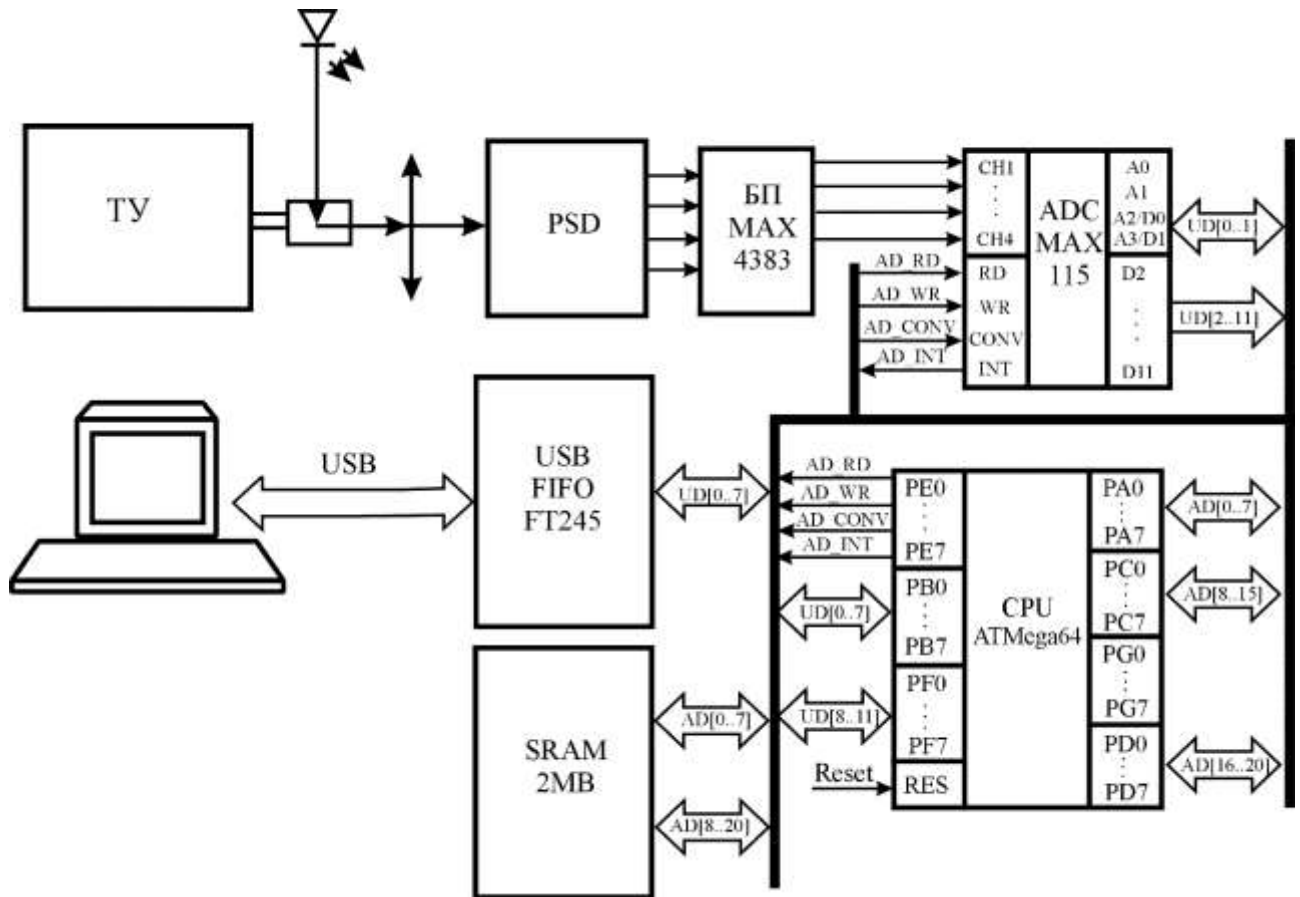


Рисунок 3.10 – Структурна схема для експериментальних досліджень частоти обертання привідного АД

Експериментальні дослідження проводились на частотах обертання 1350 об/хв, 1500 об/хв. (рис. 3.11).

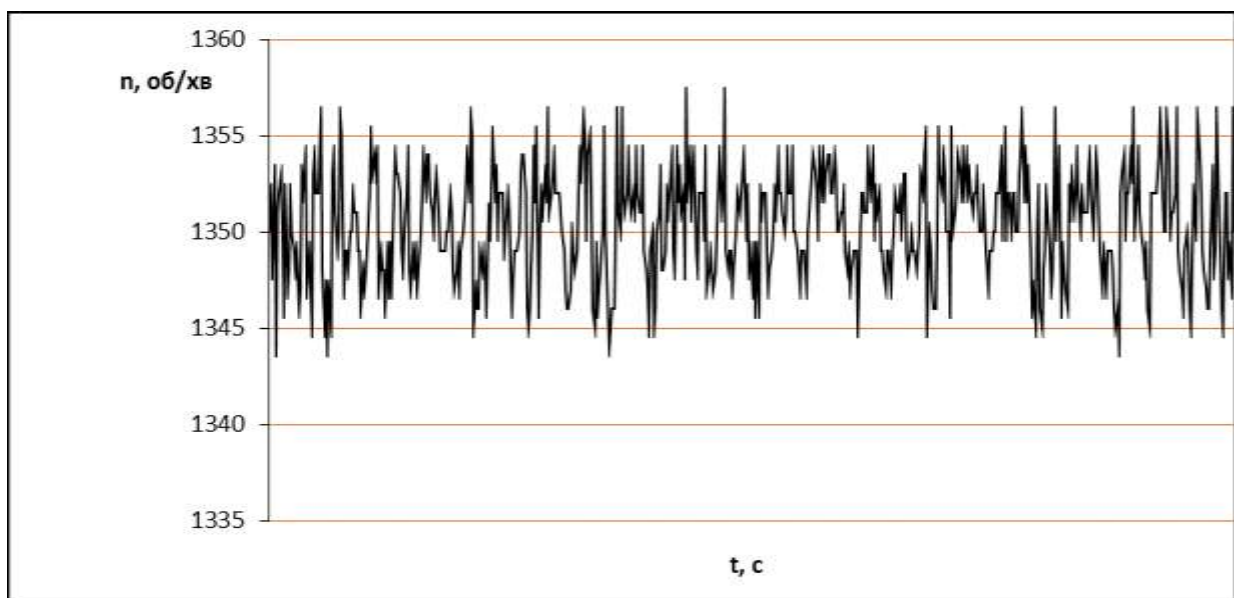


Рисунок 3.11 – Зміна частоти обертання в часі

Відносна похибка вимірювань не перевищує 0,6%. Основні статистичні характеристики [148–150] для отриманих результатів вимірювання наведені в табл. 3.1.

Експериментальні значення зміни відносної похибки вимірювань кутової швидкості в часі [153, 154] наведено на рис. 3.12.

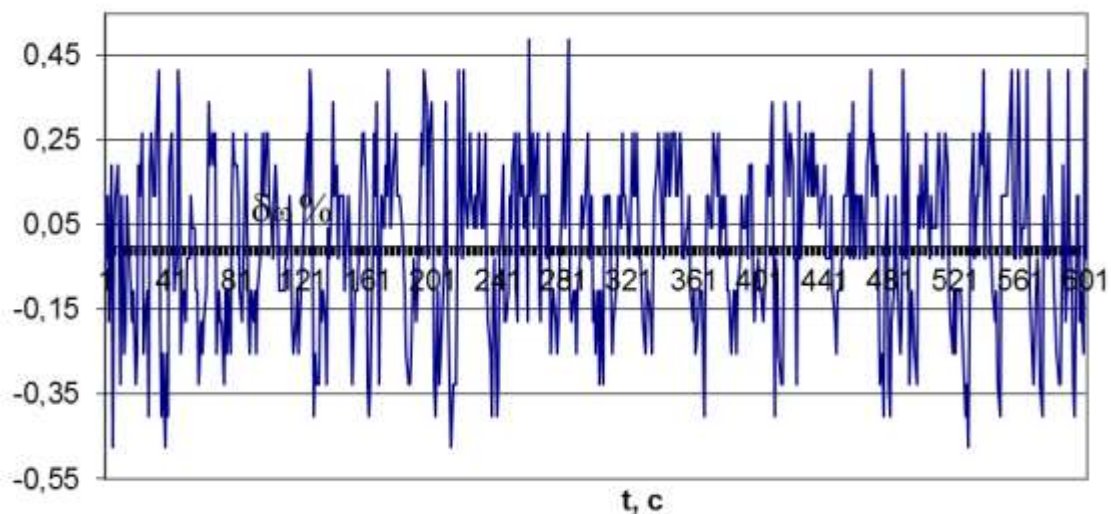


Рисунок 3.12 – Зміна відносної похибки в часі

Таблиця 3.1 – Основні статистичні характеристики частоти обертання

Найменування характеристики	n=1350 об/хв	N=1500 об/хв
Кількість значень	1000	1000
Мінімальне значення, об/хв	1342	1494
Максимальне значення, об/хв	1357	1508
Середнє арифметичне, об/хв	1350,4	1500,3
Середньоквадратичне відхилення	2,73	2,34
Довірчий інтервал, об/хв	1350,16	1500,07
	1350,65	1500,59
Chi ² -тест	S = 6,089	S = 4,8

Статистичні оцінки експериментальних даних і перевірка гіпотез щодо нормального розподілу були виконані за допомогою програми Numeri v. 2.1. Аналіз представлених результатів за допомогою Chi^2 -тесту підтверджує гіпотезу (табл. 3.1), про те що закони розподілу контрольованої величини і похибки вимірювання є нормальними з ймовірністю 97 %. Закони розподілу отримано на основі серії з 1000 вимірювань.

Аналіз експериментально отриманих законів розподілу показує, що в результатах які отримали має місце систематична складова похибка.

Тому ці закони є несиметричними.

3.6 Висновки до розділу 3:

1. Отримав подальший розвиток фазовий метод вимірювання густини молока і вершкового масла, в якому на відмінну від відомих інформативний параметр перетворюється в кут закручування протидійної пружини та кут зсуву фаз в торсіонному сенсорі, що дозволило автоматизувати і забезпечити високу точність керування технологічного процесу гомогенізації молока.

