

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)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему:

**Модернізація плунжерного блоку гомогенізатора для
молока марки А1-ОГМ-2,5**

Виконав: студент VI курсу, групи МО_м-61,

спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

Стадницький М.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кравець О.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

Анотація

Стадницький Микола Андрійович. Модернізація плунжерного блоку гомогенізатора для молока марки А1-ОГМ-2,5.

Робота виконана за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2023.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню надійності роботи обладнання для гомогенізації молока.

Здійснено дослідження роботи плунжерного блоку гомогенізатора марки А1-ОГМ-2,5, на основі результатів яких побудовано характеристики клапанного гомогенізатора. Вивчено переміщення клапанів гомогенізатора. Запропоновано заходи із модернізації. Розроблено математичну модель процесу проходження продукту крізь зазор клапана.

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

Зміст

Вступ	6
1. Огляд обладнання для гомогенізації молока	8
1.1. Огляд існуючих способів та обладнання для гомогенізації	8
1.1.1. Клапанний тип	8
1.1.2. Роторний тип	9
1.1.3. Відцентрові гомогенізатори	10
1.1.4. Ультразвукові гомогенізатори	12
1.1.5. Зубчасті гомогенізатори	14
1.1.6. Гомогенізатори струменевого типу	16
1.1.7. Вихрові гомогенізатори	19
1.2. Аналіз вихідної інформації	20
1.3. Мета та основні задачі	21
2. Структурно-кінематичний аналіз	22
2.1. Аналіз структури гомогенізатора А1-ОГМ-2,5	22
2.2. Кінематичний розрахунок приводу гомогенізатора	25
2.3. Конструкторський та міцністний розрахунок	28
2.3.1. Розрахунок шківів	28
2.3.2. Розрахунок колінчастого вала	30
2.3.3. Розрахунок шатуна	36
2.3.4. Підбір підшипника	38
3. Дослідження роботи плунжерного блоку гомогенізатора	40
3.1. Дослідження універсальної робочої та кавітаційної характеристик гомогенізатора	40
3.2. Дослідження переміщення всмоктуючого та нагнітаючого клапанів	42
3.3. Математичне моделювання процесу протікання рідини через щілину клапанного гомогенізатора	44
3.4. Перевірка математичної моделі	49

3.5. Висновки до розділу	51
4. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЛУНЖЕРНОГО БЛОКУ ГОМОГЕНІЗАТОРА	53
4.1. Опис модернізації плунжерного блоку гомогенізатора	53
4.2. Розрахунок параметрів роботи модернізованого гомогенізатора	54
4.3. Висновки до розділу	60
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	61
5.1 Охорона праці	61
5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях	64
Висновки	76
Перелік посилань	77
Специфікації	78

Вступ

Актуальність теми.

Тема гомогенізації виробів молочної промисловості є надзвичайно важливою для підвищення якості та поживності продуктів. Гомогенізація відіграє ключову роль у забезпеченні якісних характеристик цих продуктів, одночасно покращуючи їхні властивості.

Незважаючи на різноманіття конструкцій гомогенізаторів, у молочній промисловості перевага часто віддається клапанним машинам. Це пов'язано з їхньою здатністю ефективно роздроблювати жирові кульки, що робить процес більш стабільним.

В умовах сьогодення питання підвищення продуктивності гомогенізації залишається актуальним.

Мета і завдання досліджень.

Метою роботи було підвищення ефективності обробки молока на плунжерному гомогенізаторі за рахунок модернізації плунжерного блоку.

Основні задачі:

- побудова характеристик гомогенізатора;
- дослідження залежності швидкості протікання продукту через міжклапаном та сідлом від продуктивності;
- моделювання процесу протікання продукту через зазор гомогенізатора;
- побудова графіків переміщення клапанів.

Об'єкт дослідження – процес протікання молока через зазор плунжерного блоку

Предмет дослідження – характеристики плунжерного блоку гомогенізатора марки А1-ОГМ-2,5

Методи дослідження. Використовувалися традиційні методи аналізу, а також спеціально розроблені методики для вивчення плунжерного блоку в клапанному гомогенізаторі.

