

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

на тему:

**Модернізація гомогенізатора клапанного типу для молока
із дослідженням роботи плунжерного блоку**

Виконав: студент VI курсу, групи МОм-61,

спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Старинський О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кравець О.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

Завідувач кафедри

(підпис)

Вітенько Т.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра обладнання харчових технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОХ

_____ Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 2020р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр _____
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ 133 «Галузеве машинобудування» _____
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ Старинському Остапу Юрійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація гомогенізатора клапанного типу для молока із дослідженням роботи плунжерного блоку

керівник роботи _____ Кравець Олег Ігорович _____ к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від “25” вересня 2020 року № 4/7-672

2. Строк подання студентом проекту : “_____” грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: Технічний паспорт гомогенізатора

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

Анотація. Вступ 1. Огляд сучасного обладнання для гомогенізації молока. 1.1. Огляд існуючих способів та обладнання для гомогенізації. 1.2. Аналіз вихідної інформації. 1.3. Мета та основні задачі. 2. Методи досліджень плунжерного блоку гомогенізатора 2.1. Стандартизовані методи. 2.2. Методика, що застосовувалася при дослідженні плунжерного блоку клапанного гомогенізатора. 2.3. Методика обробки отриманих даних 3. Дослідження роботи плунжерного блоку гомогенізатора 3.1. Дослідження універсальної робочої та кавітаційної характеристик гомогенізатора. 3.2. Дослідження переміщення всмоктуючого та нагнітаючого клапанів. 3.3. Математичне моделювання процесу протікання рідини через щілину клапанного гомогенізатора. 3.4. Перевірка математичної моделі на адекватність. 3.5. Висновки до розділу. 4. Модернізація плунжерного блоку гомогенізатора. 4.1. Опис модернізації плунжерного блоку гомогенізатора. 4.2. Розрахунок параметрів роботи модернізованого гомогенізатора. 4.3. Висновки до розділу. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5.1 Охорона праці. 5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

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

1. Гомогенізатор марки BLUE-TOP 63.79. Загальний вигляд Ф-А1; ФА1. 2. Машинно-апаратурна схема лінії Ф-А1; 3. Плунжерний блок. Складальне креслення. Ф-А1; 4. Гомогенізуюча головка. Складальне креслення. Ф-А1. 6. Універсальна та кавітаційна характеристики гомогенізатора Ф-А1; 7. Осцилограма переміщення всмоктуючого та нагнітаючого клапанів Ф-А1; 8 Математична модель процесу протікання рідини через щілину клапанного гомогенізатора, 2 листи Ф-А1.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кравець О.І. – к.т.н., доцент Стадник І.Я. – д.т.н., професор		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 2020р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітки
1.	Вступ	до 01.10.2020р.	
2.	1. Огляд сучасного обладнання для гомогенізації молока	до 15.10.2020р.	
3.	1.1. Огляд існуючих способів та обладнання для гомогенізації	до 30.10.2020р.	
4.	1.2. Аналіз вихідної інформації	до 10.11.2020р.	
5.	1.3. Мета та основні задачі	до 15.11.2020р.	
6.	2. Методи досліджень плунжерного блоку гомогенізатора	до 10.11.2020р.	
10.	3. Дослідження роботи плунжерного блоку гомогенізатора	до 25.11.2020р.	
11.	3.1. Дослідження універсальної робочої та кавітаційної характеристик гомогенізатора	до 25.11.2020р.	
12.	3.2. Дослідження переміщення всмоктуючого та нагнітаючого клапанів	до 30.11.2020р.	
13.	3.3. Математичне моделювання процесу протікання рідини через щілину клапанного гомогенізатора	до 30.11.2020р.	
14.	3.4. Перевірка математичної моделі на адекватність	до 05.12.2020р.	
15.	3.5. Висновки до розділу	до 05.12.2020р.	
16.	4. Модернізація плунжерного блоку гомогенізатора	до 10.12.2020р.	
20.	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	до 10.12.2020р.	
21.	Висновки	до 15.12.2020р.	
22.	Графічний матеріал	до 20.12.20р.	

Студент

_____ (підпис)

Старинський О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кравець О.І.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Старинський Остап Юрійович. Модернізація гомогенізатора клапанного типу для молока із дослідженням роботи плунжерного блоку.

Робота виконана за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

Робота присвячена підвищенню ефективності обладнання для гомогенізації молока.

Виконано дослідження роботи плунжерного блоку. В результаті отримано універсальну та кавітаційну характеристики клапанного гомогенізатора. Досліджено процес переміщення всмоктувального та нагнітального клапанів. Запропоновано заходи із модернізації клапанного гомогенізатора. Запропоновано математичну модель процесу протікання молока крізь щілину гомогенізатора.

Ключові слова: гомогенізація, кавітація, плунжерний блок, молоко.

Abstract

Ostap Starynskyi. Piston milk homogenizer modernization including the study of gap block operation

The qualification work is conducted with the specialty 133 “Industrial machinery engineering”. Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2020.

The paper is devoted to improving efficiency of equipment for milk homogenization.

The study of gap block operation is performed. Universal and cavitation characteristics of piston homogenizer are obtained as a result. The process of moving the suction and discharge valves is investigated. Measures for piston milk homogenizer modernization are offered. A mathematical model of the process of milk flow through the slit of the homogenizer is proposed.

Keywords: homogenization, cavitation, plunger block, milk.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

1.1. Огляд існуючих способів та обладнання для гомогенізації

1.1.1. Клапанний тип

1.1.2. Роторний тип

1.1.3. Відцентрові гомогенізатори

1.1.4. Ультразвукові гомогенізатори

1.1.5. Зубчасті гомогенізатори

1.1.6. Гомогенізатори струменевого типу

1.1.7. Вихрові гомогенізатори

1.2. Аналіз вихідної інформації

1.3. Мета та основні задачі

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ ГОМОГЕНІЗАТОРА

2.1. Стандартизовані методи

2.2. Методика, що застосовувалася при дослідженні плунжерного блоку клапанного гомогенізатора

2.3. Методика обробки отриманих даних

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ ГОМОГЕНІЗАТОРА

3.1. Дослідження універсальної робочої та кавітаційної характеристик гомогенізатора

3.2. Дослідження переміщення всмоктуючого та нагнітаючого клапанів

3.3. Математичне моделювання процесу протікання рідини через щілину клапанного гомогенізатора

3.4. Перевірка математичної моделі на адекватність

3.5. Висновки до розділу

4. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ

ГОМОГЕНІЗАТОРА

4.1. Опис модернізації плунжерного блоку гомогенізатора

4.2. Розрахунок параметрів роботи модернізованого гомогенізатора

4.3. Висновки до розділу

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність теми.

Процес гомогенізації є важливим етапом виробництва багатьох молочних продуктів. Одночасно із підвищенням харчової цінності продуктів гомогенізація також забезпечує істотне покращення їхньої якості.

Не зважаючи на велику різноманітність конструкцій гомогенізаторів, в молочній галузі перевагу, як правило, надають клапанним машинам. Це пов'язано із тим, що дані гомогенізатори забезпечують стабільний процес дроблення жирових кульок.

За таких обставин питання підвищення ефективності гомогенізації на машинах клапанного типу є на сьогодні актуальним.

Мета і завдання досліджень.

Метою досліджень було підвищення надійності процесу гомогенізації на плунжерному гомогенізаторі, шляхом модернізації плунжерного блоку.

Основні задачі:

- огляд сучасних способів гомогенізації;
- експериментальне дослідження зв'язку швидкості протікання молока крізь щілину між клапаном та сідлом від продуктивності машини;
- побудова універсальної та кавітаційної характеристик гомогенізатора;
- моделювання протікання молока крізь щілину клапанного гомогенізатора;
- дослідження процесу переміщення всмоктувального та нагнітального клапанів;
- побудова осцилограм переміщення клапанів гомогенізатора.

Об'єкт дослідження – процес проходження молока крізь щілину плунжерного блоку

Предмет дослідження – характеристики роботи плунжерного блоку гомогенізатора.

Методи дослідження. В роботі використовувалися як стандартні методи дослідження так і спеціальні методики, що були розроблені для дослідження плунжерного блоку клапанного гомогенізатора.

Наукова новизна отриманих результатів:

одержано математичну модель процесу протікання молока крізь щілину клапанного гомогенізатора, що дозволяє встановити характер нерівномірностей швидкостей при русі молока.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати можуть бути застосовані для процесів протікання в'язкої нестисливої рідини в каналах з прямокутним перетином.

Апробація результатів досліджень. Результати дослідження роботи плунжерного блоку гомогенізатора були обговорені на ІХ Міжнародній наукова-технічній конференції молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», що проходила в ТНТУ з 25 по 26 листопада 2020 року.

1. ОГЛЯД СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

1.1. Огляд існуючих способів та обладнання для гомогенізації

1.1.1. Клапанний тип

Продукт під тиском, що створений багатоплунжерним насосом подається в зазор між сідлом і клапаном. Подрібнення відбувається при проходженні молока через канал – кількість жирових кульок збільшується в кілька сотень разів.

Молоко подається у плунжерний насос. Внагнітальний клапан і продукт йде у зазор між сідлом та клапаном 6 (рис. 1.1.).

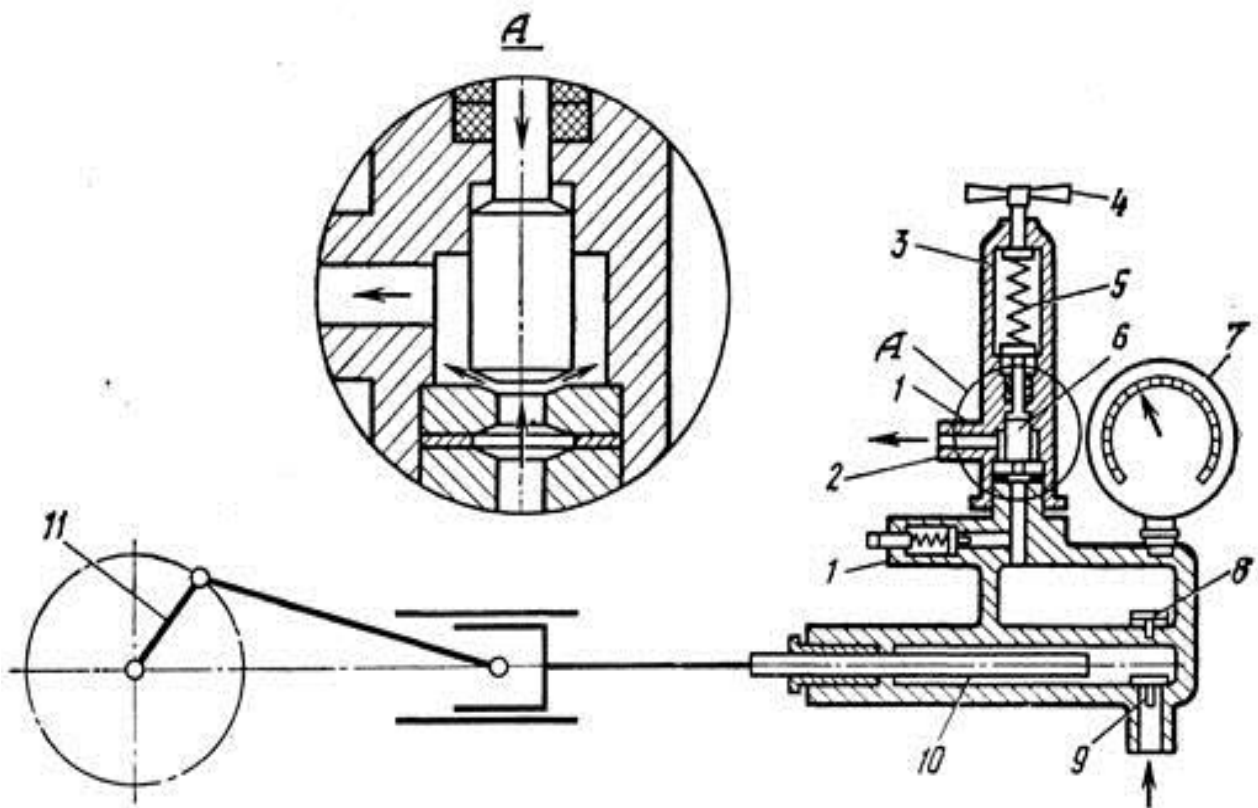


Рис. 1.1. Схема клапанного гомогенізатора.

1-запобіжний клапан; 2-патрубок; 3-корпус; 4-гвинт; 5-пружина;

6- клапан головки; 7-манометр; 8-нагнітаючий клапан;

9-клапан, що всмоктує; 10- плунжер; 11- привід.

Ширина зазору регулюється гвинтом 4. А власне тиск процесу гомогенізації контролюється з допомогою манометра 7.

Дані генізатори можна зарахувати до енергоємного та металомісткого обладнання. Клапанними двоступінчастими машинами зараз обладнанні більшість харчових виробництв.

До переваг клапанних гомогенізаторів можна віднести:

- широка засвоєність;
- налагоджений масовий промисловий випуск;
- високий рівень гомогенізації;

Недоліки:

- велика вартість;
- низький технологічний ККД (0,0018 %);
- відсутність машин низької продуктивності;
- високі витрати енергії (6,5 – 7,6 кВт/т);
- велика маса і розміри;
- двоступінчастість обробки;
- складна конструкція.

1.1.2. Роторний тип

Роторний гомогенізатор працює наступним чином: продукт йде в бункер, потім, за допомогою шнеків, продукт продавлюється через ротор. Для унеможливлення налипання продукту на робочі поверхні, вони змащуються перед початком роботи.

Переваги роторних гомогенізаторів:

- широка промислова засвоєність;
- проста конструкція;
- великий діапазон продуктивності;
- малі розміри та ємність металу.

Недоліки:

- підходить лише для рідин з високою густиною;
- диспергується тільки водяна фаза;
- необхідність у періодичному змащенні робочих органів;
- мінімальний ступінь подрібнення.

Вони відносно простіші у порівнянні з гомогенізаторами клапанного типу і практично не містять швидкозношуваних деталей. У той же час роторні машини не забезпечують достатню якість гомогенізації.

Принцип роботи роторних гомогенізаторів ґрунтується на явищі електрогідравлічного ефекту, яке полягає у виникненні в рідині тисків та ударних хвиль.