2. Вдосконалено математичну модель процесу перетворення густини молока, в яку на відмінну від відомих додаткового введено рівняння перетворення торсіонного сенсора, що дозволило підвищити точність вимірювання і як наслідок покращити якість готового продукту – вершкового масла.

3. Проаналізовано послідовність перетворень інформативного параметра густини у двійковий код з наступною його індикацією на екрані монітора мікропроцесорної системи з одночасним перетворення цифро-аналоговим перетворювачем в числові значення аналогової напруги для керування привідним асинхронним двигуном.

4. Розроблено структурну схему пристрою керування процесом барботажу молока, основними складовими якого є: привідний асинхронний двигун, протидійна пружина, торсіонний сенсор, мікропроцесорна система в

якій аналогова величини різниці фаз перетворюється у бінарний код для індикації результату вимірювання та дискретного керування асинхронним приводом з метою підвищення точності та досягнення високої якості вершкового масла.

5. Запропонований пристрій керування забезпечує вимірювання густини в діапазоні її зміни від $\rho_{\min} = 800 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ до $\rho_{\max} = 1024 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ з відносною похибкою квантування, нормоване значення якої не перевищує $\delta_{\text{кн}} \leq 0.25\%$.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Техніко-економічне обґрунтування виконується з метою вибору оптимального варіанта системи електропривода з ряду можливих, які придатні для привода даної робочої машини [19].

Техніко-економічне обґрунтування базується на використанні двох критеріїв

- технічного;
- економічного.

Обґрунтування згідно з технічним критерієм передбачає виконання порівняльного аналізу технічних характеристик кожної з систем електропривода, які можуть бути використані для привода даної робочої машини.

До переліку основних технічних характеристик відносяться:

- діапазон регульованої швидкості,
- жорсткість механічних характеристик;
- перевантажувальна здатність;
- економічність.

Приведення систем електропривода за технічним критерієм наведемо у таблиці 4.1.

Замінювати діапазон швидкості обертання можуть забезпечувати такі основні системи електричного привода: ТП-ДПС; ПЧ-АД, РКС-ФР, ТРН-АД. Коротко охарактеризуємо кожну із зазначених систем [19].

Двигуни з КЗ ротором застосовуються в електроприводі, де не вимагається регулювання частоти обертання, або в якості другого допоміжного двигуна для одержання знижених швидкостей.

Недоліком електродвигунів з КЗ ротором є великий пусковий струм,

Використовувати двигуни постійного струму і системи побудовані на їх основі є недоцільним оскільки вони мають значні масо-габаритні показники порівняно з двигунами змінного струму, а також потребують перетворення змінної напруги у постійну [19].

АД з контактними кільцями і ФР в порівнянні з КЗ ротором мають дещо більші масо-габаритні показники, більш дорогі, складніші за конструкцією, однак основна їх перевага полягає у можливості зменшення пускового струму (за допомогою реостата) при одночасному збільшенні пускового моменту [19].

Щодо системи ПЧ-АД, то вона характеризується широким діапазоном регулювання швидкості характеристики мають високу жорсткість. Сучасні перетворювачі частоти дозволяють значно підвищити ефективність технологічного процесу і реалізувати економічний алгоритм керування приводним двигуном, а також — зекономити 20 до 50% електроенергії порівняно з системами регулювання [19].

Обґрунтування згідно з економічним критерієм передбачає порівняння розглянутих варіантів систем електропривода за критерієм приведених витрат. Проведемо розрахунок приведених витрат для системи ПЧ-АД, а результати розрахунків для інших систем зведемо у таблицю 4.1 [19].

Приведені витрати:

$$Z = E_n K + C, \quad (4.1)$$

де E_n нормативний коефіцієнт економічної активності капітальних вкладень ($E_n=0,17$, 1/рік);

K — капітальних вкладення, грн;

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

$$Z=0,17 \cdot 302700+60400=1.119 \cdot 10^5 \text{ (грн/рік)}.$$

Капітальні вкладення:

$$K=D+CK, \quad (4.2)$$

де D - вартість двигуна ($d=154786$ грн);

$СК$ – вартість системи керування ($СК=147887$ грн).

$$K=154786+147887=302700 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні витрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (4.3)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 302700 = 51450 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_a + C_p + C_d + C_o, \quad (4.4)$$

де C_a – амортизаційні відрахування;

C_p – відрахування на ремонт;

C_d - додаткові відрахування;

C_o – відрахування на обслуговування;

$$C = 30270 + 6053 + 21200 + 2876 = 60400 \text{ (грн/рік)}.$$

Величина амортизаційних відрахувань:

$$C_a = 0,1 \cdot K,$$

$$C_a = 0,1 \cdot 302700 = 30270 \text{ (грн/рік)}. \quad (4.5)$$

Відрахування на ремонт електрообладнання:

$$C_p = 0,02 \cdot K,$$

$$C_p = 0,02 \cdot 302700 = 6053 \text{ (грн/рік)}. \quad (4.6)$$

Додаткові відрахування, що враховують витрати енергії в електроприводі за рік:

$$C_d = C_{d1} + C_{d2},$$

де C_{d1} - додаткові відрахування, що враховують витрати в двигуні;

C_{d2} - додаткові відрахування, що враховують витрати в системі керування.

$$C_d = 16870 + 4329 = 21200 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткові відрахування, що враховують втрати енергії в двигуні за рік:

$$C_{d1} = \Delta W_{\text{дв}} \cdot c, \quad (4.8)$$

де $\Delta W_{дв}$ – сумарні витрати енергії в двигуні;

c - витрати електроенергії ($c=2,43$ грн/кВт год);

$$C_{д1}=6943 \cdot 2.43=16870 \text{ (грн/рік)}.$$

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

$$\Delta W_{дв}=(\Delta P_{дв.н}+\Delta_{дв.пр}) \cdot K_{зв} \cdot \Phi, \quad (4.9)$$

де $\Delta P_{дв.н}$ – витрати потужності у двигуні в номінальному режимі роботи;

$\Delta_{дв.пр}$ - витрати потужності у двигуні у перехідних процесах;

$K_{зв}$ – коефіцієнт завантаження потужністю ($K_{зв}=0,8$);

Φ – дійсний фонд часу роботи електродвигуна за рік.

$$\Delta W_{дв}=(8,21+0,82) \cdot 0,8 \cdot 6943 \text{ (кВт} \cdot \text{год/рік)};$$

Витрати потужності у двигунів номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{дв.н}=P_{дв.н} \frac{1-\eta_{дв.н}}{\eta_{дв.н}} \quad (4.10)$$

де $P_{дв.н}$ – номінальна потужність приводного двигуна;

$\eta_{дв.н}$ – номінальний ККД приводного двигуна;

$$\Delta P_{дв.н}=55 \frac{1-0,87}{0,87}=8,218 \text{ (кВт/год)}.$$

Додаткові витрати потужності в двигуні в перехідних режимах:

$$\Delta P_{дв.пр}=0,1 \cdot P_{дв.н} \quad (4.11)$$

$$\Delta P_{дв.пр}=0,1 \cdot 8,21=0,82 \text{ (кВт/год)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електропривода за рік:

$$\Phi=\frac{ТВ\Phi \ \%}{100} \cdot Z_{рд} \cdot Z_{рз} \cdot t_{рз}, \quad (4.12)$$

де $Z_{рд}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{рд} = 240$ днів);

$Z_{рз}$ - кількість робочих змін ($Z_{рз} = 1$);

$t_{рз}$ – тривалість робочої зміни ($t_{рз} = 8$ год).

$$\Phi=\frac{50}{100} \cdot 240 \cdot 1 \cdot 8=960 \text{ (год/рік)}.$$

Додаткові відрахування, що враховують витрати енергії в системі за рік:

$$C_{д2}=\Delta W_{ск} \cdot c, \quad (4.13)$$

де $\Delta W_{\text{СК}}$ – сумарні витрати енергії в двигуні.

$$C_{\text{Д2}}=1781 \cdot 2,43=4329 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta W_{\text{СК}}=\Delta P_{\text{СК}} \cdot K_{\text{ЗВ}} \cdot \Phi, \quad (4.14)$$

де $\Delta P_{\text{СК}}$ – витрати потужності в системі керування.

$$\Delta W_{\text{СК}}=2,32 \cdot 0,8 \cdot 1781 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати енергії в системі керування за рік:

$$\Delta P_{\text{СК}}=P_{\text{ПП}} \frac{1-\eta_{\text{ПП}}}{\eta_{\text{ПП}}} \quad (4.15)$$

де $P_{\text{ПП}}$ – номінальна потужність перетворювального пристрою;

$\eta_{\text{ПП}}$ – ККД перетворювального пристрою.

$$\Delta P_{\text{СК}}=75 \frac{1-0,97}{0,978}=2,32 \text{ (кВт/год)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання:

$$C_o=0,05 \cdot (C_a=C_p=C_d), \quad (4.16)$$

$$C_o=0,05 \cdot (30270+6053+21200)=2876 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків

Показники	Системи електричного привода			
	РКС АД ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн.	309600	387000	154789	154789
Вартість системи керування СК, грн.	73940	118300	127900	147887
Капітальні вкладення К, грн.	383500	505300	142700	202700
Річні капітальні витрати $K_{\text{річні}}$ грн.	65200	85900	24260	51450
Амортизаційні відрахування C_a грн/рік.	38350	50530	1114270	30270

Таблиця 4.1 – продовження

Відрахування на ремонт C_p грн/рік	7670	10110	2854	6053
Додаткові відрахування C_d грн/рік	125100	28280	28960	21200
Відрахування на обслуговування C_o грн/рік	8557	4445	2291	2876
Загальні відрахування C грн/рік	17970	93350	48100	60400
Приведені витрати Z , грн/рік	244900	179300	92360	111900

Висновок: базуючись на результатах проведених розрахунків найдешевшою є система ТРН – АД, але оскільки система ПЧ – АД має кращі характеристики, і відносно невелику різницю в ціні то вибираємо саме її.

4.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору перетворювача частоти для двигуна гомогенізатора

Для установки гомогенізатора використовують асинхронні двигуни з КЗ ротором вони розраховані на тривалий номінальний режим роботи S1. Промисловим стандартом для таких механізмів є система електродвигуну ПЧ – АД. Тому проведемо техніко – економічне порівняння перетворювачів частоти різних виробників.