Наукова новизна отриманих результатів:

Отримано математичну модель, яка дозволяє визначати швидкість протікання молока в будь який момент часу.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати можуть знайти застосування у вивченні потоку молока у каналах з прямокутним перетином.

Апробація результатів досліджень. Результати досліджень роботи апробувалися на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», що проходила в ТНТУ 6-7 грудня 2023 року.

1. Огляд сучасного обладнання для гомогенізації

1.1. Огляд способів та обладнання для проведення гомогенізації

1.1.1. Клапанний тип гомогенізаторів

Продукт, що просувається під тиском через систему багатоплунжерного насоса, введений у проміжок між сідлом та клапаном. Під час проходження молока через канал відбувається його роздрібнення, що призводить до збільшення кількості жирових кульок в декілька сотень разів. Продукт подається у плунжерний насос гомогенізатора(рис. 1.1.).

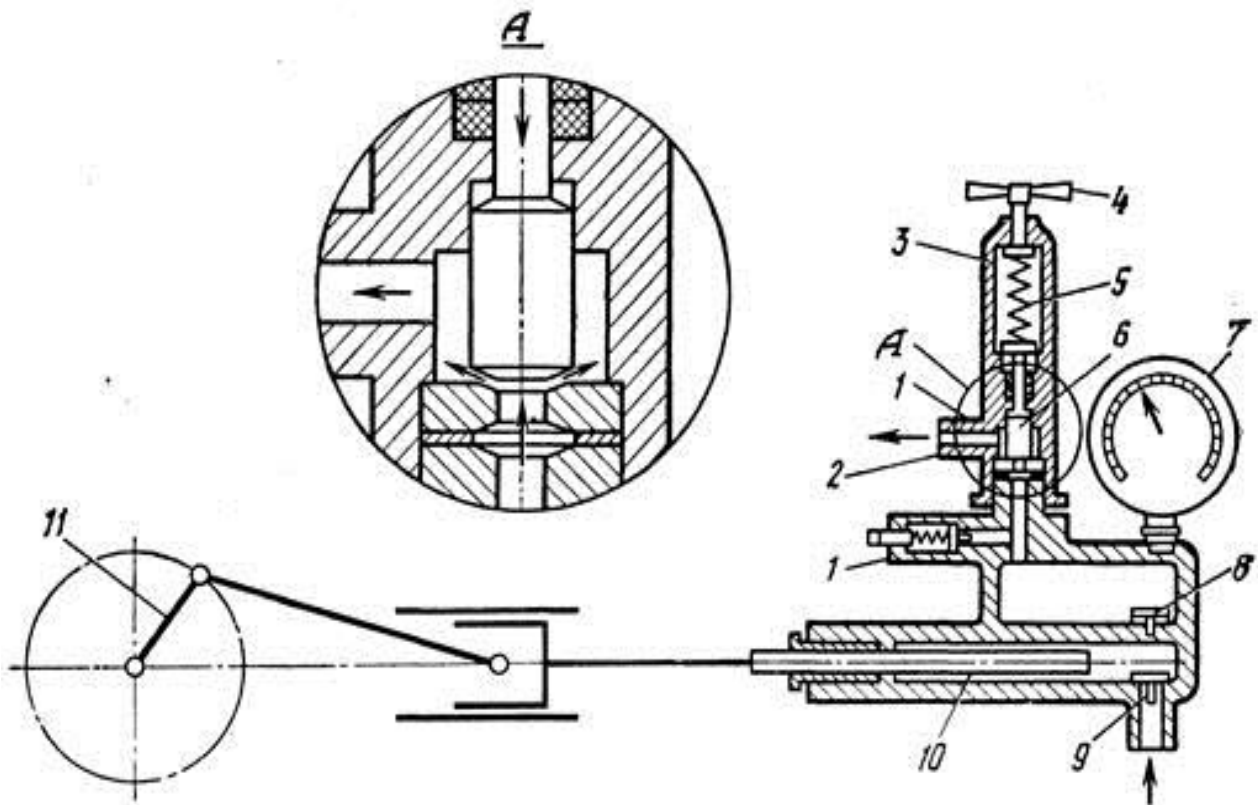


Рис. 1.1. Схема клапанного виду гомогенізатора

1-запобіжний клапан; 2-вхідний патрубок; 3-корпус гомогенізатора; 4-гвинт; 5-пружина; 6-клапан; 7- манометр; 8-нагнітаючий клапан;
9 -клапан; 10- плунжер; 11 - привід гомогенізатора.

Зазор (щвдина) регулюється за допомогою гвинта 4, а тиск у процесі гомогенізації контролюється за манометром 7.

Гомогенізатори відносяться до обладнання, яке вимагає багато енергії та має значний вміст металу. У більшості харчових виробництв зараз використовуються клапанні двоступінчасті машини.

Клапанні гомогенізатори мають кілька переваг:

- мають масове виробництво, що означає велику кількість виготовлених одиниць;
- вони широко застосовуються в промисловості;
- забезпечують високий рівень гомогенізації,

Проте існують деякі недоліки клапанних гомогенізаторів:

- Висока вартість, що може зробити їх недосяжними для деяких підприємств.
- Низький технічний коефіцієнт корисної дії (0,0018 %), що може вказувати на неефективне використання енергії.
- Великі маса і розміри, що може створювати проблеми з розміщенням і експлуатацією в обмежених просторах.