В результаті цього відбувається подрібнення жирових кульок у 6-8 разів. Електрогідравлічний ефект має коротку в часі дію, і тому він майже не впливає на властивості рідини. Проте у разі його тривалою дії матиме місце зміна смаку продукту.

1.1.3. Відцентрові гомогенізатори

Цей тип має конструкцію, що складається з представляє собою двох дисків (рис. 1.2), один – нерухомий, інший – обертається, з'єднаний з валом двигуна 9. Диск, що обертається оснащений кільцеподібними виступами із отворами 4, 5, 6. Вони входять у пази на іншому диску. Молоко йде у вхідний патрубок та потрапляє внутрішнє кільце, що прикріплене до диску, який обертається. При певних значеннях швидкості обертання в зазорі між дисками виникають ділянки із зниженими та підвищеними значеннями тиску: утворюються явище кавітації, що призводить до гідравлічного удару.

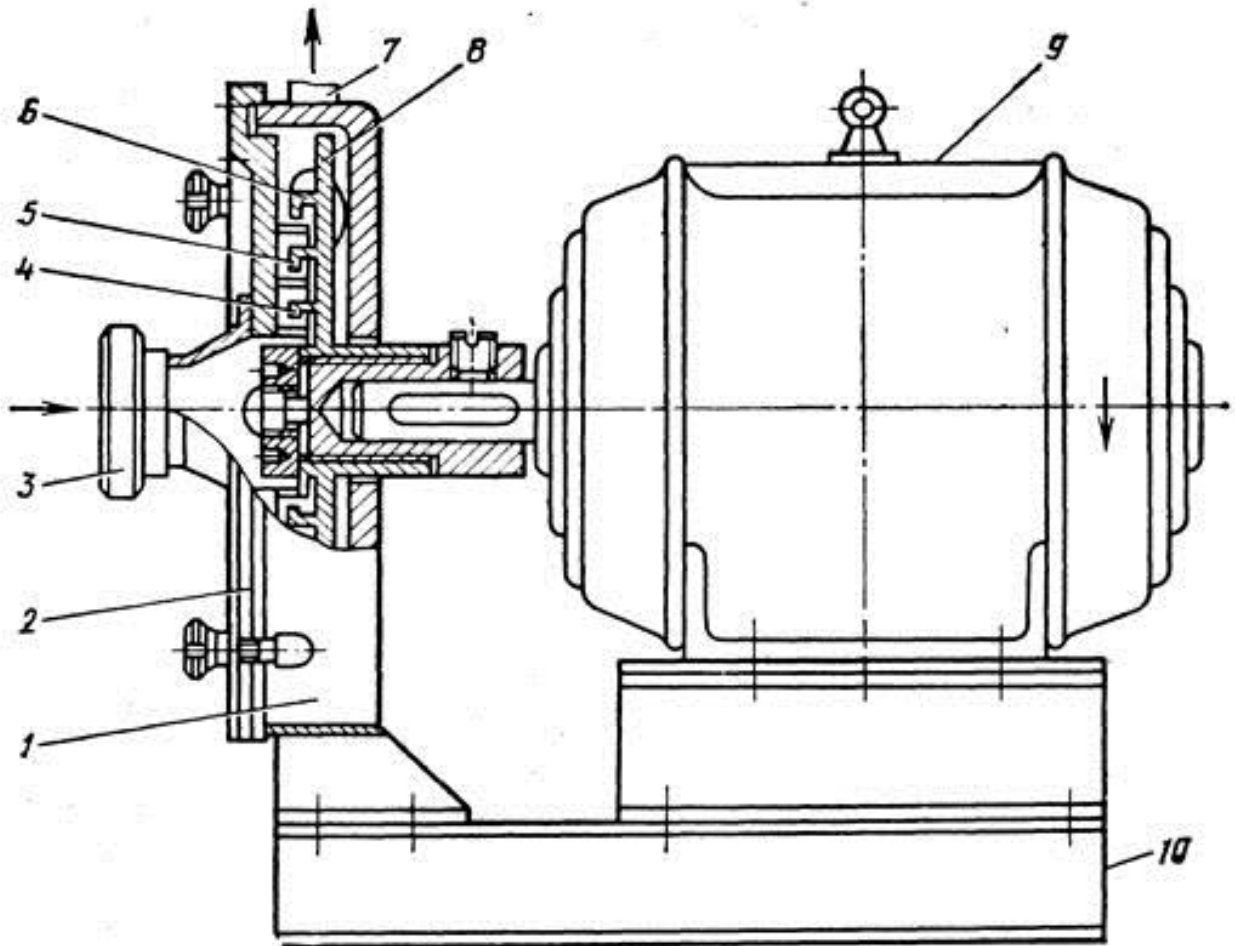


Рис. 1.2. Відцентровий тип гомогенізатора.

1 – корпус; 2-кришка; 3- патрубок для виходу продукту;
 4-6 – кільця; 7- патрубок для виходу продукту; 8- обертовий диск;
 9 - привід; 10-станина

Це призводить до подрібнення жирових кульок продукту та його інтенсивного перемішування.

Переваги:

- малі витрати енергії;
- мала маса;
- мала металомісткість;
- можливість використання гомогенізатора в якості насоса для перекачування продукту;
- не великі габаритні розміри;
- стійкість машини до забруднення суспензії.

Недоліки:

- невисокий ступінь гомогенізації;
- значне зношування робочих органів машини;
- необхідність зміцненні поверхонь робочих органів спеціальним обробленням;
- можливість забруднюється оброблюваного продукту;

1.1.4. Ультразвукові гомогенізатори

Такі гомогенізатори (рис. 1.3) працюють таким чином, що створюють пружні звукові та ультразвукові хвилі в рідині, що підлягає обробці. Один із їх типів – це, так званий, гідродинамічний свисток. Він працює за пинципом проходження молока крізь ділянку максимальної дії ультразвукового поля, що створюється самим потоком. Потік поділяється на струмині, що багаторазово перетинаються на великій швидкості, і, таким чином, створюють акустичні коливання високих частот.

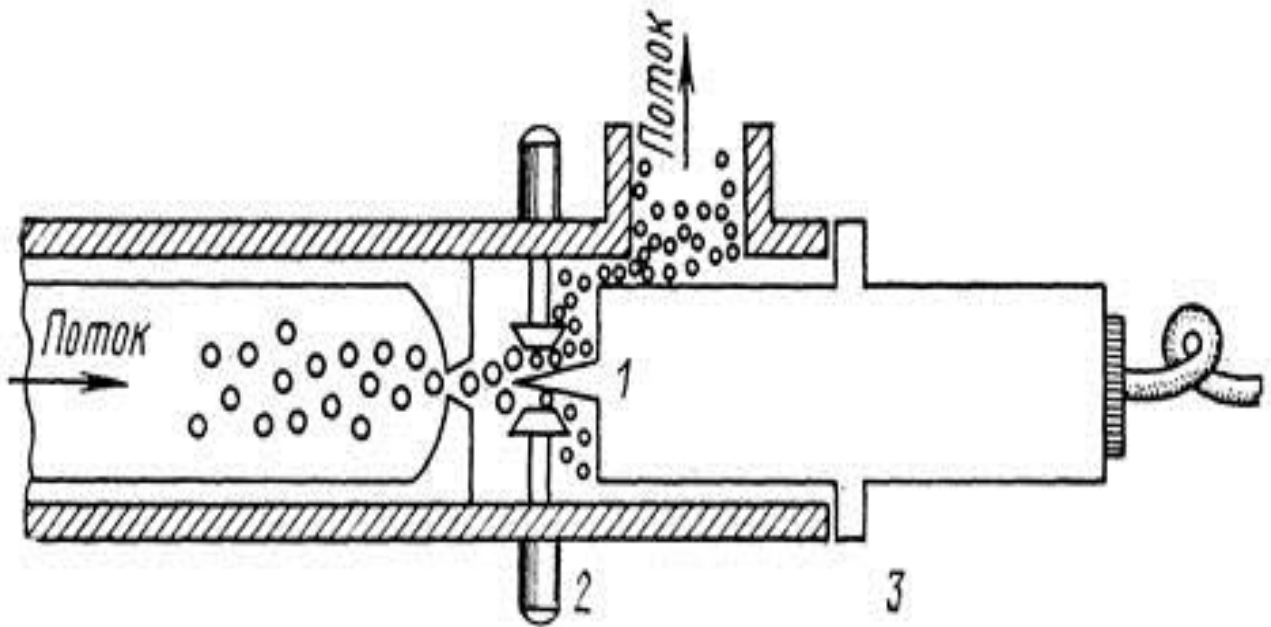


Рис. 1.3. Схема ультразвукової гомогенізації
1-вібраційний елемент; 2-регулюючий пристрій;
3-блок резонансний.

Переваги ультразвукового методу:

- Високий ступінь емульгування – складає близько 95%;
- високий ступінь дисперсності (0,15-0,55мкм);
- забезпечує стійкість емульсії на протязі великого часу зберігання;
- у 5-6 разів нижча енергоємність (якщо порівнювати з обладнання для гомогенізації такої самої продуктивності, що використовується в молочній промисловості України);
- низька металоємність
- легкість корекції ступеня обробки;
- можливість поєднання процесу гомогенізації з бактеріальним очищенням;
- можливість створити гомогенізатор із продуктивністю, яка змінюється в широких межах;
- стійкість до забруднення продукту, що підлягає гомогенізації;

Не зважаючи на велику кількість переваг ультразвукова гомогенізація наділена також і недоліками.

До недоліки можна віднести:

- значна чутливість до пульсації насосу;
- недостатній рівень вивчення процесів, що відбуваються при ультразвуковій гомогенізації;
- низький ступінь гомогенізації – найменший розмір жирових кульок не перевищує 1,5мкм;
- відносно складна конструкція гомогенізаторів із електромеханічним збудником.

1.1.5. Зубчасті гомогенізатори

Основними вузлами гомогенізатора зубчастого типу (рис. 1.4.) є диск, або корпус 2 та диск, що рухається 8.

Ці два диски разом утворюють головку гомогенізації. На поверхнях дисків є зубчаста нарізка.

Машина працює наступним чином. Молоко потрапляє крізь патрубок у гомогенізуючу головку. Там, за рахунок великої зубчастої поверхні, під час обертання диска 8 (при нерухомому диску 2) відбувається перетирання продукту і, як наслідок, його гомогенізація.

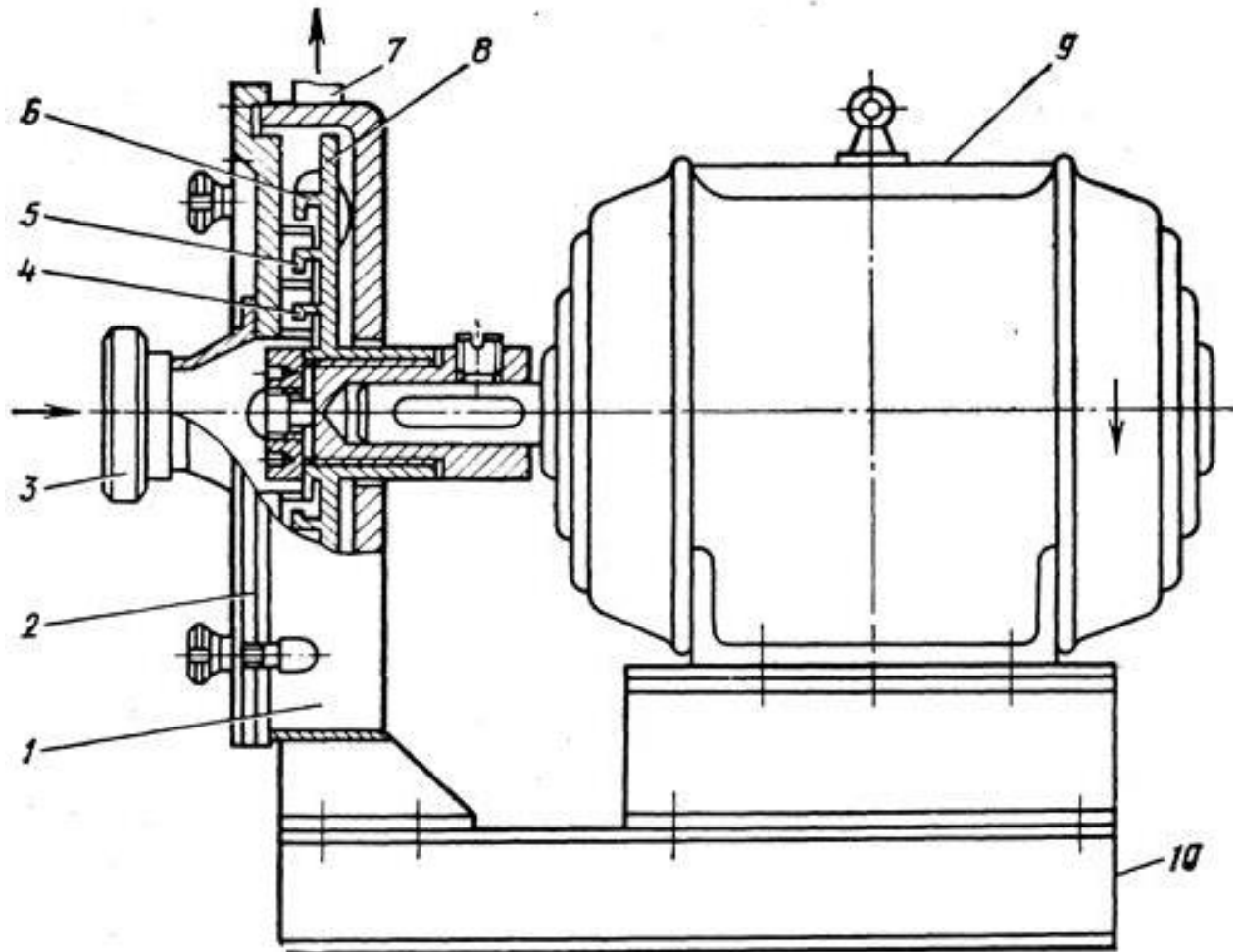


Рис. 1.4 Зубчастий гомогенізатор.