Перетворювач частоти (ПЧ) дозволяє плавно регулювати швидкість двигуна 5...7 в широкому діапазоні, а отримані характеристики мають високу жорсткість з високими показниками і малими витратами. За рахунок оптимізації кривих розгону гальмування, підбору швидкості обертання, необхідної для утримання розрідження в допустимих межах є можливість значної економії електроенергії.

Використовуючи критерій приведених затрат визначаємо використання якої з розгорнутих систем EN буде найбільш економічно вигідним для даного механізму.

Розраховуємо варіант електроприводу ПЧ-АД.

Визначаємо споживану потужність системи електроприводу:

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n} \quad (4.17)$$

$$\Delta p = P_1 - P_n \quad (4.18)$$

$$\Delta p = 59.793 - 55 = 4.783 \text{ (кВт)}.$$

Приймаємо тривалість роботи системи електроприводу рівною одній робочій зміні, що відповідає режиму роботи підприємства, тобто $t_{\text{год}} = 8$ год. Тривалість роботи обладнання на рік складає $t_d = 240$ днів згідно календарного плану роботи звичайного підприємства.

Тоді тривалість роботи обладнання на рік:

$$t_p = t_{\text{год}} \cdot t_d \quad (4.19)$$

$$t_p = 8 \cdot 240 = 1920 \text{ (год/рік)}.$$

Розрахуємо річну вартість витрат електроенергії в системі електроприводу, виходячи з тривалості роботи обладнання, величини витрат потужності та діючого тарифу на електроенергію.

$$\Delta W = \Delta p \cdot t_p \cdot T \quad (4.20)$$

де T – тариф на електроенергію (грудень 2023 для II класу напруги $T = 2,34$ грн/кВт год).

$$\Delta W = 4.783 \cdot 1920 \cdot 2,43 = 18370 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначаємо нормовані витрати на амортизацію (оновлення основних засобів виробництва) в сумі 15% від вартості системи електроприводу.

$$A = 0.15 \cdot (D + C) \quad (4.21)$$

де D – вартість електродвигуна ($D = 154786$ грн);

C – вартість системи керування ($C = 147887$ грн).

$$A = 0.15 \cdot (154786 + 147887) = 45400 \text{ (грн/рік)}.$$

Вартість впровадження та експлуатації системи електроприводу.

$$Z = D + C + A + E \quad (4.22)$$

де E – експлуатаційні затрати ($E = 150$ грн/рік).

$$Z = 154786 + 147887 + 45400 + 150 = 348200 \text{ (грн)}.$$

Економічну ефективність розрахуємо відносно базового варіанту максимальною річною вартістю втрат електроенергії – виходячи з таблиці 4.1 таким варіантом є система нерегульованого електроприводу, для якої $\Delta w_b = 49782$ (грн/рік). Тоді річний економічний ефект порівняно з базовим варіантом складатиме:

$$P_e = \Delta w_b - \Delta W \quad (4.23)$$

$$P_e = 49782 - 18370 = 31420 \text{ (грн/рік)}.$$

Термін окупності коштів, що затрачені на впровадження та експлуатацію системи електроприводу:

$$T_o = Z / P_e \quad (4.24)$$

$$T_0 = 348200 / 31420 = 11.08 \text{ (років).}$$

Результат розрахунків системи ПЧ-АД для ведучих брендів показано в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу.

Бренд	Siemens	Schneider	Danfoss	Mitsubishi	-
Тип перетворювача частоти	Micro - master	Altivar	VLT	FR-H	Непер
Потужність двигуна кВт.	55	55	55	55	55
ККД двигуна та системи	0,91	0,91	0,92	0,9	0,7
Спожита потужність двигуна	60,4	60,4	59,7	61,1	78,5771
Тривалість роботи, год/добу	8	8	8	8	8
Тривалість роботи, днів/рік	240	240	240	240	240
Тривалість роботи, год/рік	1920	1920	1920	1920	1920
Витрати потужності кВт	5,4	5,4	4,783	6,1	23,571
Тариф електроенергії, грн/кВт год	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
Вартість витрат електроенергії, грн/рік	20890	20890	18370	23470	58830
Вартість двигуна Д, грн	154786	154786	154786	154786	154786
Вартість ситеми С, грн	131092	148747	147887	167281	1200

Таблиця 4.2 – продовження

Нормовані затрати на амортизацію 15% (С+Д)	42880	45530	45400	48310	23400
Експлуатаційні затрати (ремонт+тех.обслуг)	150	150	150	150	150
Вартість експлуатації електроприводу, грн	328900	349200	348200	370500	179500
Базовий варіант з максимальними витратами, грн.	49782	49782	49782	49782	49782
Прибуток від зменшення втрат (пор.з базовим), грн/рік	28890	28890	31420	26320	0
Термін окупності, р	8,3	8,5	7,4	9	x

Висновки: з врахуванням техніко – економічних розрахунків, вибираємо систему електропривода перетворювач частоти бренда Danfoss VLT.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці та цивільного захисту під час монтажу та обслуговування автоматизованої системи автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що обслуговує технологічне обладнання підприємства [1, 2]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (органічний пил);

фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Живлення системи електропостачання підприємства та його системи освітлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. Для живлення використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Категорія умов по не-

безпеці електротравматизму, відповідно до ПБЕ [4, 5], залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності такого фактору як підвищена вологість рухомоведучими частинами в різних приміщеннях підприємства, їх можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії: зі зняттям напруги; без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них; без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах та поблизу них слід виконувати не менше як двом працівникам, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Роботою без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою, вважається робота, під час якої є неможливим випадкове наближення працівників і ремонтного оснащення та інструменту, що застосовуються ними, до струмопровідних частин на відстань, меншу від допустимих, проведення технічних або організаційних заходів для запобігання такому наближенню не потрібно.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно: обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик; працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі; застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викрутках, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно: тримати ізолюва-

льні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця; розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю; користуватися тільки сухими і чистими ізолювальними частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям. В разі виявленні порушень лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту, користування ними забороняється.

В процесі роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів. Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати у зігнутому стані, якщо в разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде меншою від допустимих. В процесі виконання робіт біля необгороджених струмопровідних частин забороняється розташовуватися таким чином, щоб ці частини знаходилися позаду чи з двох боків.

Роботу із застосуванням драбин виконують два працівники, один з яких перебуває знизу. Стоячи на ящиках та інших сторонніх предметах виконувати роботи забороняється.

Роботи на кінцевих опорах ПЛ, що перебувають на території відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), слід виконувати за правилами роботи на ВРП. Ремонтні працівники ліній перед тим, як зайти у ВРП, повинні бути проінструктовані і заходити до місця робіт у супроводі оперативного працівника з групою III; виходити з ВРПУ після закінчення роботи чи під час перерви працівникам дозволяється під наглядом керівника робіт.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. При наявності таких факторів

як підвищена вологість, струмопровідний пил, контакт обслуговуючого персоналу з струмоведучими частинами, - приміщення можна віднести до категорії підвищеної небезпеки.

5.1.2 Електробезпека

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні споживачів струму від мережі три-провідної з глухо-заземленою нейтраллю, при напрузі до 1000 В, використовується занулення – навмисне електричне з'єднання нормально не струмопровідних елементів устаткування із заземленим нульовим проводом. При зануленні, пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів до занулення, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

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

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

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

5.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [6] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення (таблиця 5.1).

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

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

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]: температури внутрішніх поверхонь будівельних

Серед- ньої точ- ності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	4	2,4
------------------------------	------------------------------	----	---	-------	---------	-----	-----	---	-----

5.2.3 Виробничий шум

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [9]. Нормовані значення постійного виробничого шуму наведені в таблиці 5.3.

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

Таблиця 5.3 – Рівень звукового тиску

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

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

5.2.4 Виробнича вібрація

У нашому цеху присутня вібрація типу – За [10]. Тобто технологічна вібрація, яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, транспортери, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації. Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	ДБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_0, Y_0, X_0	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші та прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

5.2.5 Фактори трудового процесу

Робота електротехнічного персоналу є достатньо складною і потребує різних навичок та характеристик працюючого, тому і впливи від робіт різні і визначаються за Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [1].

Важкість праці визначається за дод. 15 [1], звідки видно, що даний вид

робіт за показниками важкості умов праці характеризується як допустимі умови праці.

- енергозатрати організму: при регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) – до 7800;

- загальні енергозатрати організму, Вт – до 290;

- робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної);

- нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: 51-100;

Напруженість праці визначається за дод. 16 [1], робота відноситься до інтелектуальної, і має наступні характеристики:

- зміст роботи: відсутня необхідність прийняття рішення;

- сенсорні навантаження : 51-75;

- розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни: 5,0-1,1 мм більше 50% часу;

- тривалість робочого дня, год. – 8 годин;

- змінність роботи - однозмінна робота (без нічної зміни).

Дані характеристики вказуються на те, що за напруженістю робота інженера-проектувальника (цивільне будівництво), який здійснює чисельне моделювання перерозподілу зусиль між елементами кущового пальового фундаменту в залежності від кількості паль відноситься до другого класу з допустимими умовами напруженості праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.

Дослідження стійкості роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії загрозливих чинників НС

Забезпечення безпеки роботи об'єктів харчової промисловості у надзвичайних ситуаціях є важливою в мирний і в воєнний час з точки зору роботи промислового комплексу та обороноздатності держави. Для цього необхідно:

- прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС;
- розробка дієвих превентивних заходів НС.

В обладнанні системи автоматизації гомогенізатора застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали (діелектрики), провідники і різноманітні органічні сполуки. Серед цих матеріалів найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань це метали, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв. Тому для забезпечення надійної роботи об'єктів харчової промисловості необхідно забезпечувати її захист різними пристроями в залежності від виду впливів.

Відомо, що іонізуючі випромінювання викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Електромагнітний імпульс (ЕМІ) як уражаючий фактор здатний розповсюджуватись на десятки і сотні кілометрів лініями електропередачі, зв'язку та трубопроводах. Найбільш піддаються впливу електромагнітних випромінювань (ЕМІ) системи електропостачання, зв'язку, сигналізації і керування. ЕМІ ушкоджують напівпровідниковим приладам, резисторам, конденсаторам. ЕМІ представляє велику небезпеку для обладнання системи автоматизації гомогенізатора, добре захищеної від впливу інших вражаючих факторів. Тому слід пам'ятати про те, що захист апаратури від

механічних ушкоджень не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може втратити працездатність, знаходячись у надійних захисних спорудженнях [12].