- Складна конструкція, що може вимагати спеціалізованого обслуговування та ремонту.
- Відсутність машин низької продуктивності, що обмежує їх використання в менших обсягах виробництва.
- Високі витрати енергії (6,5 – 7,6 кВт/т), що можуть призводити до значних витрат.
- Двоступінчастий процес обробки, що може потребувати додаткових ресурсів і часу для завершення процесу.

1.1.2. Роторний тип

Роторний гомогенізатор функціонує наступним чином: сировина спочатку подається в бункер, після чого шнеки використовуються для тиску

продукту через ротор. Щоб уникнути прилипання сировини до робочих поверхонь, їх змащують перед початком роботи.

Переваги:

- Компактні розміри та вмістимість металевих частин.
- Проста конструкція.
- Широкий спектр продуктивності.
- Великий діапазон застосування в промисловості.

Недоліки:

- Обмежена ефективність (лише для високов'язких рідин).
- Обмежений ступінь подрібнення.
- Диспергує лише водяну фазу.
- Вимагає постійного змащення рухомих деталей апарату.

Отримати гомогенізацію від роторних гомогенізаторів легше, оскільки вони простіші у порівнянні з клапанними гомогенізаторами та майже не мають швидкозношуваних деталей. Однак роторні машини не завжди забезпечують високу якість гомогенізації.

Їх робота базується на електрогідравлічному ефекті, коли в рідині утворюються тиск та ударні хвилі, що призводять до подрібнення жирових кульок у 6-8 разів. Цей ефект має короткий час дії і майже не впливає на властивості рідини. Однак тривала дія може змінити смак продукту.

1.1.3. Відцентрові гомогенізатори

Цей тип устаткування складається з двох дисків (рис. 1.2): один залишається нерухомим, а інший обертається, пов'язаний з валом двигуна 9. Рухливий диск має кільцеподібні виступи з отворами 4, 5, 6, які входять у пази на іншому диску. Молоко поступає через вхідний патрубок і потрапляє у внутрішнє кільце, прикріплене до обертаючогося диска. При певних обертах

виникають ділянки у зазорі між дисками з різним тиском: це спричиняє явище кавітації та гідравлічного удару. Це спричиняє роздроблення жирових кульок в продукт та активне перемішування його.