- 1-корпус; 2-нерухомий диск; 3-вхідний патрубок; 4, 5, 6-кільця;
7-вихідний патрубок; 8-диск, що обертається; 9-привід;
10-станина

Переваги зубчастих гомогенізаторів:

- низькі затрати енергії;
- низька металомісткість;
- малі габаритні розміри;
- широкий діапазон зміни продуктивності гомогенізатора;

Недоліки зубчастих гомогенізаторів:

- необхідність високоточного складання гомогенізатора;
- складність виготовлення поверхні диска;
- висока вартість виготовлення зубчастої поверхні диска;
- інтенсивне зношення поверхонь дисків;
- вимоги до відсутності твердих частинок у продукті, що підлягає обробці;
- можливість забруднення молока продуктами зношування дисків.

1.1.6. Гомогенізатори струменевого типу

При роботі струменевого гомогенізатора відбувається подрібнення жирових кульок при попаданні продукту сопло форсунки. Подрібнення відбувається в наслідок турбулентних пульсацій та завихрень. Також гомогенізації має місце і при виході з сопла – під дією перепаду швидкостей, які виникають при ударі продукту об пластину. Цей вид гомогенізації називається струменева гомогенізація з нерухомим відбивачем.

Також подрібнення може відбуватися при швидкому гальмуванні жирової кульки під час зіткненні двох потоків продукту. Такий вид гомогенізації отримав назву протитечійно-струменева гомогенізація.

При роботі струменевого гомогенізатора з нерухомим відбивачем потік рідини 2 (рис. 1.5), що виходить із форсунки 1 наштовхується на металевий відбивач 3. За таких умов проходить руйнування жирових кульок.

Робота протитечійно-струменевого гомогенізатора полягає у зіткненні двох струменів рідини 2, які виходять розташованих на одній осі сопел 1 (рис. 1.6).

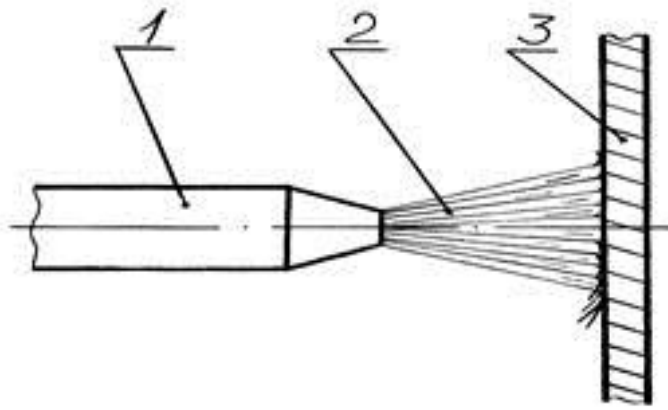


Рис. 1.5. Схема процесу струменевої гомогенізації з відбивачем
1-форсунка; 2- струмінь продукту; 3- відбивач.

Зіткнення струменів з приблизно рівною швидкістю забезпечує виникнення значного градієнту швидкостей потоку рідини. Це створює умови для виникнення напружень зсуву, що руйнують жирову кульку. При протитечійно-струменевої гомогенізації зі зрозумілих причин відносна швидкість струменів при їх зіткненні, становить 2 рази більше ніж при струменевій гомогенізації з відбивачем.

Тому зменшуються витрати енергії та відбувається якісніше перемішування продукту.

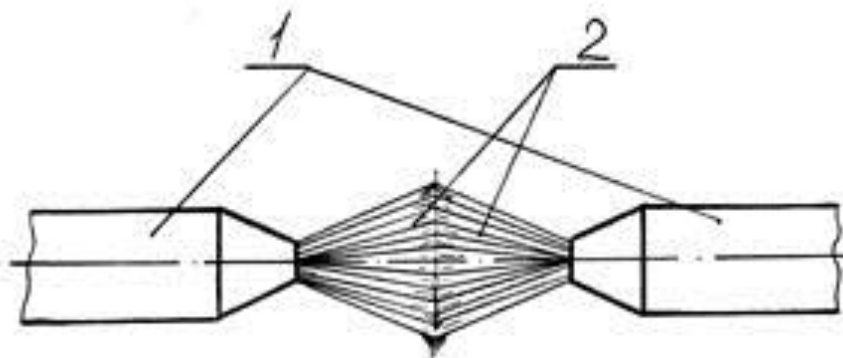


Рис. 1.6. Схема протитечійно-струменевої гомогенізації
1-форсунка; 2- струмінь продукту.

Встановлено, що при протитечійно-струменевої гомогенізації знешкоджується шкідлива мікрофлора продукту та мають місце позитивні зміни в мікроструктурі молока.

В якості прикладу обладнання для струменево-вихрової гомогенізації можна використати гомогенізатор марки Я9-ОЖЗ із ротором, що обертається та тангенціальними каналами. Тут продукт, що проходить по каналах ротора розпилюється та вдаряється об кільцевий відбивач. Жирові кульки в результаті цього подрібнюються. Основною частиною гомогенізатора Я9-ОЖЗ є блок 5, із отворами (рис. 1.7).

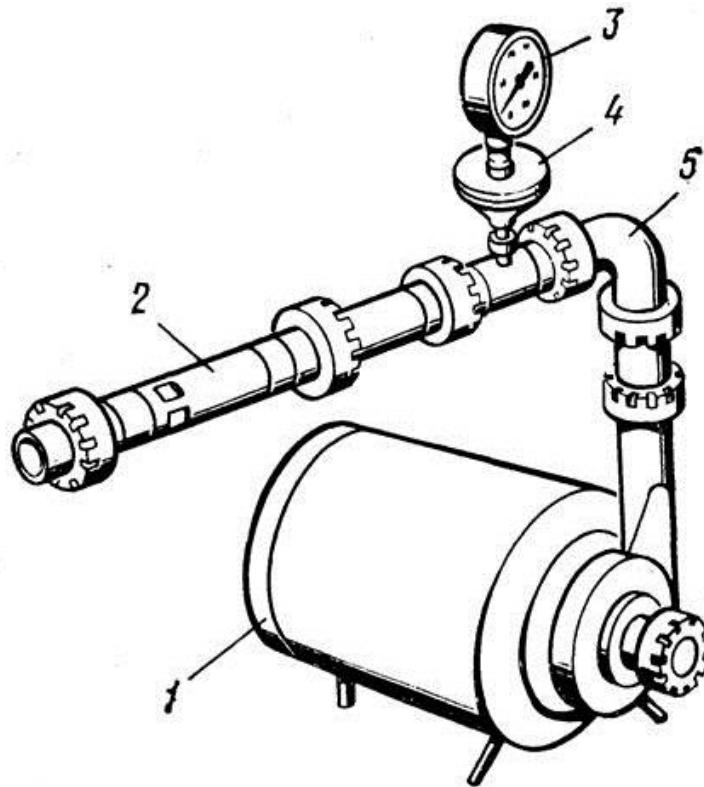


Рис. 1.7. Струменево-вихровий гомогенізатор Я9-ОЖЗ
1-насос; 2-трубопровід; 3-манометр; 4-розділювач; 5-блок.

До переваг протічійно-струменевого типу гомогенізації можна віднести:

- малі затрати енергії;
- невеликі габаритні розміри;
- низька металоємкість;
- значний діапазон продуктивності;
- можливість створення гомогенізатора, що забезпечить регулювання продуктивності в процесі роботи;
- високий ступінь гомогенізації;

- можливість обробки засмічених продуктів;
- простота конструкції;
- поєднання гомогенізації із миттєвою стерилізацією молока одному апараті.

Недоліки:

- недостатня дослідженість явищ, що відбуваються при протитечійно-струменевій гомогенізації;
- погана промислова засвоєність;

1.1.7. Вихрові гомогенізатори

Даний тип машин для гомогенізації складається з двох циліндричних камер, що мають різні діаметри. Дані камери розміщені на одній осі.

Молоко спочатку потрапляє в більшу камеру. Там потік рідини закручується і потрапляє в меншу камеру. При цьому в центрі меншої камери під час руху рідини по колу виникає розрідження. В результаті цього виникає турбулентний режим руху продукту, що спричиняє подрібнення жирових кульок.

Вихровий гомогенізатор має ряд переваг:

- малі затрати енергії;
- надійна конструкція;
- широкі межі зміни продуктивності;
- перемішування продукту;
- низька чутливість до засміченості молока.

Проте у вихрового гомогенізатора є і ряд недоліків. Основні з них:

- низький ступінь гомогенізації;
- процес вихрової гомогенізації на даний час залишається недостатньо вивченим.

У підсумку до приведеного вище огляду обладнання для гомогенізації можна відмітити, що для диспергування молока на даний час застосовують

21омогенізацій не обладнання різних видів. Проте найбільш поширеними залишаються плунжерні гомогенізатори.

1.2. Вихідна інформація для розроблення роботи. Огляд конструкції гомогенізатора плунжерного марки

Темою роботи є модернізація гомогенізатора клапанного типу для молока із дослідженням роботи плунжерного блоку.

Вихідною інформацією для виконання роботи є паспорт гомогенізатора марки BLUE-TOP63.79.

Гомогенізатор BLUE-TOP63.79 призначений для подрібнення та рівномірного розподілу жирових кульок в молоці та деяких інших рідких молочних продуктах.

Технічні характеристики гомогенізатора даної марки подано у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Технічні характеристики гомогенізатора клапанного типу BLUE-TOP63.79

Параметри	Значення	Розмірність
1	2	3
Мінімальна продуктивність	1000	м ³ /год
Кількість ступеней гомогенізації	1	
Максимальний робочий тиск гомогенізації	15	МПа
Максимальна кількість подвійних ходів плунжерів	350	1/хв
Потужність	11	кВт

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3
Маса	3000	кг

Габаритні розміри, мм:		
ширина	1,49	м
висота	1,65	м
довжина	1,12	м

1.3. Мета та основні задачі роботи

Метою роботи є підвищення надійності процесу гомогенізації на плунжерному гомогенізаторі, шляхом модернізації плунжерного блоку.

Основні задачі даного роботи:

- огляд сучасних способів гомогенізації;
- експериментальне дослідження зв'язку швидкості протікання молока крізь щілину між клапаном та сідлом від продуктивності машини;
- побудова універсальної та кавітаційної характеристик гомогенізатора;
- моделювання протікання молока крізь щілину клапанного гомогенізатора;
- дослідження процесу переміщення всмоктувального та нагнітального клапанів;
- побудова осцилограм переміщення клапанів гомогенізатора.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ ГОМОГЕНІЗАТОРА

2.1. Стандартизовані методи

У виконанні досліджень використовували цілий ряд стандартизованих методів, які представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Стандартизовані методи досліджень

№ з/п	Назва аналізу	Назва методу	Вимоги
1.	Визначення маси відібраних проб	Зважування	ГОСТ 24104-88 «Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие технические условия»
2.	Визначення вмісту жиру	Кислотний метод	ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира»
3.	Визначення вмісту вологи	Метод висушування навіски при температурі 102°C	ГОСТ 3626-73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения содержания влаги и сухого вещества»
4.	Визначення величини рН	Потенціометричний метод	ГОСТ 3624-92 «Молоко и молочные продукты. Общие методы анализа»
5.	Вимірювання температури	Контактний метод вимірювання з допомогою термометра	ГОСТ 26754-85 «Молоко. Методы измерения температуры»

2.2. Методика, що застосовувалася при дослідженні плунжерного блоку клапанного гомогенізатора

Дослідження процесів, що мають місце в плунжерному блоці клапанного гомогенізатора при обробленні у ньому молока проводили на базі гомогенізатора марки BLUE-TOP63.79. Даний гомогенізатор призначений для дроблення жирових кульок в молоці.

Характеристики плунжерного блоку приведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Характеристики плунжерного блоку

Параметри	Значення	Розмірність
діаметр плунжера	40	мм
частота обертання	5,7	об/с
хід плунжера	30	мм
площа перерізу клапанної щілини	$3,1 \cdot 10^{-7}$	м^2

Для дослідження роботи машини знімали універсальну робочу та кавітаційну характеристики гомогенізатора. З цією метою значення потужності визначали виходячи із показників амперметра, що входив у комплектацію гомогенізатора.

Про значення продуктивності судили по заповненості мірної ємкості молоком за визначений час.

Також отримання кавітаційної характеристики передбачало обладнання апарата мановакуумметром. Про виникнення явища кавітації судили по початку падіння подачі гомогенізатора більш ніж на 2%.

Також досліджували роботу плунжерного блоку при різних значеннях швидкості проходження продукту крізь клапанну щілину. Для цього виконували випробування машини при різній кількості обертів колінчастого

вала гомогенізатора, а отже, і різній продуктивності. Дослід повторювали 10 раз для кожного значення продуктивності. Також встановили відносну похибку експерименту – $\Omega < 9\%$

Використовуючи ці дані визначали швидкість проходження молока крізь клапанну щілину гомогенізатора.

2.3. Методика обробки отриманих даних

Визначення середнього арифметичного значення досліджуваної величини виконували за формулою:

$$\bar{X} = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)}{n},$$

де X_i – конкретне значення вимірюваної величини;
 n – число вимірювань.