5.3.1 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Максимально допустимі значення потужності дози γ -випромінювань для елементів наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Максимально допустимі потужності дози γ - випромінювання.

№	Блок	Елементи приладу	$P_{гр,i}$ (Р/год)	$P_{гр}$ (Р/год)
1	Блок живлення	Транзистори КТЗ102В	10^5	10^4
		Діоди загального призначення S1M	10^5	
2	Блок управління	Конденсатори SMD1206 Inf, 16V	10^6	
		Резистори SMD1206 0,125 - 10кОм	10^6	
3	МПК	Мікросхеми PIC16F877	10^4	
		Діелектрики GTP15	10^4	

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (табл. 5.5) межа безпеки роботи системи електропостачання складає $p_{гр} = 10^4$ (Р/год).

2. Для оцінки безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_{нос} , \quad (5.1)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{нос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{нос} = 7$),

$$P_{гр} = 0,9 \times 10^4 \times 7 = 6,3 \times 10^4 \text{ (Р/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що

безпека роботи системи електропостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 6,3 \times 10^4$ (Р/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час опромінення системи автоматизації гомогенізатора:

$$D_m = \frac{2P_{сп}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (5.2)$$

де: $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

Оскільки всі значення відомі, то допустимий час роботи системи автоматизації гомогенізатора буде таким:

$$t_d = \left(\frac{10^3 \cdot 7 + 2 \cdot 6,3 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,3} \right)^2 = 16141286(\text{год}).$$

З розрахунків можна зробити висновок, що системи автоматизації гомогенізатора в умовах впливу іонізуючих випромінювань буде безпечною не менше 5 років, а це більше часу морального старіння обладнання системи. Отже, проводити додаткові заходи щодо підвищення безпеки її роботи не потрібно.

5.3.2 Дослідження безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Початкові дані для блока живлення: $U_{ж} = 380$ (В) - напруга живлення;

$l_{г} = 1,68$ м – максимальна довжина горизонтальних струмоведучих провідників.

Плати пристроїв як правило розташовані горизонтально. Так як вертикальна складова напруженості електричного поля приблизно на три порядки більша за горизонтальну, подальші розрахунки здійснюємо з врахуванням вертикальної складової.

В якості показника безпеки виступає коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{20 \lg U_{\Delta}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (5.3)$$

де: $U_{B(\Gamma)}$ – напруга наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

$$U_{\Delta} = \frac{U_{\text{ж}} + U_{\text{ж}} n}{100}, \quad (5.4)$$

де: n – відхилення напруги живлення від її номінального значення, $n = (5...10)\%$;

$$U_{\Delta} = \frac{3 + 3 \times 5}{100} = 3,15 (B),$$

Допустима напруга наведення U_{Γ} :

$$U_B = \frac{U_{\Delta}}{\frac{40}{10^{20}}} = \frac{3,15}{100} = 0,0315 (B),$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_B}{l_B}, \quad (5.5)$$

$$E_{\Gamma} = \frac{0,0515}{1,68} = 0,031 (B / м)$$

Оціночно:

$$E_B = E_{\Gamma} \times 10^3 = 0,031 \times 10^3 (B/м),$$

Висновки:

Досліджено стійкість роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах НС, а саме в умовах дії іонізуючих випромінювань та в умовах дії ЕМІ.

Отже, оцінюючи безпеку роботи системи автоматизації гомогенізатора потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,031 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужно-

сті дози гамма- випромінювання $P_{\text{гр}} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимий максимальний час впливу на систему електропостачання іонізуючих випромінювань більше 5 років, що визначено розрахунками.

Також визначено, що основними засобами для забезпечення безпеки роботи системи автоматизації гомогенізатора в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу є:

- використання спеціальних пасивних екранів;
- використання активного захисту від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії ЕМІ, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають апаратуру і обладнання системи автоматизації гомогенізатора на період його дії, а також збільшення відстані між елементами, що знаходяться під напругою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Аналіз динамічних влас-тивостей тахометричних перетворювачів //Технічна електродинаміка. Те-матичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. Частина 1. – Ки-їв.-2000.-С.103-107.
2. V.O.Podzharenko, V.V.Kuharchuk, V.Yu.Kucheruk, M.Y.Bilynska, L.P. Voi-tovich The analysis of dynamic properties of tachometer converters.// Pro-ceeding Int. Conf. on Modelling and Simulation MS’2001.- Lviv (Ukraine).- 2001.- P. 57-62.
3. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов.-Л.: Машиностроение, 1969.-370с.
4. Кучерук В.Ю., Кухарчук В.В. Аналіз та практична реалізація мікроп-роце-сорного засобу вимірювання кутової швидкості обертання електричних машин //Вісник Вінницького політехнічного інституту.-1995.-№2.- С.12-16.
5. Alexandrovitz A. Digital simulation of induction motor represented throught spase phasors. //Conf.Elec.and Electron. Eng. Is Israel, Tel-Aviv, Apr. 7-9.- 1987.-P76-80.
6. Коробейников Б.А., Ищенко А.И., Тадессе М. Исследование пе-реходных процессов в симметричных асинхронных двигателях с помощью обобщенного вектора// Электромеханика. - 1985. - №4. - С.31-34.
7. J.Roger Folch, V.J.Lasaro Joares Modelling of induction motors in transient operation using finite element method/ Int. Conf. «Electrical Drives and Power Electronics» EDPE’96.- Proceeding volumes 1.- High Tatras (Slovakia).- P.221-226.
8. Сакая Ямамура Спирально-векторная теория электрических ма-шин

переменного тока //Электротехника. – 1996. - №10. - С.7-15.

9. M.Mena, O.Touhami, M.Benhaddadi, R.Ibtiouen Analysis of induction motor by a spiral vector theory// Second Int. Scientific Conf. «Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems» UEES'96.- Proceeding volumes 2.- 1996.- Szczecin (Poland).- P.527-532.

10. Моделювання електромеханічних систем: Підручник. / Укл.: О.П. Чорний, А.В.Луговой, Д.Й.Родькін, Г.Ю.Сисюк, А.В.Садовой. - Кремен-чук, 2001.-376с.

11. R.Fiser, S.Ferkolj Dynamic analysis of Induction Motor with rotor faults. /Int. Conf. «Electrical Drives and Power Electronics» EDPE'96.- Proceeding volumes 1.- High Tatras (Slovakia).- P.106-111.

12. Чабан В.И. Методы анализа электромеханических систем. -Львов: Выща школа. -1985. -191с.

13 Чабан В.И. Основы теории переходных процессов электромашин-ных систем. - Львов: Выща школа. -1986. -200с.

14. Чабан В.И. Уравнение исполнительного асинхронного двигателя с полым ферромагнитным ротором //Техническая электродинамика.-1987. №6. - С.71-75.

15. Чабан В.Й. Методи нелінійної електротехніки.- Львів: Світ. -1990. - 167с.

16. Кучерук В.Ю. Огляд методів математичного моделювання електричних машин //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.-1999.-№2.- С.17-23.

17. Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами: Пер. с. англ. - М.: Энергоатомиздат, 1989.-184с.

18. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073.

19. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

20. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

21. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

22. НПАОП 40.1-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01). Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Чинний від 2002-01-01]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

23. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

24. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

25. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

26. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01].

URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

27. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Постанова МОЗ № 39 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

28. Кодекс цивільного захисту України. К.: ВР України, 2012. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

29. Сакевич В. О. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломатичних проектах. Навч. Посбник. Вінниця: ВДТУ, 2001. 109 с.

Додаток А
(обов'язковий)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ


ПОГОДЖЕНО
Заст. Декана ФЕЕМ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ТА
МЕХАНІКИ
К.Т.Н., доц.
Віра ТЕГІЯ
« 24 » 03 2023р.

ЗАТВЕРДЖЕНО
В. о. зав. кафедри КЕМСК
К.Т.Н., доц.
Микола МОШНОРІЗ
« 24 » 03 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛО-
ГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА**

Науковий керівник:

д.т.н., проф. Василь КУХАРЧУК


(підпис)

« 24 » 03 2023 р.

Виконавець: студент гр. ЕПА - 21мз

Віктор ЖЕРЕБКОВ



(підпис)

« 24 » 03 2023 р.

Вінниця ВНТУ 2023 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № _____ від _____р.

Дата початку роботи _____р.

Дата закінчення роботи _____р.

2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) Метою роботи є модернізація існуючого процесу гомогенізації в молочно переробній промисловості за рахунок підвищення точності ротаційного віскозиметра шляхом застосування в ньому фазочастотного методу для реєстрації крутних моментів.

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) вихідні дані для виконання МКР:

відомості про конструкцію та режими роботи різних видів гомогенізаторів; відомості про види та вибір електроприводу; відомості про методи і засоби автоматизації промислового устаткування.

3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г.Л. Лисенко, А.Г. Буда, Р.Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с,

3.2 Alexandrovitz A. Digital simulation of induction motor represented through space phasors. //Conf.Elec.and Electron. Eng. Is Israel, Tel-Aviv, Apr. 7-9.- 1987.-P76-80.

3.3 Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В. Аналіз динамічних властивостей тахометричних перетворювачів //Технічна електродина-

міка. Те-матичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”. Частина 1. – Київ.-2000.-С.103-107.

4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	Початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження		
4.2 Проведення дослідних розрахунків		
4.3 Розробка робочих креслень		
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи		

5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

В разі використання приладу зменшується навантаження на електропривод та споживання електричної енергії.

Не передбачається

Додаток А
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ
(КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ**

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Автоматизована система регулювання технологічного процесу гомогенізації молока

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21мз

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кухарчук В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібностіUnicheck

Оригінальність	%
Схожість	%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____

Паянок О.А.

(підпис) (прізвище,

ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck що до роботи.

Автор роботи _____

Жеребков В.В.

(підпис)(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____

Кухарчук В.В.