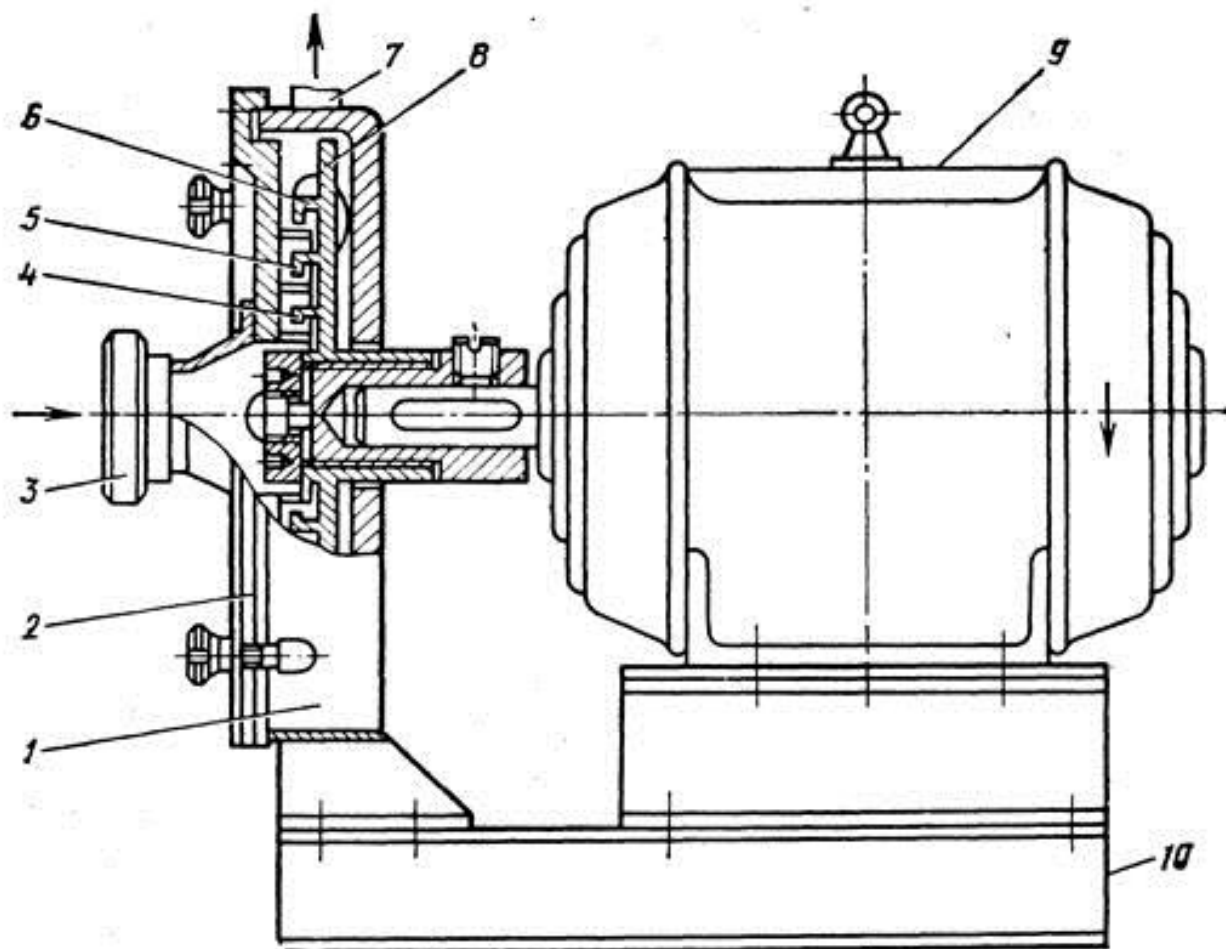


Рис. 1.2. Схема відцентровий гомогенізатора.

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

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

Переваги такого підходу:

- Енергоефективність.
- Невелика вага.

- Можливість використання гомогенізатора як насосу для перекачування продукту.
- Низький вміст металу.
- Стійкість пристрою до забруднень
- Малі габарити.