Також визначали абсолютне відхилення від середньої величини:

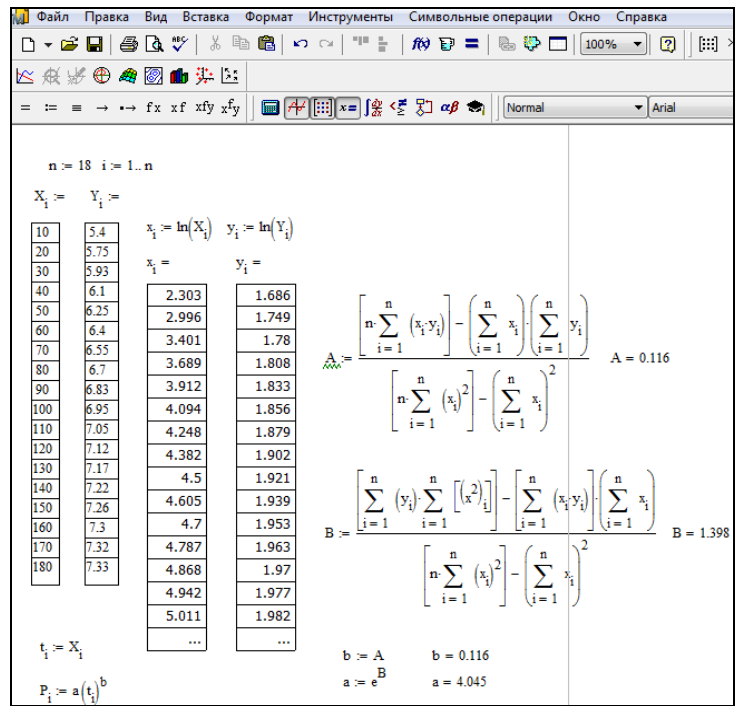
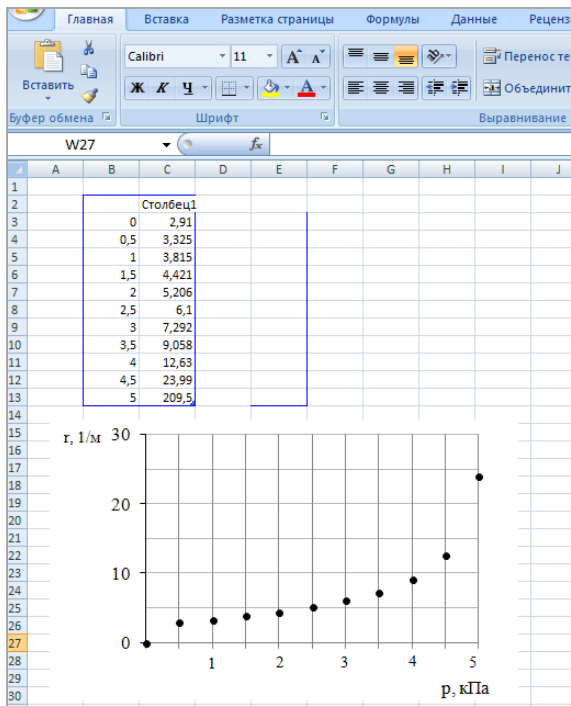
$$\Delta X = \bar{X} - X_i,$$

та значення дисперсії величини:

$$S^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n [\bar{X} - X_i]^2)}{n-1}.$$

Для побудови математичних залежностей досліджених характеристик плунжерного блоку використовували методику, що отримала назву «метод найменших квадратів».

З метою встановлення характеру залежності в середовищі «Microsoft Excel» будували точки, координати яких відповідали середнім значенням даних експериментів (рис. 2.1 а). Потім візуально визначали крива якої з відомих функцій найбільше підходить до побудованого графіка. Після цього визначали найкращі параметри цієї функції в програмі Mathcad 14. (рис. 2.1 б).



а б
 Рис. 2.1. Обробка результатів експериментів

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ

3.1. Встановлення універсальної та кавітаційної характеристик гомогенізатора

На основі отриманих експериментально даних побудували універсальну характеристику гомогенізатора (рис. 3.1.). Дана характеристика по суті є залежністю між його продуктивністю гомогенізатора, його потужністю та ККД.

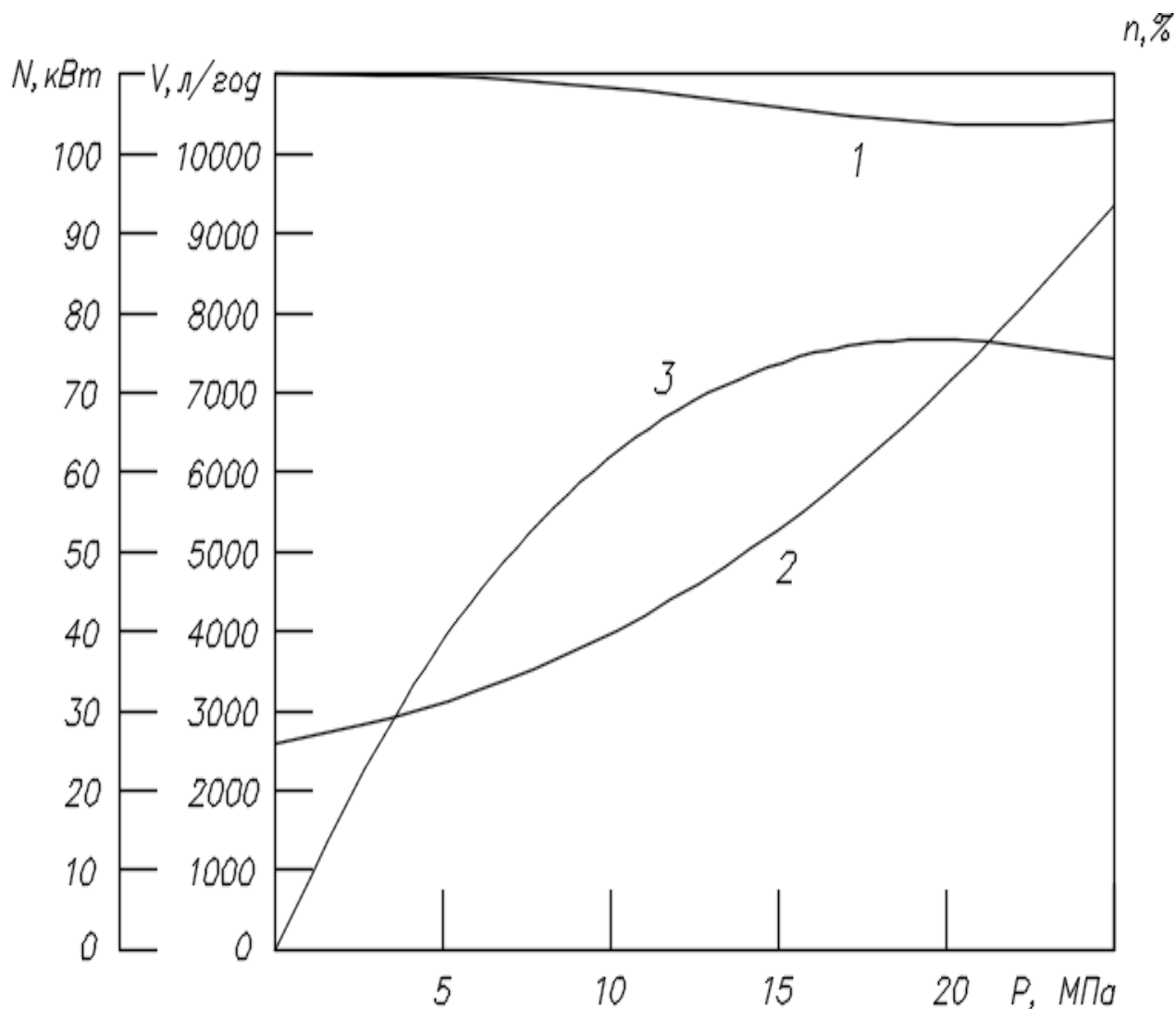


Рисунок 3.1. Універсальна характеристика робоча гомогенізатора

1 – крива продуктивності; 2 – крива потужності;

3 – крива механічного ККД

Отримана характеристика гомогенізатора дає можливість проаналізувати рівень досконалості конструкції машини. Також вона дозволяє прогнозувати зміни в затратах потужності в залежності від тиску гомогенізації та розраховувати такі її складові як активна та реактивна.

Оскільки продукт подається в гомогенізатор при підвищеній температурі (75-90 °С), значить важливим може бути характер кавітаційної характеристики.

В результаті досліджень побудували також кавітаційну характеристику машини (рис. 3.2.). Аналіз отриманої характеристики дозволив зробити висновок про те, що вакууметрична висота всмоктування $H_{\text{вак}}$, яка, відповідно до графіка, становить близько 6,5 м, набула критичного значення $H_{\text{вак}}^{\text{кр}}$.

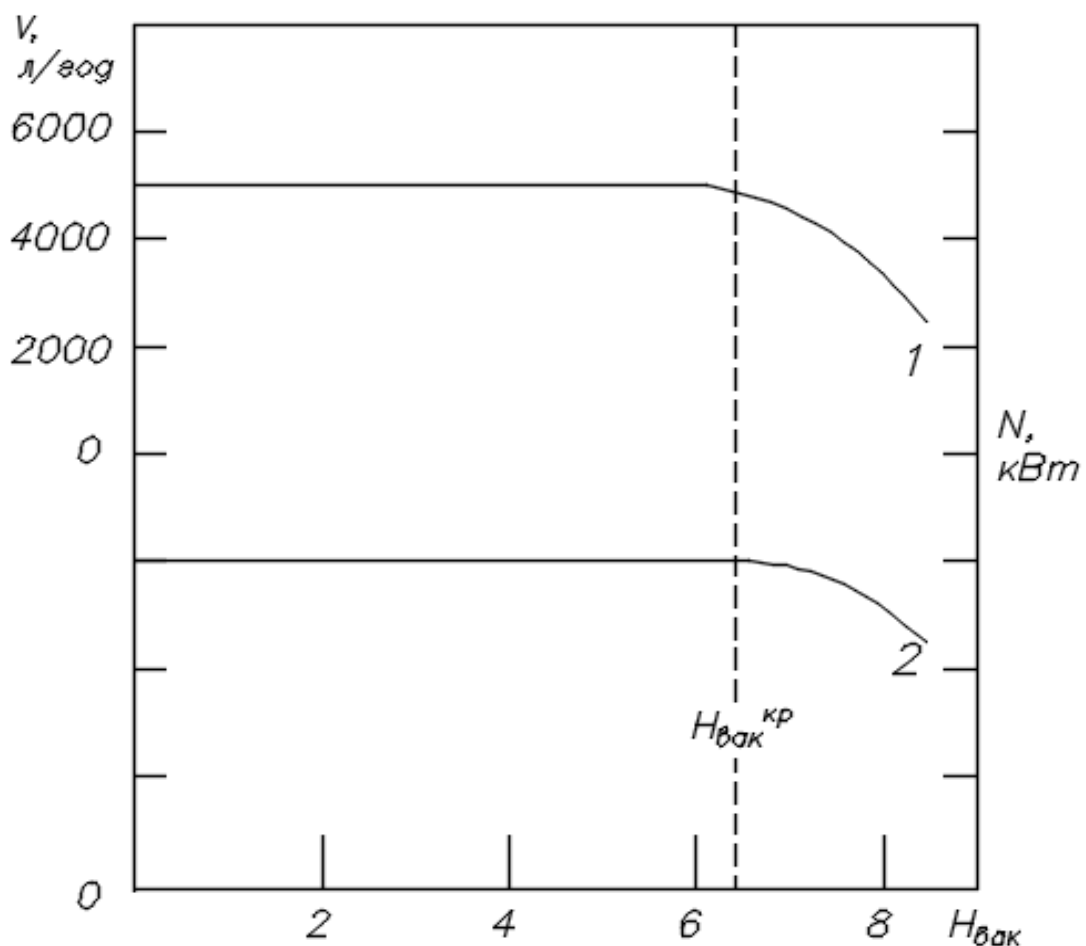


Рисунок 3.2. Кавітаційна характеристика

1 – продуктивність гомогенізатора; 2 – потужність гомогенізатора

Таким чином, для нормальної роботи гомогенізатора гідравлічний опір на всмоктуючій стороні у вигляді труб, поворотів та кранів не повинний перевищувати $H_{\text{вак кр}}$, тобто 6,5 м.

Отримана крива показує особливості процесу обробки молока на клапанному гомогенізаторі, дозволяє підвищити ефективність його роботи та запобігти негативним наслідкам від дії кавітації.

3.2. Дослідження руху всмоктувального та нагнітального клапанів гомогенізатора

Отримані експериментальні дані роботи плунжерного блоку дозволили побудувати осцилограму переміщення всмоктувального і нагнітального клапанів.

Відповідно до отриманої осцилограми подача молока у кожен камеру плунжерного блоку гомогенізатора при ході плунжера змінюється так само як і зміна його швидкості – за синусоїдним законом. На осцилограмі (рис. 3.3.) представлено рух плунжера по синусоїді, тиск в робочій камері та положення клапанів.

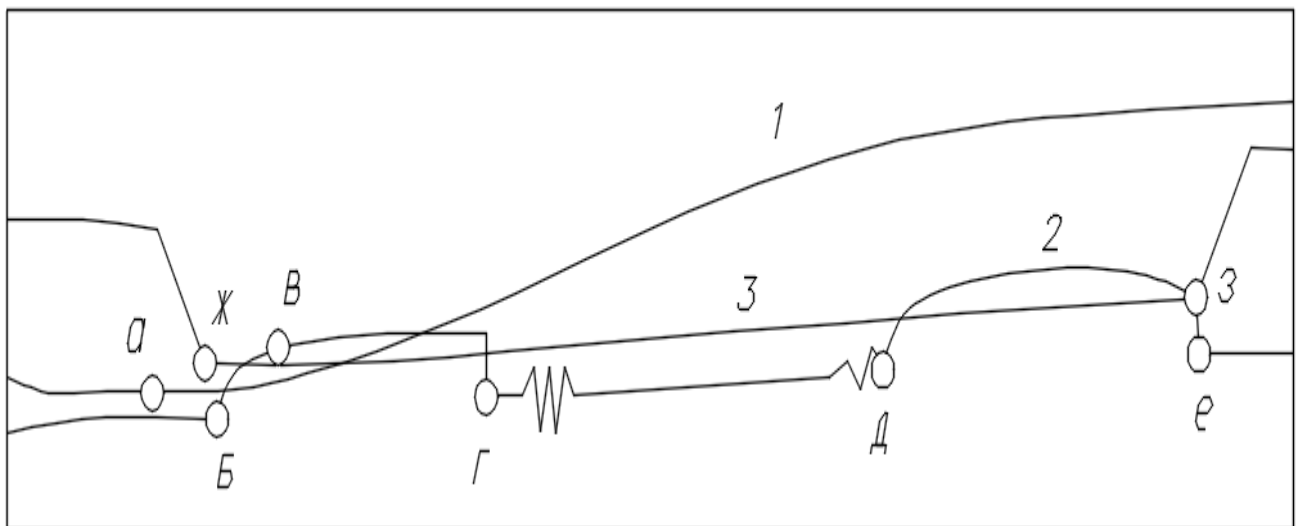


Рисунок 3.3. Осцилограма переміщення всмоктувального клапана

1-рух плунжера; 2-рух всмоктувального клапана;

3-тиск в камері.