(підпис)(прізвище, ініціали)

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

***«Система автоматизації
технологічного процесу
гомогенізації молока»***

Виконав: студент 2 курсу групи ЕПА 21 мз

спеціальності 141 – електромеханічні системи авто-

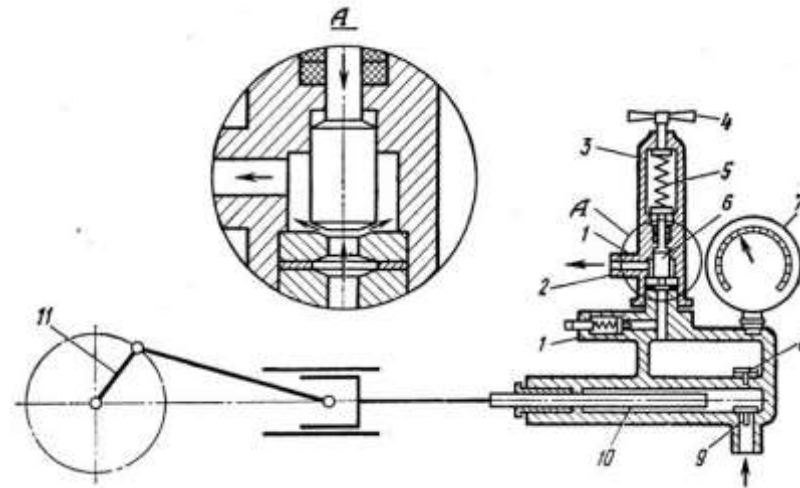
матизації та електропривод Жеребков В.В.

Актуалізація

- ▶ У сучасних технологічних процесах виробництва молочної продукції одним із нормативних є гомогенізація. Гомогенізацію використовують як для оброблення сировини для молочної промисловості (незбираного або знежиреного молока та вершків), яку планується направити на подальше оброблення, так і для оброблення кінцевого молочного продукту.
- ▶ Приладобудівна промисловість в області розробки засобів контролю реологічних характеристик речовин інтенсивно розвивається. Створені сучасні методи та засоби дослідження реологічних характеристик, але кожен із них притаманний певній групі речовин.
- ▶ Під час контролю реологічних характеристик за допомогою ротаційного віскозиметра користуються таким відомим способом, як використання торсіонів з низькою жорсткістю, оскільки при цьому легко визначити найменші зміни реологічних характеристик рідини.

Гомогенізатор клапанного типу

- ▶ Найбільш розповсюдженими на виробництві залишаються клапанні (щілинні) гомогенізатори.



- ▶ Рис. 1.1 – Схема гомогенізатора клапанного типу

- ▶ 1 - запобіжний клапан; 2 - вихідний патрубок; 3 - корпус; 4 - гвинт; 5 - пружина; бклапан гомогенізуючої головки; 7- манометр; 8- нагнітальний клапан; 9 всмокту-ючий клапан; 10 - плунжер; 11 - привідний механізм.

Переваги та недоліки гомогенізаторів клапанного типу

► *Переваги клапанних гомогенізаторів:*

- висока ступінь гомогенізації,
- широка освоєність та масовий промисловий випуск.

► *Недоліки клапанних гомогенізаторів:*

- висока вартість,
- дуже низький технологічний коефіцієнт корисної дії (0,0018%),
- дуже високі питомі витрати енергії (6,5 – 7,6 кВт/г),
- металомісткість та габаритні розміри,
- складна конструкція.

Мета і завдання дослідження.

- **Метою роботи** Метою роботи є автоматизація технологічного процесу гомогенізації мо-лока для підвищення його якості за рахунок зменшення похибки вимірю-вання густини, яка є інформативним параметром кола зворотного зв'язку привідного двигуна. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі:
1. Розробити метод та фазовий засіб вимірювання густини молока ротацій-ним віскозиметром;
 2. Розробити математичну модель вимірювального перетворення густини в двійковий код для його індикації та керування привідним двигуном;
 3. Розробити структурні та функціональні схеми засобу керування привідним двигуном з підвищеною точністю за рахунок вимірювання густини фазо-вим методом;
 4. Розробити методику експериментальних досліджень та інженерну методи-ку проектування фазочастотного перетворювача .

Наукова новизна одержаних результатів. ►

Отримав подальший розвиток фазовий метод вимірювання густини молока, в якому на відмінну від відомих інформативний параметр густина перетворюється в кут закручування протидійної пружини та кут зсуву фаз в торсіонному сенсорі, що дозволило автоматизувати і забезпечити високу точність керування технологічного процесу гомогенізації молока.

Аналіз двигунів

- ▶ **Електричний двигун (електродвигун)** є пристроєм для перетворення електричної енергії на механічну та приведення до руху машин і механізмів. Він є головним і обов'язковим (але не єдиним) елементом електроприводу.
- ▶ Переважна більшість електричних двигунів є двигунами обертового руху Вони складаються з нерухомої частини (статора) та рухомої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна.
- ▶ Залежно від роду електричного струму, що використовують для живлення електричних двигунів, розрізняють двигуни постійного та змінного струму.

Синхронний двигун

- ▶ Принцип дії синхронного двигуна приблизно такий же, як і у асинхронного. Але є декілька відмінностей, які мають ключове значення при виборі двигуна для тієї або іншої конструкції. В промисловості одержали широке поширення асинхронні машини – їх частка досягає 96% від загальної кількості електричних двигунів.

Головна відмінність синхронної машини полягає в тому, що швидкість обертання якоря така ж, як і аналогічна характеристика магнітного потоку. І якщо в асинхронних двигунах використовується короткозамкнений ротор, то в синхронних мається на ньому дротяна обмотка, до якої підводиться змінна напруга.

Пристрій і принцип дії синхронних двигунів нескладні. Конструкція включає в себе такі елементи, як:

Нерухома частина – статор. На ній знаходиться три обмотки, які з'єднуються за схемою «зірка» або «трикутник». Статор зібраний з пластин електротехнічної сталі з високим ступенем провідності.

Рухома частина – ротор. На ньому теж є обмотка. При роботі на неї подається напруга.

Між ротором і статором є прошарок повітря. Вона забезпечує нормальне функціонування двигуна і дозволяє магнітному полю безперешкодно впливати на елементи агрегату. У конструкції присутні підшипники, в яких обертається ротор, а також клемна коробка, розташована у верхній частині двигуна.

Основна перевага (якщо порівнювати з асинхронними машинами) – за рахунок незалежного живлення роторної обмотки агрегати можуть працювати і при високому коефіцієнті потужності. Також можна виділити такі переваги, як:

- Знижується струм, що споживається електродвигуном, збільшується ККД. Якщо порівнювати з асинхронним двигуном, то ці характеристики синхронної машини виявляються краще.

Асинхронний двигун

- ▶ **Асинхронний двигун** - це простий і надійний пристрій, здатний перетворити електричну енергію на механічну. Інтерес розробників різного обладнання та апаратури до цього пристрою постійно зростає, тому ми розглянемо не тільки що таке асинхронний двигун, але і як він працює, з чого складається і які переваги має.

Асинхронний - той, у якого в роботі відсутня синхронність, у якого при старті статична і рухлива частини при обертанні мають різну частоту магнітного потоку. Цей показник рухомого елемента менший, ніж нерухомого.

Конструкція пристрою досить проста. Основні частини асинхронного двигуна такі:

Статор має форму циліндра. Він збирається із листів сталі. У його осерді є пази, зміщені один до одного на 120° . В них укладається обмотка.

Ротор. Буває короткозамкненим або фазним. У першому випадку ротором служить осердя, в якому стрижні з алюмінію закорочені торцевими ущільнювачами. Фазний ротор складається із 3-ох фазної обмотки. Пристрій із фазним ротором завжди трифазний, а з короткозамкненим ротором виділяють 3 види асинхронних двигунів – одно-, дво- та трифазні.

Головними достоїнствами асинхронних двигунів є простота їх конструкції та легкість використання. Також пристрій характеризує:

Надійність та довговічність. Через безконтактну взаємодію між основними деталями пристрою вони рідко ламаються і не зношуються.

Математична модель двигуна постійного струму

- ▶ Встановлено, що для практичної прикладної задачі автоматизації техноло-гічного процесу гомогенізації молока, де перехідні процеси суттєво не впливають на точність розрахунків, доцільним є використання лінеаризованих динамічних характеристик асинхронного двигуна у вигляді диференційного рівняння друго-го порядку. Аналіз перехідних режимів АД показав, що розрахунки, виконані з використанням цієї моделі, дають задовільні за точністю результати в діапазоні сковзань [200]. Саме в цьому діапазоні здійснюється процедура барботажу (перемішування) молока для отримання необхідної густини вершкового масла.

Головними перевагами асинхронного приводу є простота їх конструкції та легкість використання.

Вони також є:

Надійними та довговічними. Через безконтактну взаємодію між основними деталями пристрою вони рідко ламаються і не зношуються;

Доступна ціна. Проста конструкція та недорога сировина для виробництва електродвигунів забезпечує низьку вартість обладнання;

Простий принцип використання. Для роботи з асинхронним двигуном не потрібно мати спеціальні навички; Універсальність. Електродвигун асинхронного типу встановлюється практично у будь-яке обладнання.