Встановили характер відриву всмоктуючого клапана – він відбувається не одразу (точка б) на ділянці всмоктуючого ходу плунжера (точка а), а по закінченні деякого часу після зменшення тиску в робочій камері (точка ж).

Відхід клапана проходить при повороті колінвала на 14-15°. Потім всмоктуючий клапан бється кілька разів по верхньому нагнітальному клапані. Це обмежує його рух вверх (точка г). Контакт клапанів проходить в залежності від ширини зазору (при ширині зазору, що становить 7,0 мм становить вмежах 50°).

Рух всмоктувального клапана в сідло (т. д) розпочинається ще до закінчення процесу всмоктування, тоді коли кількість молока наближається до максимального значення при повороті колінвала на 135°, і закінчується цей процес після часу початку нагнітання (т. е). При цьому кут становить 190°. При цьому стрімко зростає тиск у камері (т. б).

Можна зробити висновок, що висота підйому всмоктувального клапана має мати оптимальні значення, для того щоб уникнути лишнього удару клапанів.

Робочий цикл нагнітального клапана проходить так само як і всмоктувального (рис. 4.4.).

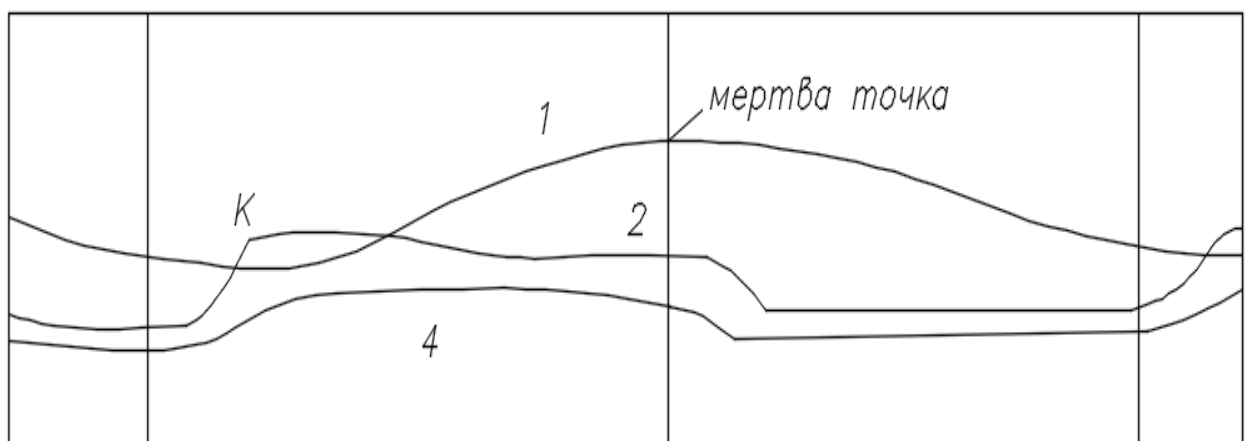


Рисунок 3.4. Осцилограма переміщення нагнітального клапана
1-крива переміщення плунжера; 2-крива переміщення всмоктуючого клапана;
4-переміщення нагнітаючого клапана.

Всмоктувальний клапан гомогенізатора переходить в положення

«відкрито» і молоко проходить в робочу камеру. Цей процес супроводжується певним гідравлічним ударом.

3.3. Математичне моделювання протікання молока крізь щілину клапанного гомогенізатора

Простір між клапаном і сідлом, де відбувається руйнування жирових кульок, можна зобразити у вигляді деякої вузької щілини, (рис. 3.5.) що характеризується довжиною l .

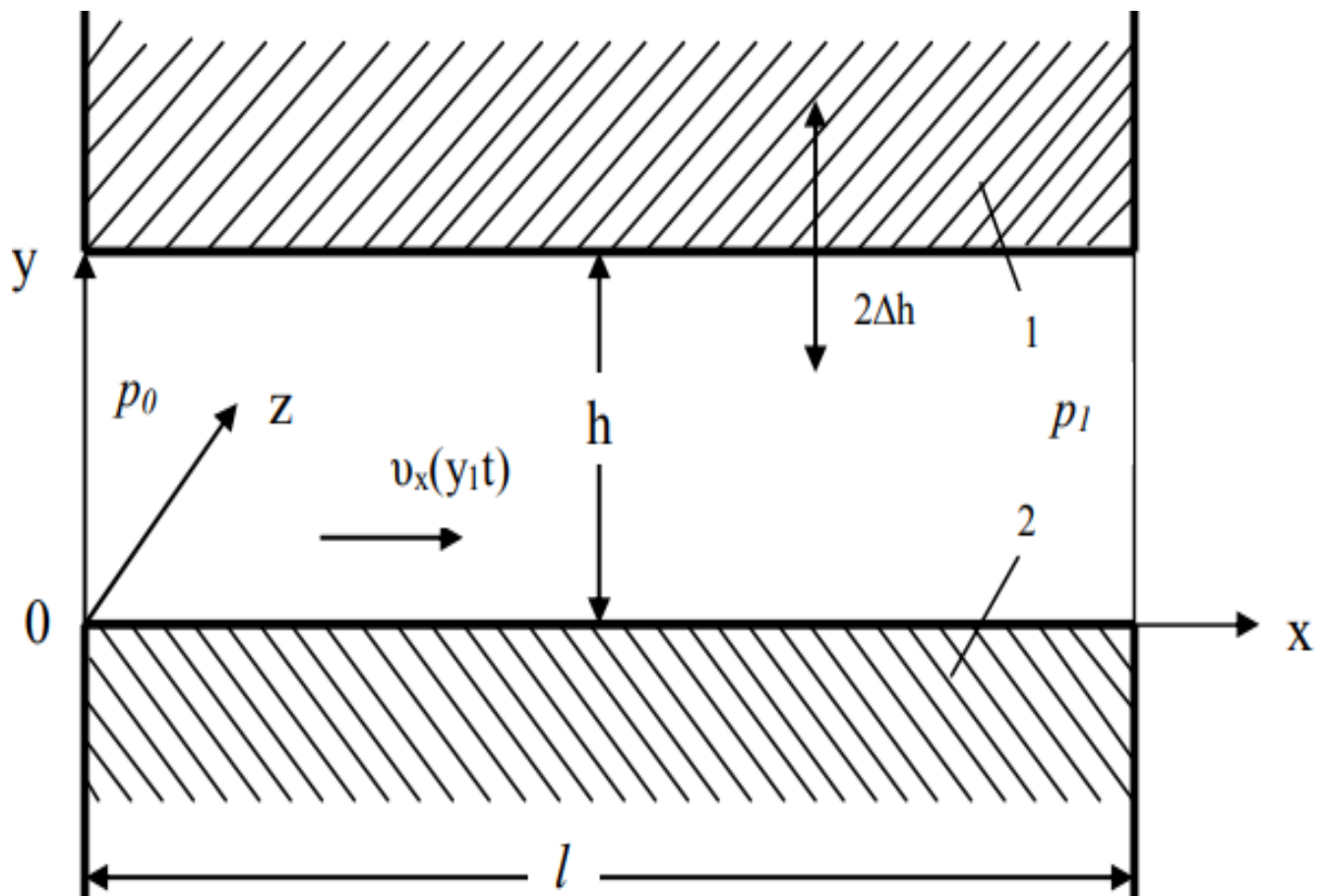


Рисунок. 3.5. Схема зазору клапанного гомогенізатора:

1 – клапан; 2 – сідло.

Висота зазору щілини h періодично змінює свої величину з частотою коливань ω . Ці коливання можна описати за допомогою рівняння гармонійного закону:

$$h=h_0+\Delta h\cdot\sin(\omega)t, \quad (3.1)$$

де h_0 – середнє значення зазору щілини, в момент часу коли клапан 1 знаходиться в рівновазі;

t – час;

Δh – значення амплітуди коливань клапана.

Для вирішення цієї задачі будемо використовувати систему координат, що пов'язана з нерухомим сідлом 2. За початок системи координат обиремо вхід в зазор. Тоді вісь ОХ збігатиметься з напрямком руху молока, а вісь ОУ буде спрямована по висоті зазору від сідла до клапана. Оскільки радіуси входу в щілину і виходу із неї майже не відрізнятимуться, то це дозволить розглядати процес протікання молока не в циліндричній системі координат, а в більш звичній – прямокутній.

За таких умов отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2};$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0; \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (3.2)$$

де p – тиск протікання молока у будь якій точці потоку, Па;

v – швидкість протікання молока у будь якій точці потоку, м/с;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості оброблюваної рідини.

Друге рівняння в даній системі дозволяє зробити висновок, що в першому рівнянні ліва частина залежить тільки від x , а права – тільки від y . Для цього має бути виконана умова:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \text{const}, \quad (3.3)$$

або:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_0 - p_2}{l}, \quad (3.4)$$

де p_0 – тиски молока при вході в щілину, Па;

p_1 – тиски молока на виході із щілини гомогенізатора, Па.

Вирішення цього рівняння може мати вигляд:

$$v = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} y^2 + c_1 y + c_2 \quad (3.5)$$

де C_1 і C_2 постійні інтегрування, які визначаються з наступних граничних умов (рис. 1):

$$y = 0, v = 0; \quad y = h_0 + \Delta h \cdot \sin(\omega t), v = 0. \quad (3.6)$$

Звідси помітно, що ці граничні умови для торцевої частини клапана 1 є змінними і залежать від часу.

Отримаємо:

$$y=0, \\ C_2=0.$$

Вирішення цього рівняння для v має вигляд:

$$v = -\frac{h_0 y}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \left(1 + \frac{\Delta h}{h_0} \sin \omega t - \frac{y}{h_0} \right) \quad (3.7)$$

Швидкість протікання рідини крізь щілину можна описати наступним виразом:

$$v = -\frac{h_0^2}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \left(\left(1 \pm \frac{\Delta h}{h_0} \right) \frac{y}{h_0} - \frac{y^2}{h_0^2} \right) \quad (3.8)$$

Максимальна швидкість протікання рідини, буде мати місце при

$$y = 1/2(h_0 + \Delta h \cdot \sin(\omega \cdot t)).$$

Тобто місце де швидкість буде максимальною, коливається відносно середини висоти зазору в напрямку осей OX і OY . В цьому діапазоні висот найбільша швидкість зазнає змін протягом періоду коливань клапана гомогенізатора в наступному інтервалі (рис. 3.6):

$$v_{\max} = -\frac{1}{8\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (h_0 \pm \Delta h \sin \omega t)^2. \quad (3.9)$$

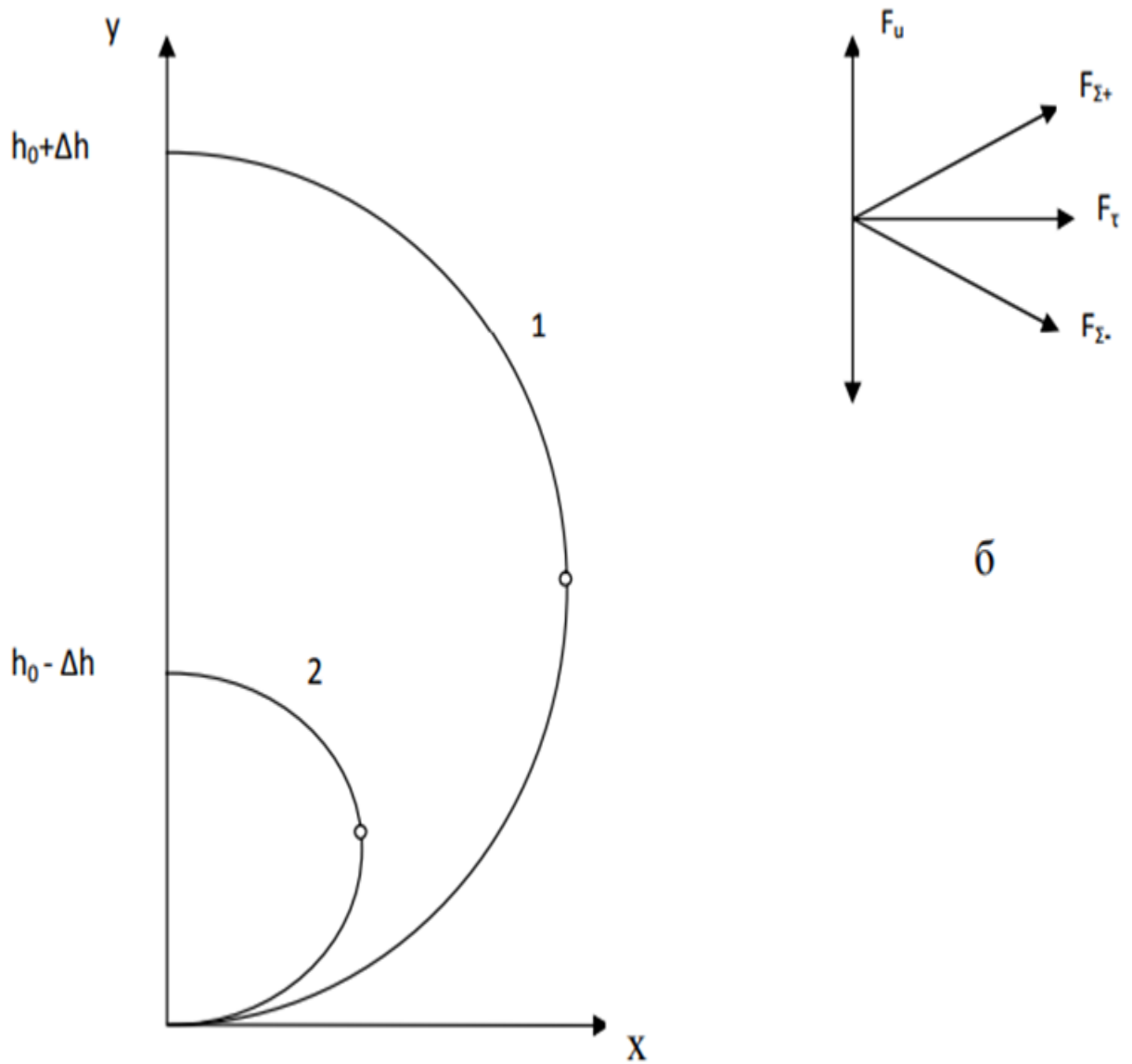


Рисунок 3.6. Діапазони зміни швидкостей молока від 1 до 2 сил (а), що діють на краплю від $F_{\Sigma+}$ до $F_{\Sigma-}$ (б) за період коливань клапана гомогенізатора

Тангенціальні напруги ньютонівської рідини змінюватимуться в даному випадку по висоті зазору таким чином:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \frac{\partial p}{\partial x} (y + c_2), \quad (3.10)$$

тобто:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \frac{\partial p}{\partial x} \left[y - h_0 \left(1 \pm \frac{\Delta h}{h_0} \right) \right], \quad (3.11)$$

На рисунку 3.7. зображено залежність тангенціальних напружень в рідині при значеннях $\sin(\omega t) = \pm 1$.

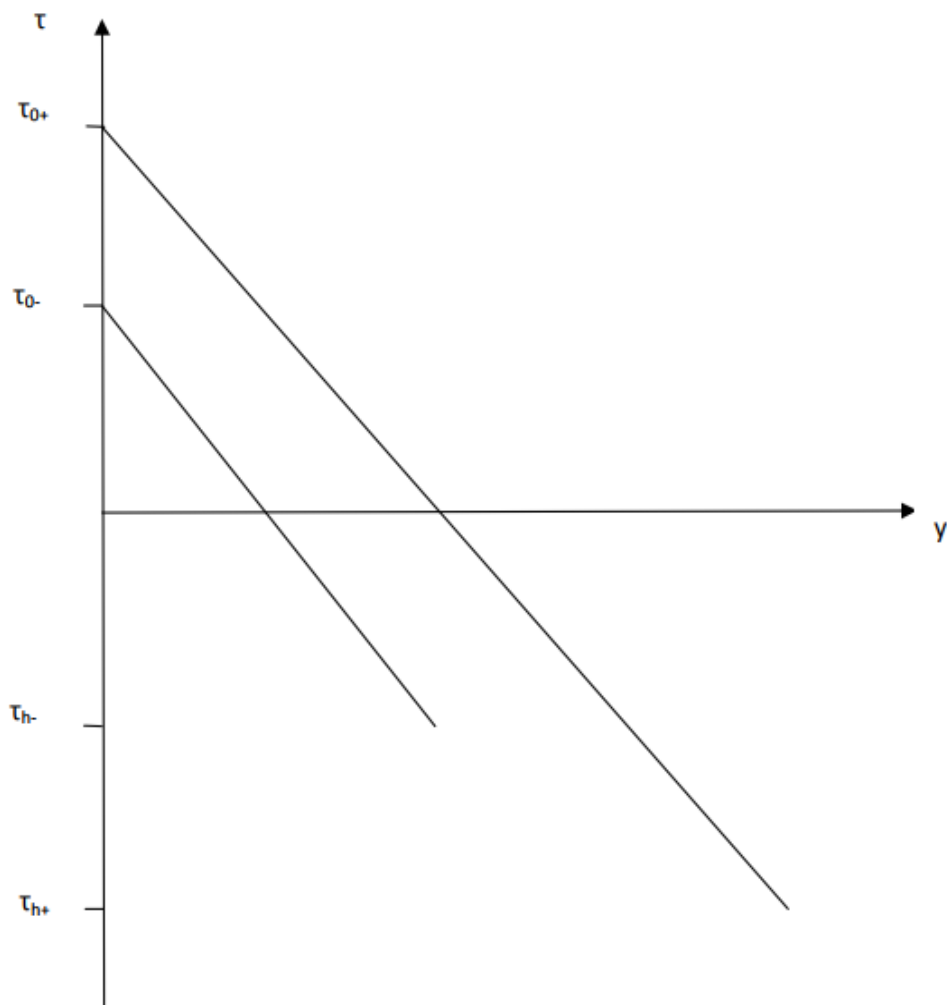


Рисунок 3.7. Інтервал вимірювання тангенціальних напружень по висоті щілини клапанного гомогенізатора за період коливань.

Кут нахилу кривих 1 і 2 змінюється в наступному інтервалі:

$$\frac{\partial p}{\partial x(h_0 \pm \Delta h)},$$

при значенні $y = h_0 \pm \Delta h$.

Тому в гомогенізаторі клапанного типу при постійному градієнті тиску молока максимальна швидкість його руху залежатиме від змінного положення середини висоти зазору та часу.

Крім змінних напруг, спрямованих вздовж осі ОХ на дисперсну фазу вздовж осі ОУ будуть діяти також додаткові сили інерції. Їх значення буде прямо пропорційне значенням прискорення:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{h_0 \Delta h}{2\mu} \omega \frac{\partial p}{\partial x} \cos \omega t \quad (3.12)$$

та частоті коливань клапана.

Миттєві об'ємні витрати молока крізь одиницю ширини щілини клапанного гомогенізатора визначимо за формулою:

$$Q(t) = \int_0^{h_0 + \Delta h \sin \omega t} v(y) dy = -\frac{1}{12\mu} \frac{\partial p}{\partial x} (h_0 + \Delta h \sin \omega t)^3. \quad (3.13)$$

3.4. Перевірка матмоделі на адекватність

Адекватність запропонованої математичної моделі перевіряли на підставі статистичних оцінок розбіжностей значень змінних моделі та об'єкту при тих самих значеннях вхідних змінних, розрахованих за результатами серії експериментів на об'єкті моделювання. Для встановлення адекватності моделі використовували дані іншої серії експериментів, порівняно із тими, щовикористовували для параметричної ідентифікації.

З цією метою порівнювали значення швидкості протікання молока крізь щілину, яка була отримана за формулою (3.8), із полученими експериментальним шляхом значеннями швидкості руху молока та із розрахованими за геометричними параметрами плунжерів.

Спочатку отримали значення швидкості руху молока через щілину для різних значень продуктивності гомогенізатора (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Швидкість протікання молока в клапанній щілині при різних значеннях продуктивності

Продуктивність, $Q \text{ м}^3/\text{с}$	Швидкість руху молока через щілину клапанного гомогенізатора v , м/с		
	Експеримент ($\Omega < 8\%$)	Математична модель (формула 3.8)	Встановлено відповідно до геометричних розмірів плунжера
0	0	0	0
$1,41 \cdot 10^{-4}$	505	600	452,5
$2,81 \cdot 10^{-4}$	980	1200	904,0
$4,1 \cdot 10^{-4}$	1600	1800	1356,5
$5,5 \cdot 10^{-4}$	1900	2400	1807,0
$7,1 \cdot 10^{-4}$	2550	3000	2259,5
$8,3 \cdot 10^{-4}$	2900	3600	2708,0

Представлено Встановлено графічну залежність швидкості проходження молока через щілину від продуктивності (рис. 3.8.).

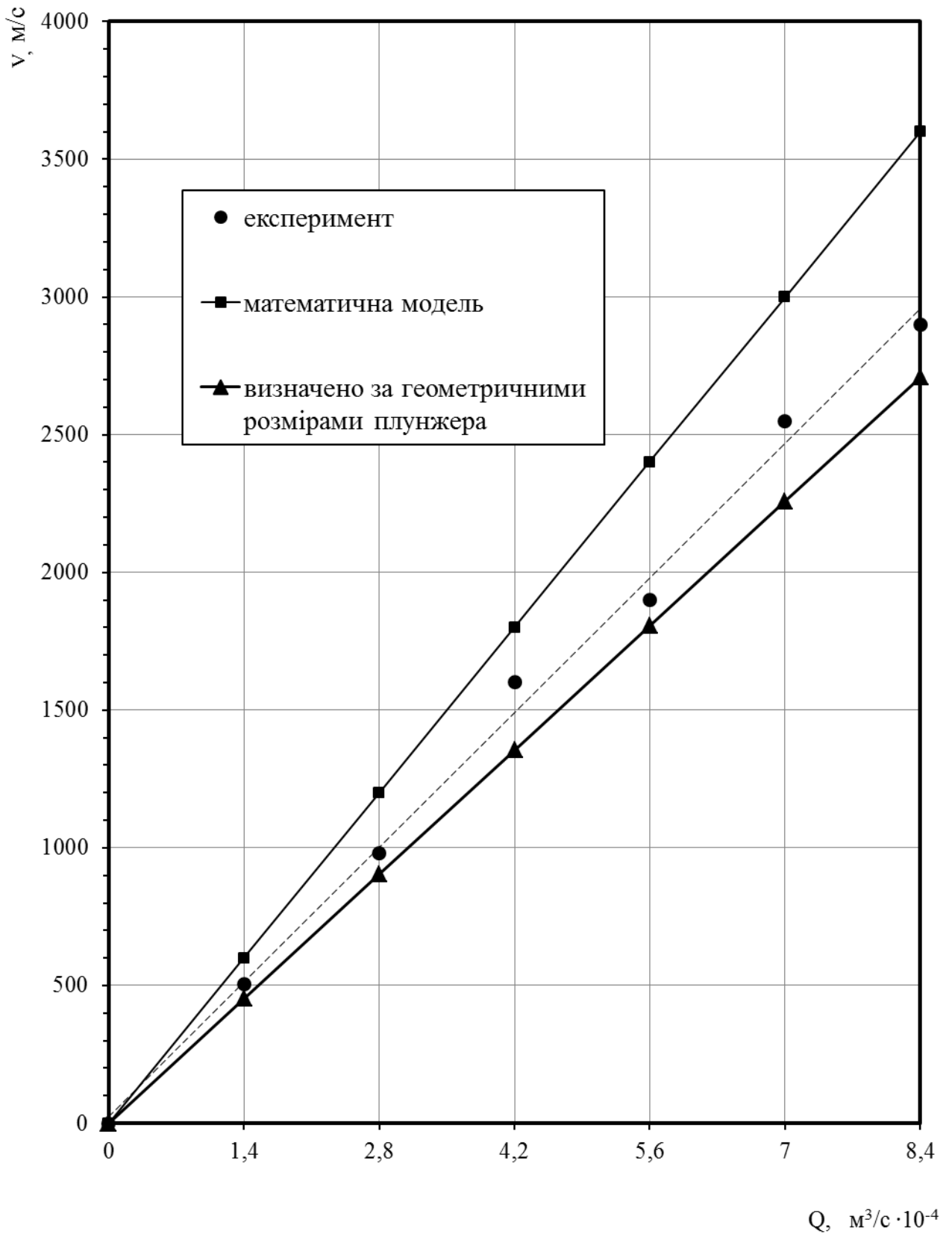


Рисунок 3.8. Залежність швидкості проходження рідини крізь клапанну щілину від продуктивності гомогенізатора

Певні відхилення даних, що отримані експериментальним шляхом від тих, які отримано на основі розрахунку за геометричними розмірами плунжера, можна пояснити тим, що при розрахунку не було враховано так званий насосний ефект, що виникає в процесі роботи плунжера.

Насосний ефект при роботі гомогенізатора приводить до збільшення продуктивності машини, а отже і швидкості проходження молока через щілину.

За таких умов при перевірці адекватності математичної моделі доцільно порівнювати її з експериментом.

Середнє відхилення швидкості проходження рідини відповідно до математичної моделі від експериментальних даних становить 16,8 %.

3.5. Висновки до розділу

Встановлена універсальна характеристика дала можливість для прогнозування зміни споживаної потужності гомогенізатора від технологічного значення тиску процесу гомогенізації.

Отримана кавітаційна характеристика гомогенізатора забезпечила можливість для запобігання кавітаційних процесів при роботі плунжера.

Також кавітаційна характеристика дозволила встановити максимальне, з точки зору проходження нормального процесу гомогенізації, значення гідравлічного опору (6,5 м) на всмоктуючій стороні до яких можна віднести крани, повороти та трубопроводи.

Аналіз отриманої осцилограми переміщення всмоктувального та нагнітального клапанів дав можливість оцінити можливість виникнення небезпек, які пов'язані із виникненням гідравлічного удару в момент часу, що настає після відмикання всмоктувального клапана (це може відбутися на початку руху молока із всмоктувального колектора в камеру).

Запропоновано матмодель руху молока крізь щілину клапанного гомогенізатора дала можливість виявити певну нерівномірність швидкості при

русі молока. Середнє відхилення швидкості проходження рідини відповідно до математичної моделі від експериментальних даних становить 16,8 %.

Отримані за допомогою даної матмоделі дані дозволять встановити характер нерівномірностей швидкостей при русі молока.

Отримані за допомогою матмоделі результати в першому наближенні можуть бути застосовані до протікання молока або інших не в'язких молочних продуктів в трубі з прямокутним перетином, у якому значення максимальної висоти є значно нижчою у порівнянні з шириною зазору.

4. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ КЛАПАННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА

4.1. Опис модернізації плунжерного блоку

Виконана в попередньому розділі дослідження плунжерного блоку дали можливість зрозуміти ступінь небезпеки, що пов'язана з можливістю виникнення гідравлічного удару (стрімкого стрибка тиску молока, що має малу тривалість у часі) після відкриття всмоктувального клапана. Це може відбутися на початку руху молока з всмоктувального колектора в робочу камеру. Про це свідчить аналіз отриманої осцилограми переміщення всмоктуючого та нагнітального клапанів.

Існує цілий ряд методик, які дозволяють запобігти виникненню гідравлічних ударів, проте далеко не всі вони можуть бути реалізовані для плунжерного гомогенізатора.

Найбільш поширеними заходами зниження небезпеки гідравлічних ударів є: збільшення часу перекривання затвора; установка повітряних камер, використання насосних агрегатів, які мають значну інерційність обертальної маси; зливання молока за допомогою різноманітних запобіжних клапанів.

Наприклад зливання молока при гідравлічному ударі можна здійснювати шляхом застосування спеціальних діафрагм, які зазнають руйнування при перевищенні значень тиску понад допустимі. Цей метод передбачає підбір діафрагми, що відповідають необхідним для нас максимальним значенням тиску.

Про більшість із описаних методів недопущення гідравлічного удару із різних причин є не прийнятними для їх застосування в конструкції гомогенізатора.

Тому для виконання поставленої задачі пропонується обладнати трубопровід підводу молока повітряним демпфером, що має об'єм 2,0 л. цей демпфер забезпечить поглинання надлишкової кінетичної енергії молока, поступово віддаючи її згодом.