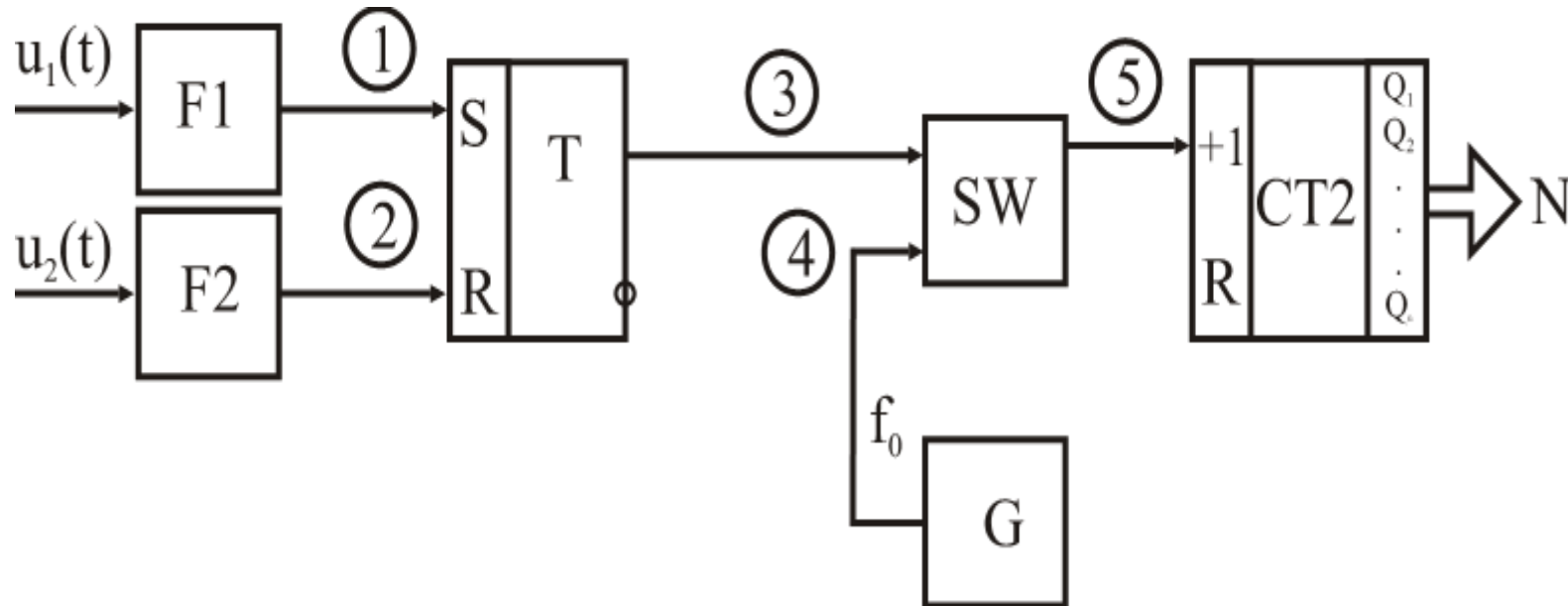
Ці переваги пояснюють необхідність їхнього вибору для подальшого за-стосування в якості асинхронного приводу для перемішування молока та отримання необхідної густини вершкового масла.

Сутність фазового методу регулювання густини

- ▶ Пропонується такий метод регулювання. До ротора привідного асинхронного двигуна через пружну муфту під'єднується виконавчий механізм для здійснення барботажу – починаючи з густини молока ρ_m і завершуючи процес барботажу при досягненні густини вершкового масла ρ_{vm} . В залежності від значення густини ρ_m на валу АД створюється відповідний обертальний момент M_P . Під дією обертального моменту M_P протидійна пружина закручується на кут α , який торсіонний сенсор перетворює у відповідне значення різниці фаз φ . Значення різниці фаз φ в мікропроцесорній системі МПС перетворюється в двійковий код $N[00..11]$, який відтворюється у вигляді числового значення густини на моніторі НЛ з одночасним його перетворенням цифро-аналоговим перетворювачем ЦАП в значення напруги U_K для керування асинхронним двигуном АД.

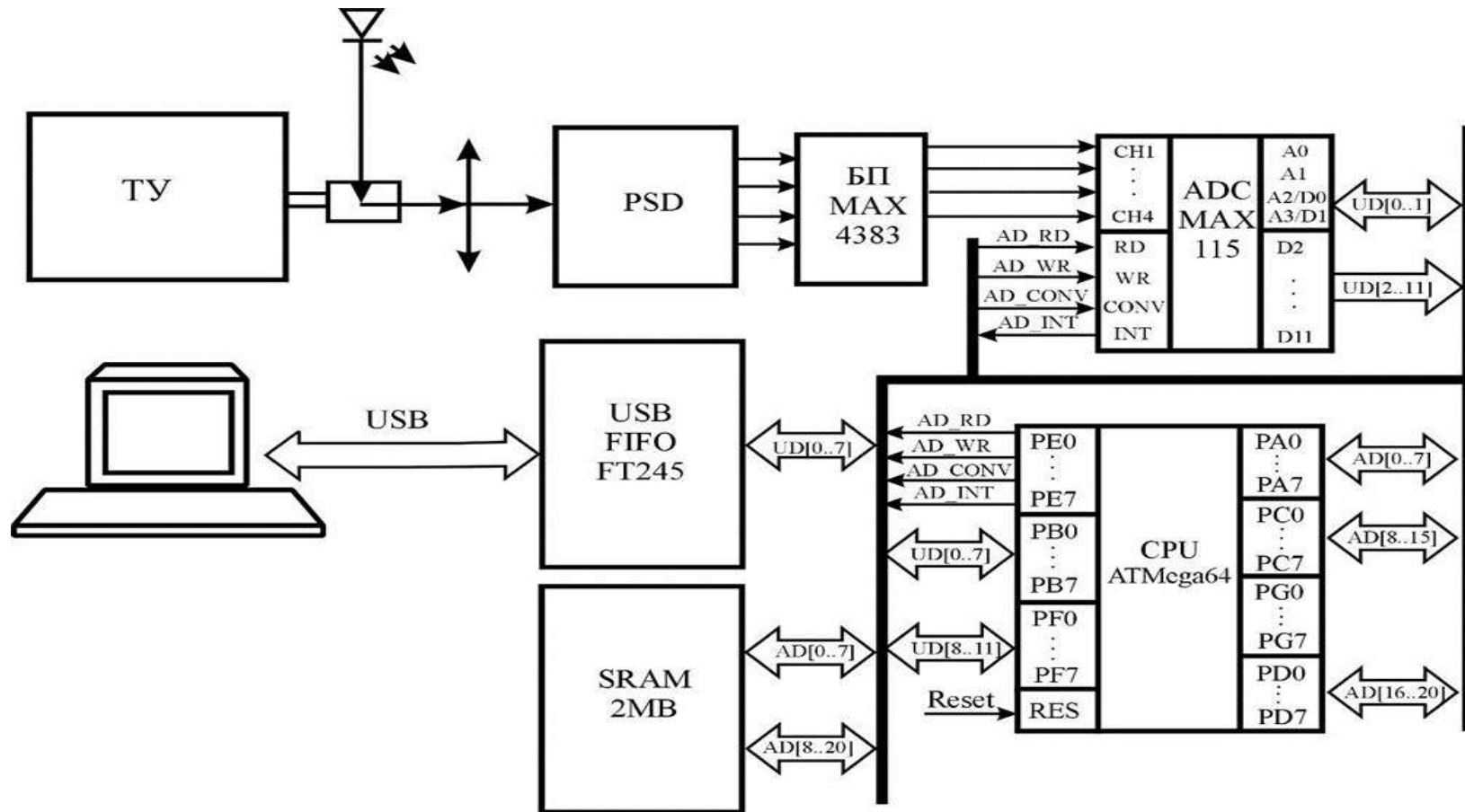
Функція перетворення пристрою керування з торсіонним сенсором

- Структурна схема цифрового фазометра миттєвих значень.



*Структурна схема для експериментальних досліджень частоти обертання
привідного АД*

*Експериментальні дослідження проводились на частотах обертання
1350 об/хв, 1500 об/хв.*



Висновки

Отримав подальший розвиток фазовий метод вимірювання густини молока і вершкового масла, в якому на відмінну від відомих інформативний параметр перетворюється в кут закручування протидійної пружини та кут зсуву фаз в торсіонному сенсорі, що дозволило автоматизувати і забезпечити високу точність керування технологічного процесу гомогенізації молока.

Вдосконалено математичну модель процесу перетворення густини молока, в яку на відмінну від відомих додаткового введено рівняння перетворення торсіонного сенсора, що дозволило підвищити точність вимірювання і як наслідок покращити якість готового продукту – вершкового масла.

Розроблено структурну схему пристрою керування процесом барботажу молока, основними складовими якого є: привідний асинхронний двигун, протидійна пружина, торсіонний сенсор, мікропроцесорна система в якій аналогова величини різниці фаз перетворюється у бінарний код для індикації результату вимірювання та дискретного керування асинхронним приводом з метою підвищення точності та досягнення високої якості вершкового масла.

Запропонований пристрій керування забезпечує вимірювання густини в діапазоні її зміни від $\rho_{\min}=800$ [кг/м³] до $\rho_{\max}=1024$ [кг/м³] з відносною похибкою квантування, нормоване значення якої не перевищує $\delta_{\text{КН}} \leq 0.25\%$.

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока»	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
Рецензент					Аркуш		Аркушів	
Норм.кон.					Гр. ЕПА – 21 мз			
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Актуалізація	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірів								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Гомогенізатор клапанного типу	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мЗ			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Переваги та недоліки гомогенізаторів клапанного типу	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
Рецензент					Аркуш		Аркушів	
Норм.кон.					Гр. ЕПА – 21 мЗ			
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Мета і завдання дослідження	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Наукова новизна одержаних результатів	Ліг.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Аналіз двигунів	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						Гр. ЕПА – 21 мз		
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Синхронний двигун	Літ.		Маса	Масштаб
Розробив:									
Перевірив									
Т. контр.									
						Аркуш		Аркушів	
Рецензент						Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.									
Затверд.									

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Асинхронний двигун	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						Гр. ЕПА – 21 мз		
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000				
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Математична модель двигуна постійного струму	Літ.		Маса	Масштаб
Розробив:									
Перевірив									
Т. контр.									
Рецензент						Аркуш		Аркушів	
Норм.кон.						Гр. ЕПА – 21 мз			
Затверд.									

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Сутність фазового методу регулювання густини	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Функція перетворення пристрою керування з торсіонним сенсором	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						Гр. ЕПА – 21 мз		
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Структурна схема для експериментальних досліджень частоти обертання привідного АД Експериментальні дослідження проводились на частотах обертання 1350 об/хв, 1500 об/хв.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.								
Затверд.								

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	«Система автоматизації технологічного процесу гомогенізації молока» Висновки	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:								
Перевірив								
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						Гр. ЕПА – 21 мз		
Норм.кон.								
Затверд.								