Таке рішення є простим у реалізації та дасть можливість запобігти руйнуванню робочих органів гомогенізатора в результаті виникнення гідравлічного удару

4.2. Розрахунок характеристик модернізованого гомогенізатора

Процес гомогенізації в значній мірі залежить від гідравлічних умов в зоні клапанної щілини. Дані умови в основному визначаються тиском процесу гомогенізації, який вирішальним чином впливає на швидкість руху молока в зазорі. Також важливе значення має висота клапанної щілини, швидкість руху молока є максимальною на початку щілини. По мірі розширення потоку молока до виходу його швидкість поступово знижується до величини V_2 .

Максимальна теоретична швидкість молока C буде залежати від тиску процесу гомогенізації та може бути обчисленою за відомою формулою Торрічеллі:

$$V_1 = \sqrt{2g \cdot \frac{\Delta P}{\gamma}}$$

де γ – об'ємна вага молока, $\gamma = 1,027 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$.

ΔP – робочий тиск гомогенізації, $\Delta P = 15 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$;

За таких умов швидкість витікання молока становитиме:

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot \frac{15 \cdot 10^6}{1,027 \cdot 10^4}} = 169 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

На практиці значення дійсної швидкості витікання молока V_1 буде меншою від теоретичного значення. Величина розбіжності дійсної та теоретичної швидкостей залежить від в'язкості молока і висоти клапанної щілини.

Незважаючи на зміну швидкості руху молока під клапаном та висоти зазору при зміні тиску процесу гомогенізації, критерій Рейнольдса для потоку

рідини не залежатиме від робочого тиску гомогенізації та в процесі обробки молока залишатиметься постійним не залежно від режиму роботи:

$$Re = \frac{V_1 \cdot 2h}{\nu};$$

де h – висота клапанної щілини, м.

ν – кінематична в'язкість молока, м/с².

Очевидно, що критерій Рейнольдса для потоку молока залежатиме від його розходу, геометричних розмірів клапана і властивостей самого молока, зокрема в'язкості. Із практики відомо, що в умовах роботи клапанного гомогенізатора критерій Рейнольдса може мати значення в діапазоні від 25 тисяч до 35 тисяч. Виходячи з цього приймемо значення Рейнольдса 30 000. Діаметр клапанної щілини можна встановити із виразу:

$$d = \frac{2V}{\pi \nu Re};$$

підставимо відомі значення:

$$d = \frac{2 \cdot 169}{3,14 \cdot 0,712 \cdot 30000} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

Слід врахувати нестабільність значення висота клапанної щілини в процесі гомогенізації. Вона зазнає змін у відносно широкому діапазоні. Конкретне значення висоти залежить від розходу молока крізь клапан, геометричних розмірів клапана, тиску гомогенізації і властивостей молока. Значення висоти щілини визначимо із виразу:

$$h = \frac{Re \cdot \nu}{2V_1};$$

після підстановки:

$$h = \frac{30000 \cdot 0,712 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 169} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Визначимо товщину тарілки клапана:

$$h_k = 0,43 \cdot d_k \cdot \sqrt{\frac{1}{p} [\sigma]}$$

де p – тиск гомогенізації, Па;

d_k – діаметр клапана, м.

$[\sigma]$ – допустиме значення напруження для металу клапана,
 $[\sigma] = 24 \cdot 10^7$ Па;

Діаметр клапана:

$$d_k = \sqrt{1,27 \cdot (\Delta S + G/6 \cdot v_d)}; \quad (2.7)$$

де ΔS – площа січення хвостовика, м²

G – продуктивність, $2,7 \cdot 10^{-4}$ м³/с

v_d – допустима швидкість молока в сідлі, $v_d = 190$ м/с.

Площа січення:

$$\Delta S = \pi \cdot r_x^2$$

де r_x – радіус хвостовика, $r_x = 0,004$ м.

$$\Delta S = 3,14(4 \cdot 10^{-3})^2 = 5,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Визначаємо товщину тарілки і діаметр клапана з вище приведених виразів (2.6) і (2.7):

$$d_k = \sqrt{1,27 \cdot \left(5,02 \cdot 10^{-5} + \frac{2,7 \cdot 10^{-4}}{6} \cdot 190\right)} = 0,01 \text{ м}$$

$$h_k = 0,43 \cdot 0,01 \cdot \sqrt{\frac{1}{15 \cdot 10^6} \cdot 24 \cdot 10^7} = 0,0172 \text{ м}$$

Врахуємо, що в процесі гомогенізації за рахунок внутрішнього тертя в рідині та тертя між рідиною і робочими органами деяка частка механічної енергії перетвориться в теплоту. Це призведе до підвищення температури гомогенізації молока Δt :

$$\Delta t = \frac{P}{c \cdot \rho};$$

де ρ – густина молока, $\rho = 1011$ кг/м³

P – тиск гомогенізації, Па

c – питома теплоємність молока, $c = 3,85 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К);

$$\Delta t = \frac{15 \cdot 10^6}{3850 \cdot 1011} = 3,85^\circ\text{C}$$

Середній діаметр жирових кульок:

$$d_{\text{ср}} = 3,1 \cdot \frac{10^{-6}}{\sqrt{P}}; \quad (2.10)$$

$$d_{\text{ср}} = 3.1 \cdot \frac{10^{-6}}{\sqrt{15 \cdot 10^6}} = 8 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Пружина головки має володіти певною жорсткістю, для забезпечення необхідного тиску гомогенізації. Адже тиск гомогенізації перебуває у залежності від зусилля, з яким пружина тисне на клапан. Зв'язок між цими параметрами описується формулою:

$$\tau_{\text{мак}} = K \cdot \frac{8PD}{\pi d^3};$$

де P – зусилля, Н

K – коефіцієнт;

D – середній діаметр навивки пружини, м

d – діаметр дроту, м.

Коефіцієнт K залежить від індексу пружини:

$$C_n = \frac{D}{d}; \quad (10)$$

Визначимо коефіцієнт:

$$K = \frac{4C_n + 1}{4C_n - 1}.$$

Також пружина має виконувати умову:

$$\tau_{\text{мак}} < [\tau].$$

де $[\tau]$ – допустимі напруги кручення, Н/м².

Значеннях цих напруг залежать від механічних властивостей матеріалу та коливаються в широких межах.

Задамо індексом пружини $C_p = 4..5$, який створює умови для визначити діаметру дроту:

$$d = \sqrt{\frac{8KPC_p}{\pi[\tau]}}$$

Кількість витків пружини становить $n = 4..6$

Зусилля затягування:

$$P = f \Delta P$$

де ΔP – тиск гомогенізації, Н/м^2

f – площа перетину каналу, м^2

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14(0,016)^2}{4} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$P = 20 \cdot 1000000 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 40 \cdot 10^2 \text{ Па} \cdot \text{м}^2$$

$$K = \frac{4 \cdot 4 + 1}{4 \cdot 4 - 4} = 1,4$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot 1,4 \cdot 4000 \cdot 4}{3,14 \cdot 30010^6}} = 0,0138 \text{ м}$$

$$D = C_m \cdot d_1 = 4 \cdot 0,0138 = 0,0552 \text{ м}$$

$$\tau_{\text{мак}} = \frac{1,4 \cdot 8 \cdot 4000 \cdot 0,0552}{3,14 \cdot 0,0138^3} = 299,68 \text{ Н/м}^2$$

Визначимо об'ємну продуктивність гомогенізатора:

$$\Pi = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot s \cdot n \cdot z \cdot \varphi;$$

де n – частота обертання, $n = 5,7 \text{ с}^{-1}$;

d – діаметр плунжера, $d = 0,04 \text{ м}$;

S – хід плунжера, $S = 0,03 \text{ м}$;

φ – ККД, $\varphi = 0,85$.

z – кількість плунжерів, $z = 3$.

Підставимо:

$$\Pi = (3,14 \cdot 0,04^2 \cdot /4) \cdot 0,03 \cdot 5,7 \cdot 3 \cdot 0,85 = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Потужність приводу:

$$N = \frac{\Delta t \cdot \Pi \cdot \rho \cdot c}{\varphi};$$

де c – масова теплоємність молока, $c = 3850$ Дж/(кг·К)

ρ – густина молока, $\rho = 1011$ кг/м³

$$N = \frac{5 \cdot 0,00027 \cdot 3850 \cdot 1011}{0,85} = 6,18 \text{ кВт}.$$

4.3. Висновки до розділу

При роботі гомогенізатора можливе виникнення гідравлічного удару в момент часу після відкривання всмоктувального клапана.

Запропоновано заходи із модернізації гомогенізатора дозволяють підвищити надійність його роботи шляхом запобігання руйнуванню робочих органів машини при виникненні гідравлічного удару.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці

5.1.1. Основні причини травматизму в харчовій галузі. Динаміка травматизму.

Харчова промисловість України характеризується широкою різноманітністю умов виробництва і праці у зв'язку з чим характер травм і професійних захворювань на різних підприємствах неоднаковий. За період з 2005 по 2015 травми отримали понад 10 тис. працівників галузі, з яких близько 600 – із летальними наслідками.

До найбільш травмонебезпечних виробництв харчової галузі відносяться хлібопекарські та цукрові заводи, на яких стається більше 50% травм із смертельними наслідками. За даними Державного комітету статистики на підприємствах харчової промисловості біля 14% нещасних випадків обумовлено технічними причинами, до 35% організаційно-технічними і більше 50% – організаційними.

В свою чергу до основних організаційних причин нещасних випадків відносяться: незадовільна організація, відсутність нагляду за проведенням робіт, незадовільне утримання і недоліки в організації робочих місць, допуск до роботи ненавчених або не проінструктованих працівників, невикористання засобів індивідуального захисту у зв'язку з їх відсутності або невідповідності умов праці, порушення трудової та виробничої дисципліни, експлуатація несправного технологічного обладнання, порушення правил руху внутрішньо цехового або внутрішньо заводського транспорту, недостатня оперативність надходження даних, відсутність комплексної системи обліку, аналізу та прогнозування випадків травматизму.

Наведені дані свідчать, що значна частина нещасних випадків є наслідком недбалого ставлення до вимог охорони праці як самих працівників, так і керівників різних рівнів.

В цьому контексті представляють інтерес дані українських дослідників, відповідно до яких, серед осіб які допустили порушення законодавства про

охорону праці на підприємствах харчової галузі, що привело до нещасного випадку, 52% складають керівники.

За таких обставин досягти належного рівня безпеки праці можливо лише при умові, що кожен учасник трудового процесу усвідомить важливість виконання вимог охорони праці.

В продовж останніх десятиліть спостерігається поступове зниження кількості нещасних випадків як в промисловості України загалом так і в харчовій галузі зокрема.

Проте одночасно із даним зниженням кількості нещасних випадків спостерігається поступове зростання тяжкості травматизму – збільшується кількість людино-днів непрацездатності з розрахунку на 1000 працівників.

5.1.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів підприємств харчової промисловості

Вплив шкідливих факторів на працюючих в певних умовах приводить до травми або іншого різкого погіршення здоров'я, а небезпечних до захворювання або зниження працездатності.

Фактори відрізняються не тільки кінцевими, несприятливими для людини результатами, що залежать від рівня виробничого фактора, але і тривалістю дії. Для небезпечного фактора характерна миттєва, а для шкідливого – довготривала дія, але в ряді випадків шкідливі наслідки, викликані короткотривалою дією шкідливого фактора розглядаються на рівні з травмами, розслідуються і облікуються як небезпечні випадки на виробництві. До них відносяться: гострі отруєння, теплові удари, обмороження а також ураження блискавкою на виробництві.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад: одноманітна праця, через одноманітні операції настає втома, що приводить до зниження працездатності і уваги. Останнє в травмонебезпечних ситуаціях може привести до невчасно прийнятого правильного або прийняттю неправильного рішення і закінчиться травмою.

За природою дії шкідливі і небезпечні фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Фізичні фактори:

- 1) рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, рухомі вироби, заготовки і матеріали;
- 2) підвищена або знижена температура поверхні обладнання, матеріалів повітря робочої зони;
- 3) вологість і рухомість повітря;
- 4) небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі;
- 5) підвищений рівень шуму, вібрації, інфрачервоного і ультразвуку;
- 6) підвищення або нестача природного освітлення, відсутність світла, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, блиск, підвищена пульсація світлового потоку;
- 7) гострі краї, шорсткості на поверхні обладнання, інструмента заготовок;
- 8) розміщення робочих місць на значній висоті від підлоги;
- 9) підвищений рівень УФ і ІЧ радіації;
- 10) електромагнітні випромінювання, статична електрика;
- 11) підвищена напруга електромагнітних полів;
- 12) підвищена або знижена іонізація повітря;
- 13) підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні;
- 14) підвищений або знижений барометричний тиску в робочій зоні і його різка зміна.

Для хлібопекарних, макаронних, кондитерських, цукрових, бродильних виробництв найбільш характерні шкідливі і небезпечні фактори 1-12. Наприклад: на хлібо заводах в багатьох випадках зовнішня поверхня печей перевищує температуру допустиму за санітарну норму 45°C, а температура газовідвідних каналів і труб через відсутність ізоляції становить 55-245 °. В приміщеннях багатьох підприємств виділяється пара. Температура повітря в літній час в ряді випадків на робочому місці складає 30 - 38°. Печі є джерелом ІЧ радіації.

Хімічні фактори. Речовини, які проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру чи травну систему можуть виявляти: загально токсичну; подразнюючу слизові носа, рота, очей; алергічну; мутагенну дію; впливати на репродуктивну функцію людини.

На виробництвах харчової промисловості фактори цієї групи мають достатньо широке розповсюдження при технічних процесах: видалення сірчаного газу, оксидів азоту з печей, диму і шкідливих речовин при підгорянні масла або продукції, CO₂ при обмороженні та інші.

Біологічні фактори. Поділяються на хвороботворні мікроорганізми і макроорганізми перші проникають в вигляді бактерій, вірусів, риккетсій, бактеріоподібні нерухомі організми що викликають інфекційні захворювання, спірохет, грибів і найпростіших.

Мікроорганізми поділяють на організми рослинного, і тваринного походження. Ці фактори зустрічаються в цукрових, хлібопекарських і бродильних виробництвах.