Додаток В

Результати моделювання лінеаризованої моделі
асинхронної машини привідного двигуна

Спрощена модель:

. Вихідне рівняння:

> Sys1 := (Tem*diff(M(t), t) + M(t)) * Y0 - S1 = 0;

$$\left(Tem \left(\frac{d}{dt} M(t) \right) + M(t) \right) Y0 - S1 = 0$$

Початкові умови:

> M(0) := 0; D(M)(0) := 0;

0

0

> ### WARNING: `dsolve` has been extensively rewritten, many new result forms can occur and options are slightly different, see help page for details
simplify(dsolve(Sys1, M(t), method=laplace));

$$M(t) = -\frac{S1 \left(-1 + e^{-\frac{t}{Tem}} \right)}{Y0}$$

Параметри асинхронної машини:

> fc := 50; Sk := 0.39; Mk := 1; S := 0.163;

50

0.39

1

0.163

> Wc := (2*3.14*fc) / 2; Tem := 1 / (Wc*Sk);

157.0000000

0.0163318634

> Y0 := Sk / (2*Mk);

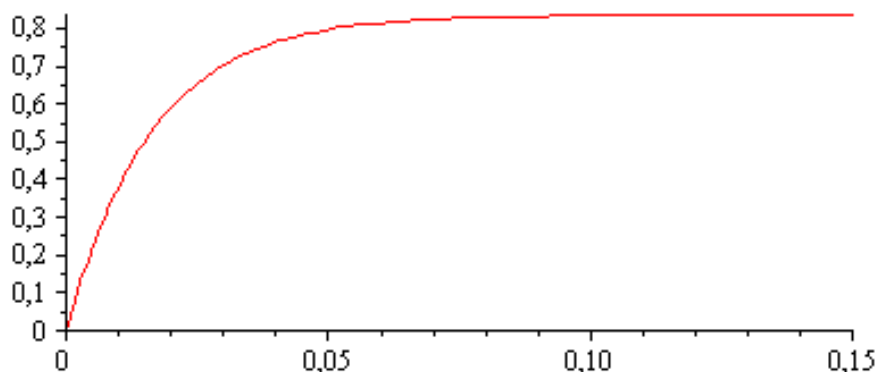
0.195000000

Електромагнітний момент:

```
> Me := -(S/Y0) * (-1 + exp(-(t/Tem))) ;
```

0.8358974359 - 0.8358974359e^{-61.22999998 t}

```
> plot(Me, t=0..0.15) ;
```



Уточнена модель АД:

Вихідне рівняння:

```
>
```

```
Sys := (gamma*Tm*Te*diff(M(t), t$2) + 2*gamma*Tm*diff(M(t), t) + gamma*M(t) = ((Ts*p) / (Wr*J)) * (-M(t) + Mp) + S) ;
```

$$\gamma T_m T_e \left(\frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} M(t) \right) \right) + 2 \gamma T_m \left(\frac{d}{dt} M(t) \right) + \gamma M(t) = \frac{T_s p (-M(t) + M_p)}{W_r J} + S$$

Початкові умови:

```
> M(0) := 0; D(M)(0) := 0;
```

0

0

```
> ### WARNING: `dsolve` has been extensively rewritten, many new result forms can occur and options are slightly different, see help page for details
dsolve(Sys, M(t), method=laplace);
```

Параметри асинхронної машини:

```
> fc:=50; Sk:=0.39; S0:=0.07; Mk:=2.2; J:=0.00047;
Mp:=0.2;p:=2;
```

```
50
```

```
0.39
```

```
0.07
```

```
2.2
```

```
0.00047
```

```
0.2
```

```
2
```

Параметри моделі:

```
> Wc:=3.1415*fc; Tem:=1/(Wc*Sk); S:=(Wc-Wr)/(Wc);
```

```
157.0750
```

```
0.0163240653
```

```
0.000477478911
```

```
> g0:=(Sk)/(2*Mk); E:=S0/Sk;
```

```
0.0886363636
```

```
0.179487179
```

```
> gamma1:=g0*((1+E^2)^2)/(1-E^2);
```

```
0.0975830103
```

```
> Te:=Tem/((1+E^2)^2);
```

```
0.0153210118
```

```
> Ts:=Tem/((1-E^2)^2);
```

```
0.0174289463
```

```
> Wr:=157; F:=1/(gamma1*Wr*J+Ts*p);
```

```
157
```

```
23.7763823
```

```
> omega:=-(-Te*gamma1*Wr*J-
```

```
Te*T_s*p+gamma1*Tem*Wr*J)/(gamma1*Tem*Te^2*Wr*J);
```

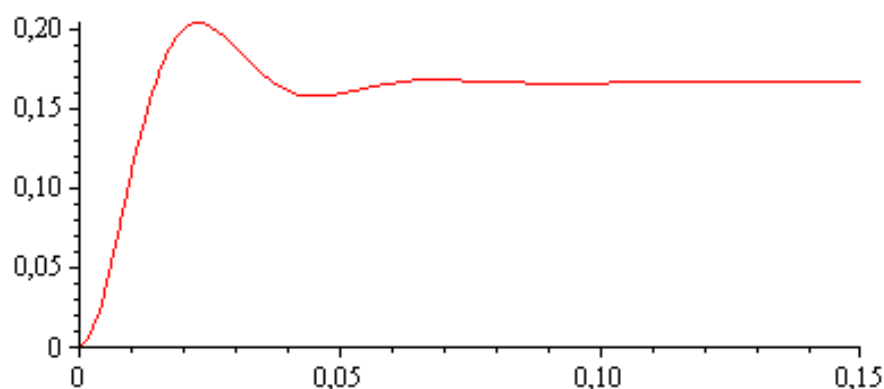
```
19094.1411
```

Електромагнітний момент:

```
> M(t) := F * (Ts * p * Mp + S * Wr * J) * (1 - exp(-
(t/Te)) * (cos(sqrt(omega) * t) + sin(sqrt(omega) * t)) * (1 / (Te
* sqrt(omega)))));
```

$$0.1665966342 - 0.1665966342e^{-65.26984064 t} (\cos(138.1815515t) + 0.4723484425 \sin(138.1815515t))$$

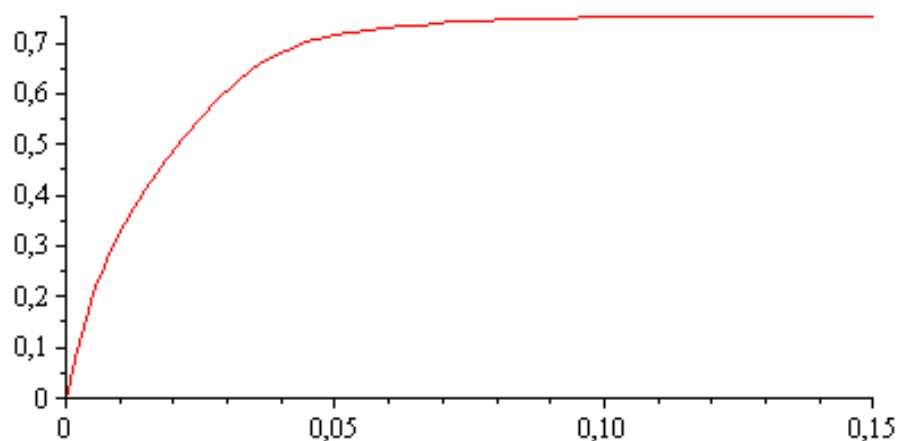
```
> plot(M(t), t=0..0.15);
```



```
> e := Me - M(t);
```

$$0.7521802602 - 0.8358974359e^{-61.22999998 t} + 0.08371717570e^{-65.26984064 t} (\cos(138.1815515t) + 0.4723484425 \sin(138.1815515t))$$

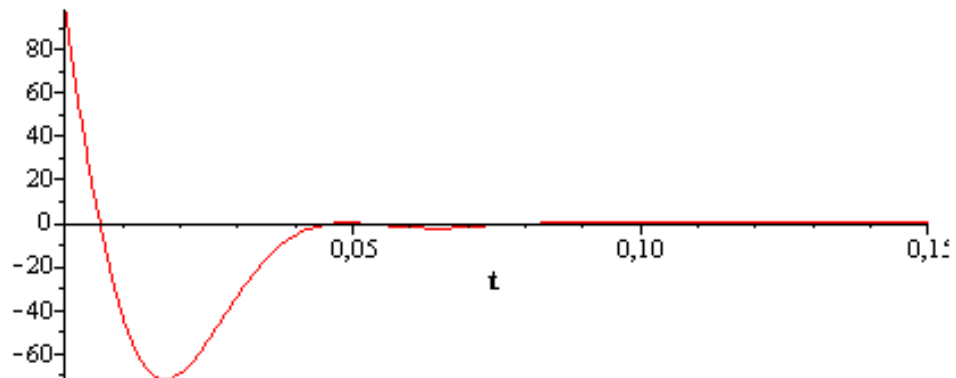
```
> plot(e, t=0..0.15);
```



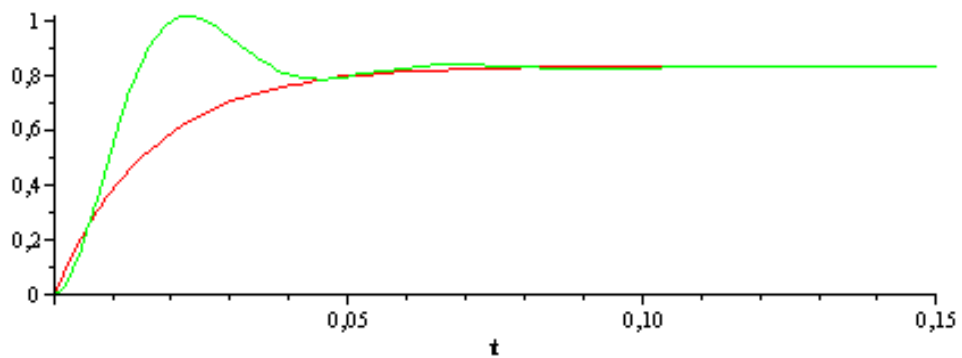
```
> e1 := (e * 100) / (Me);
```

```
e1 := (100 (0.0062651340896534864400
- 0.8358974358974358974359^-61.229999999999999999 t
+ 0.8296323018077824109959^-65.26984060756250105355 t
(cos(138.1815515190905524917)
+ 0.4723484422487839002333sin(138.1815515190905524917)))
)/(0.8358974358974358974359
- 0.8358974358974358974359^-61.229999999999999999 t)
```

```
> plot(e1, t=0..0.15);
```



```
> plot([Me, M(t)], t=0..0.15);
```