Психофізіологічні фактори. Поділяють на фізичні і нервово-психологічні перевантаження; перші включають статичні, динамічні, навантаження гіподинамію. М'язові статичні навантаження особливо погано впливають на працездатність. Вони поділяються на легкі (людина у вільній позі), середні (якщо вимушена поза складає 10-25% часу зміни), важкі (вимушена поза 50%) і дуже важкі > 50%. Психоневрологічні перевантаження поділяють на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1. Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють здатність його у надзвичайних ситуаціях випустити продукцію в запланованому об'ємі та номенклатурі, а при отриманні пошкоджень, руйнувань або порушенні зв'язків по кооперації, відновлювати виробництво в мінімальні терміни. Це розуміння стійкості поширюється у тому числі на підприємства харчової та переробної промисловості.

Стійкість підприємств харчової промисловості в умовах НС є особливо важливою, оскільки забезпечення населення продуктами харчування має здійснюватися навіть після виникнення масштабних надзвичайних ситуацій. У той же час як сировина так і готова продукція харчових підприємств має властивість швидко псуватися, що значно ускладнює забезпечення стійкості, зокрема технологічної.

Дослідження стійкості роботи підприємства – це всебічне вивчення обстановки, яка може скластися під час надзвичайної ситуації та визначення її впливу на виробничу діяльність підприємства. Мета дослідження полягає в тому, щоб виявити слабкі місця в роботі об'єкта та виробити найбільш ефективні пропозиції, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості роботи підприємства проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням спеціалістів науково-дослідних та проектних організацій. Організатором та керівником досліджень є керівник підприємства.

Увесь процес планування і проведення досліджень поділяється на три етапи:

I етап — підготовчий;

II етап — оцінка стійкості роботи об'єкта;

III етап — розроблення заходів, які підвищують стійкість роботи підприємства в умовах надзвичайної ситуації.

На першому етапі розробляються керівні документи, які визначають склад учасників досліджень та організовується їх підготовка.

Основними документами для організації досліджень стійкості роботи об'єкта є: наказ керівника підприємства, щодо проведення дослідження;

календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень; план проведення досліджень.

Наказ керівника підприємства розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням умов пов'язаних з виробничою діяльністю об'єкта. В наказі вказується: мета і завдання дослідження; терміни проведення робіт; склад учасників досліджень; склад і завдання дослідницьких груп; строки готовності облікової документації.

Календарний план основних заходів з підготовки до проведення досліджень визначає: основні заходи; терміни їх виконання; відповідних виконавців; сили та засоби, які залучаються для виконання завдань.

План проведення досліджень є основним документом, який визначає зміст роботи керівника дослідження і груп головних спеціалістів. В плані вказується: тема дослідження; мета дослідження; тривалість дослідження; склад дослідницьких груп та зміст їх роботи; порядок проведення дослідження. Термін дослідження встановлюється залежно від обсягу роботи та підготовки учасників і може тривати 2 – 3 місяці. Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об'єкті створюються дослідницькі групи. Їх кількість і чисельність залежить від обсягу вирішуваних завдань та специфіки виробництва.

На підготовчому етапі з керівниками груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, завдання кожної групи та визначає терміни дослідження.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта. В ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від уражаючих факторів, проводиться оцінка уразливості виробничого комплексу від різних уражаючих факторів, оцінюється характер можливих пошкоджень від вторинних уражаючих факторів, вивчається стійкість роботи системи забезпечення та кооперативних зв'язків з іншими об'єктами, з'ясовуються вразливі місця в системі управління, виробництвом.

Кожна група оцінює стійкість відповідних елементів виробничого комплексу та робить необхідні розрахунки.

Штаб Цивільної оборони ОГД в цей період оцінює загальний стан ІДО і визначає заходи для забезпечення захисту робітників і службовців. Для цієї роботи притягається ряд начальників служб, які виконують відповідні функції. Служба оповіщення і зв'язку вивчає і оцінює стійкість зв'язку з органами ЦО, виробничими підрозділами і формуваннями ЦО. Оцінює надійність системи зв'язку і оповіщення, повноту обладнання пунктів управління. Служба сховищ і укриттів оцінює інженерний захист робітників і службовців, правильність експлуатації сховищ і укриттів, готовність їх до використання за прямим призначенням. Розраховує час на оповіщення робітників і службовців, збір і укриття їх в захисних спорудах.

Служба радіаційного та хімічного захисту оцінює можливості роботи об'єкта в умовах радіації і дає пропозиції щодо захисту робітників і службовців від радіоактивного зараження, визначає типові режими радіаційного захисту людей, розробляє графік робочих змін для проведення РіНР. Аналізує забезпеченість робітників і службовців засобами індивідуального захисту, умови зберігання і порядок їх видачі. Готує пропозиції щодо організації і ведення радіаційної і хімічної розвідки, організації санітарної обробки людей, знезараження одягу, транспорту, техніки і споруд.

Медична служба розробляє заходи щодо організації медичного обслуговування робітників та службовців на об'єкті і в замиській зоні, а також при проведенні РіНР. Визначає сили і засоби для надання першої медичної допомоги потерпілим. Виробляє рекомендації з організації дозиметричного контролю при перебуванні людей у зоні радіоактивного зараження і рекомендації з захисту продуктів харчування і джерел водопостачання.

Служба охорони громадського порядку розробляє заходи з підсилення пропускну режиму, охороні матеріальних цінностей, забезпечення громадського порядку.

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи спеціалістів за підсумками досліджень готують підсумки і пропозиції з захисту робітників та службовців і підвищенню стійкості елементів виробництва, які досліджуються.

Група комплексних досліджень на основі доповідей інших груп складає загальний план, в якому визначаються: можливості щодо захисту робітників і службовців в ЗС; загальна оцінка стійкості об'єкта, найбільш слабкі (вразливі) ділянки виробництва; практичні заходи, терміни та обсяги робіт, які виконуються при повсякденній діяльності та при загрозі АС; порядок та приблизні строки відновлюваних робіт при різних ступенях руйнування. За результатами досліджень розробляються плани, в яких визначаються відповідні заходи, необхідні кошти на їх проведення, терміни і відповідальні особи за їх виконання.

Правильність проведених розрахунків та реальність пропозицій і рекомендацій перевіряються на спеціальних навчаннях під керівництвом начальника ЦО об'єкта. Завчасно плануються і проводяться, в основному, заходи які потребують значних матеріальних витрат та часу на їх виконання. Економічна ефективність цих заходів може бути досягнута при їх коригуванні з завданнями щодо безаварійної-роботи об'єкта, поліпшення умов праці, удосконаленню виробничого процесу, реконструкції виробництва і таке інше.

5.2.2. Радіоактивне забруднення місцевості та його вплив на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості

Серед уражаючих факторів ядерної аварії і ядерного вибуху особливе місце займає радіоактивне забруднення. Воно поширюється на сотні кілометрів. При цьому на великих площах може створюватися забруднення, яке буде небезпечним протягом тривалого часу.

В умовах радіоактивного забруднення місцевості виробнича діяльність харчових та переробних підприємств значно ускладнюється.

Для визначення конкретних параметрів впливу радіоактивного забруднення місцевості на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості виявляють і оцінюють радіаційну обстановку.

Радіаційна обстановка — це масштаб і ступінь радіоактивного забруднення місцевості, які впливають на дії формувань рятувальних служб, населення і роботу об'єктів народного господарства.

Радіаційна обстановка може бути виявлена й оцінена за даними прогнозу і розвідки.

Прогнозування радіоактивного забруднення проводиться на основі гіпотетичних розрахунків можливих аварій на атомних електростанціях, на основі встановлених закономірностей залежно від масштабів і характеру радіоактивного забруднення місцевості від потужності й виду ядерного вибуху та метеорологічних умов.

Для прогнозування радіоактивного забруднення місцевості необхідні такі вихідні дані: розміщення атомної станції, вид і потужність реактора, координати, потужність і вид ядерного вибуху, час аварії чи вибуху, напрямок і швидкість середнього вітру.

Середнім вітром називається вітер, який є середнім за швидкістю і напрямком для всіх шарів атмосфери від поверхні землі до висоти піднімання верхньої кромки хмари вибуху. Напрямок середнього вітру вказується азимутом у градусах.

Азимут середнього вітру — це кут у горизонтальній площині між напрямком, звідки дме вітер, і відрахованим за ходом годинникової стрілки.

Методом прогнозу можна встановити напрямок і швидкість руху радіоактивної хмари, час її підходу до населеного пункту, час випадання радіоактивних речовин, визначити розміри зон радіоактивного забруднення і найбільш імовірно їх розміщення на місцевості.

У зв'язку з тим, що процес випадання радіоактивних речовин може тривати кілька годин або днів, ця обставина дає можливість використати дані прогнозування завчасно, тобто до надходження радіоактивних речовин до населеного пункту і проведення низки особливо важливих заходів для захисту населення й особового складу рятувальних служб. До таких заходів належать: оповіщення про загрозу радіоактивного забруднення, підготовка об'єктів до переходу на режим роботи в умовах радіоактивного забруднення, завершення

робіт підготовки протирадіаційних укриттів для розміщення в них людей, підготовка індивідуальних засобів захисту органів дихання, підготовка тваринницьких приміщень для укриття сільськогосподарських тварин, заготівля кормів, укриття урожаю, захист джерел питної води, продуктів харчування, сировини та ін.

За результатами прогнозування проводиться оцінка можливих наслідків впливу радіоактивного забруднення на населення, на ведення рослинництва, тваринництва, лісового господарства та промислової діяльності.

Проте прогноз радіоактивного забруднення має відносний характер, тому його обов'язково уточнюють радіаційною розвідкою з метою своєчасного забезпечення штабів, командирів рятувальних формувань, керівників, власників і спеціалістів даними про фактичну радіаційну обстановку.

Конкретні дії особового складу рятувальних формувань, керівників, власників, спеціалістів і населення, встановлення режиму роботи об'єктів в умовах радіоактивного забруднення проводиться тільки на основі оцінки радіаційної обстановки за даними радіаційної розвідки. Тому збір і обробка необхідних даних, виявлення й оцінка радіаційної обстановки є одним із важливих завдань штабів, командирів формувань, органів управління цивільного захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений огляд обладнання для гомогенізації молока свідчить, що із ряду причин найбільше для виконання цієї операції підходять гомогенізатори клапанного типу.
2. Встановлена універсальна характеристика дала можливість для прогнозування зміни споживаної потужності клапанного гомогенізатора від технологічного значення тиску процесу гомогенізації.
3. Отримана кавітаційна характеристика гомогенізатора забезпечила можливість для запобігання кавітаційних процесів при роботі плунжера.
4. Також кавітаційна характеристика дозволила встановити максимальне, з точки зору проходження нормального процесу гомогенізації, значення гідравлічного опору (6,5 м) на всмоктуючій стороні до яких можна віднести крани, повороти та трубопроводи.
5. Аналіз отриманої осцилограми переміщення всмоктувального та нагнітального клапанів дав можливість оцінити можливість виникнення небезпек, які пов'язані із виникненням гідравлічного удару в момент часу, що настає після відмикання всмоктувального клапана (це може відбутися на початку руху молока із всмоктувального колектора в камеру).
6. Запропоновано матмодель руху молока крізь щілину клапанного гомогенізатора дала можливість виявити певну нерівномірність швидкості при русі молока. Середнє відхилення швидкості проходження рідини відповідно до математичної моделі від експериментальних даних становить 16,8 %.
7. Отримані за допомогою даної матмоделі дані дозволяють встановити характер нерівномірностей швидкостей при русі молока.

8. Отримані за допомогою матмоделі результати в першому наближенні можуть бути застосовані до протікання молока або інших не в'язких молочних продуктів в трубі з прямокутним перетином, у якому значення максимальної висоти є значно нижчою у порівнянні з шириною зазору.
9. При роботі гомогенізатора можливе виникнення гідравлічного удару в момент часу після відкривання всмоктувального клапана.
10. Запропоновано заходи із модернізації гомогенізатора дозволяють підвищити надійність його роботи шляхом запобігання руйнуванню робочих органів машини при виникненні гідравлічного удару.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шинкарик М.М. Дослідження компресійно-фільтраційних характеристик білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2012. – №1(15). – С.476-484.
2. Старинський О.Ю. Дослідження кавітаційної характеристики гомогенізатора клапанного типу/ О. Ю. Старинський // зб. тез доп. ІХ Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 158.
3. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография-справочник. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 392 с.
4. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. М., Л.: Госиздат технико-теоретической литературы – 420 с.
5. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. | Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я.-Ц.:ЦНЛ "Інкос", 2007. – 344с.
6. Быков В.В., Быков В.П. Исследовательское проектирование в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.
7. Сеньо П.С. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. / П.С. Сеньо – К.: Знання, 2007. – 556с.
8. Кармелюк Г. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач. / Г. І. Кармелюк – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 576с.
9. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Мир, 1972. – 332с.
10. Гусак А. А. Справочник по высшей математике / А. А. Гусак, Г. М. Гусак, Е. А. Бричикова. – Минск.: ТетраСистемс, 2009. – 640с.
11. Брусиловский Л.П. Автоматизация технологических процессов в молочной промышленности / Л.П. Брусиловский, А.Я. Вайнберг. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 344 с.

12. Israelachvili J. N. Intermolecular and Surface Forces (Third Edition) / J. N. Israelachvili. – Santa Barbara: University of California, 2011. – 467 P.
13. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
14. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 384 с.
15. Власенко В.В. «Технологія виробництва і переробки молока і молочних продуктів» - В. 2000г.
16. Гончаров Н.Н. Справочник механика молочной промышленности – М. 1959 г.
17. Дилажен З.Х. «Молочное дело» -М. «Колос» 1979 г. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. — 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / Стеблюк М.І. — К., 2010. — 487 с.
18. Васійчук В.О. Основи цивільного захисту. Навч. посібник / В.О. Васійчук, В.Є Гончарук, С.І. Качан, С.М. Мохняк. - Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2010. - 417с.
19. Шинкарик М.М. Аналіз гранулометричного складу білкової дисперсної фази / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2011. – Т. 2, № 40. – С. 266-269.
20. Шинкарик М.М. Дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази при виробництві сиру кисломолочного / М.М. Шинкарик,
21. О.І. Кравець // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – №1(53) – С.226-230.
22. Shynkaryk M. Mathematical modelling of the separation of suspension process on the filter with self-purifier filter element / M. Shynkaryk, O. Kravets / Ukrainian Food Journal. – 2016. № 1. – P. 135-143.