Додаток Г

Результати моделювання пристрою вимірювання і керування

$$> M_p := k \cdot \rho;$$

$$M_p := k \rho$$

$$> \alpha := C \cdot M_p;$$

$$\alpha := C k \rho$$

$$> \varphi := S \cdot \alpha;$$

$$\varphi := S C k \rho$$

$$> N := \frac{\varphi \cdot f_0}{360 \cdot f_X};$$

$$N := \frac{1}{360} \frac{S C k \rho f_0}{f_X}$$

> **Параметри вимірювального перетворювача :**

$$> k := 0.00018;$$

$$k := 0.00018$$

$$> C := 5;$$

$$C := 5$$

$$> S := 40;$$

$$S := 40$$

$$> f_X := 50;$$

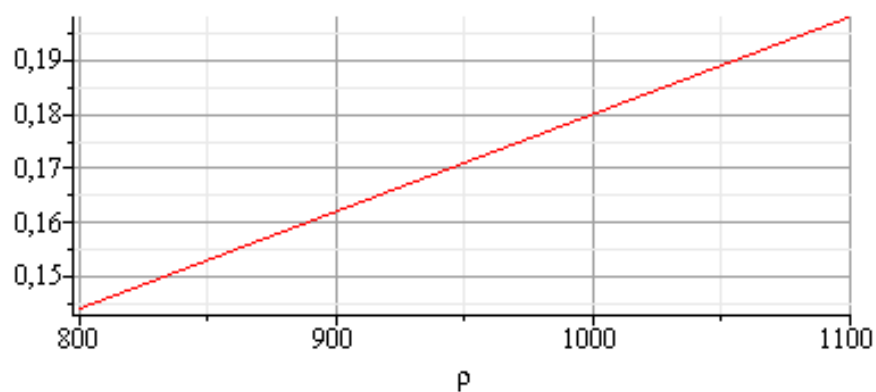
$$f_X := 50$$

$$> f_0 := 250000;$$

$$f_0 := 250000$$

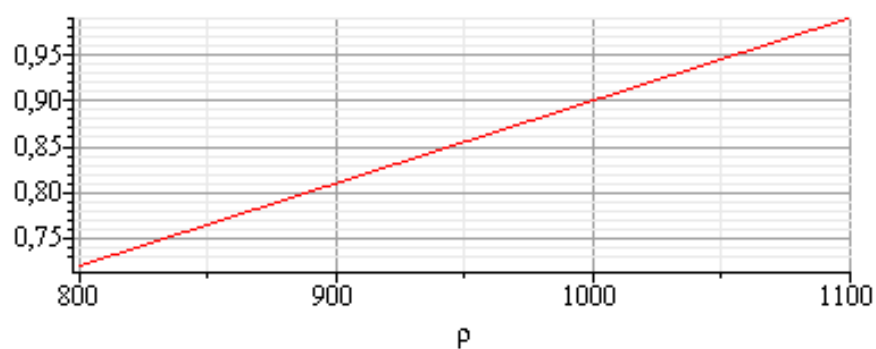
> **Момент на валу ротора :**

$$> \text{plot}(M_p, \rho = 800 .. 1100);$$



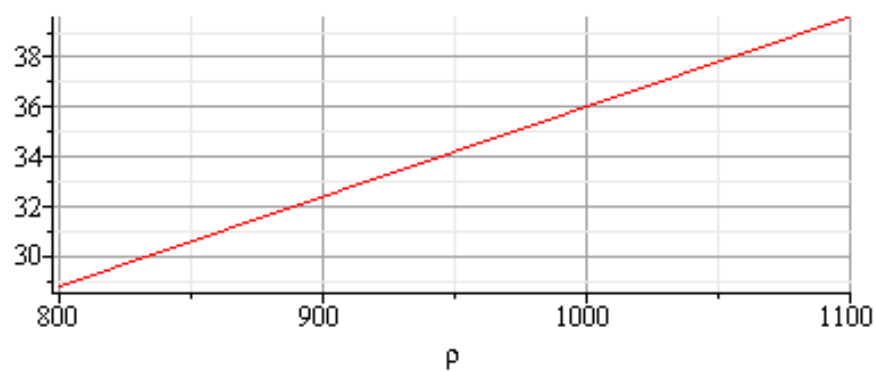
> **Кут закручування пружини :**

> `plot(α , $\rho = 800 .. 1100$);`



> **Різниця фаз :**

> `plot(φ , $\rho = 800 .. 1100$);`

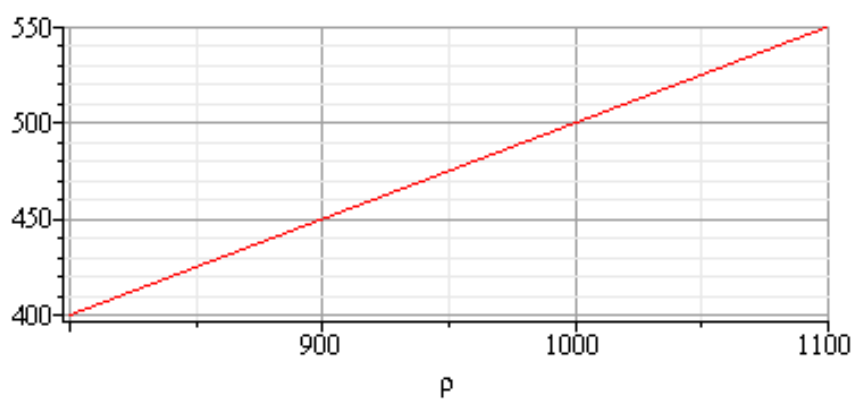


> **Кількість імпульсів :**

>
$$N := \frac{S \cdot C \cdot k \cdot \rho \cdot f_0}{360 \cdot f_x};$$

$$N := 0.500000000\rho$$

> `plot(N , $\rho = 800 .. 1100$);`

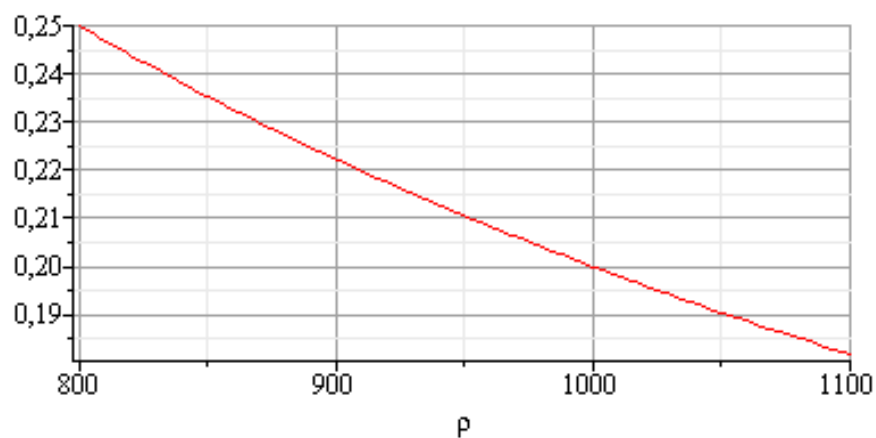


> **Похибка квантування :**

> $\delta := \frac{100}{N};$

$$\delta := \frac{200.0000000}{\rho}$$

> plot(δ , $\rho = 800 \dots 1100$);

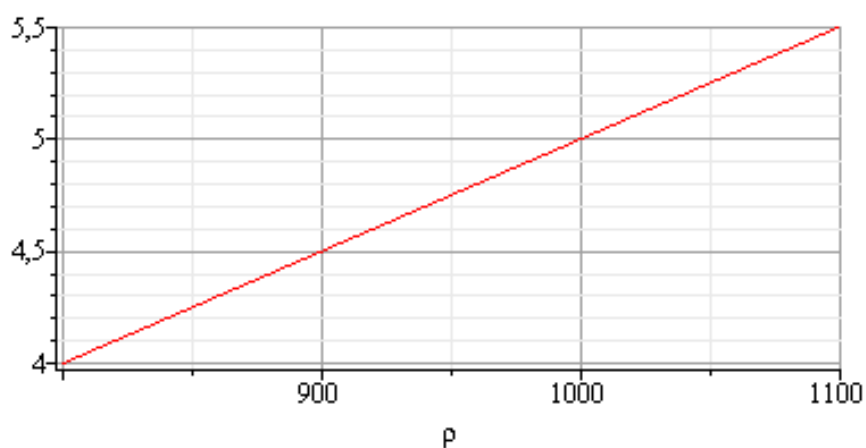


> **Напряга керування на виході ЦАП :**

> $U := 0.01 \cdot N;$

$$U := 0.00500000000\rho$$

> plot(U , $\rho = 800 \dots 1100$);



Послідовність вимірювального перетворення

$$\rho \rightarrow M_p \rightarrow \alpha \rightarrow \varphi \rightarrow N$$

Розмірність:

$$k = 0.00018 \quad [\text{м}^4]$$

– стала ВП;

$$C = 5 \quad \left[\frac{\text{град}}{\text{кг} \cdot \text{м}} \right]$$

– жорсткість пружини сенсора;

$$S = 40$$

– чутливість сенсора;

$$f_0 = 250 \quad [\text{кГц}]$$

– частота квантування;

$$f_x = 50 \quad [\text{Гц}]$$

– частота перетворювача;

$$\rho \in 900 \dots 1100 \quad \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

– діапазон густини;

$$\rho = 900 \quad \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

– густина масла вершкового;

$$\rho = 1100 \quad \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

– густина молока.

					08-24.МКР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	« Автоматизована Система регулювання технологічного процесу гомогенізації молока » Математична модель двигуна постійного струму	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Жеребков В.В.		05.06.23				
Перевірив		Кухарчук В.В.		05.06.23				
Т. конгр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент		Лесько В.О.		09.06.23	Гр. ЕПА – 21 мз			
Норм.кон.		Бомбик В.С.		05.06.23				
Затверд.		Мошнірзіз М.М.		07.06.23				

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Автоматизована система регулювання технологічного процесу гомогенізації молока

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕПА-21мз

Науковий керівник: д.т.н., проф. Кухарчук В.В.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібностіUnicheck

Оригінальність	97,7%
Схожість	2,3%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 

Паянок О.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи 

Жеребков В.В.
(підпис)(прізвище, ініціали)

Керівник роботи 

Кухарчук В.В.
(підпис)(прізвище, ініціали)