Недоліки цього методу:

- Обмежений рівень гомогенізації.
- Істотний знос робочих елементів устаткування.
- Ризик забруднення оброблюваного продукту.
- Необхідність посилення поверхонь робочих органів спеціальним обробленням.

1.1.4. Ультразвукові гомогенізатори

Ультразвукові гомогенізатори, як показано на рисунку 1.3, створюють пружні звукові та ультразвукові хвилі у рідині, яка піддається обробці. Один з їх видів — це гідродинамічний свисток. Його робота полягає в тому, що молоко проходить через зону максимального впливу ультразвукового поля, яке створюється самим потоком. Цей потік розділяється на струми, які багаторазово перетинаються з великою швидкістю, спричиняючи утворення високочастотних акустичних коливань.

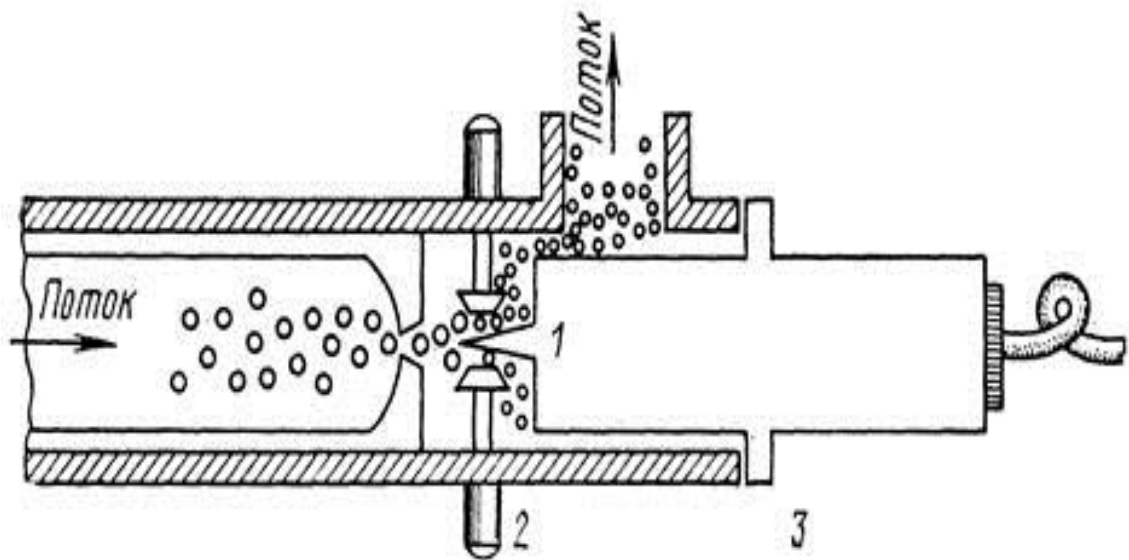


Рис. 1.3. Схема процесу ультразвукової гомогенізації
1-віброелемент; 2-регулюючий пристрій; 3-блок резонансний.

Ультразвуковий метод має чимало переваг:

- Високий рівень емульгування — наближається до 95%;
- Стійкість до забруднення оброблюваного продукту.
- Велика дисперсність (0,15-0,55 мікрометрів);
- Низька металомісткість;
- Стійкість емульсії протягом тривалого зберігання;
- Менші енерговитрати (в 5-6 разів менше, ніж у обладнання з аналогічною продуктивністю, що використовується у молочній промисловості України);
- Простота коригування рівня обробки;
- Можливість комбінування з бактеріальним очищенням;
- Гнучкість у створенні гомогенізатора з різною продуктивністю;

Недоліки

- Недостатнє розуміння процесів, які відбуваються під час ультразвукової гомогенізації;
- Низький рівень гомогенізації — найменший розмір жирових кульок не перевищує 1,5 мікрометрів;

- Велика чутливість до пульсації насосу;
- Складна конструкція гомогенізаторів з електромеханічним збудником.

1.1.5. Зубчасті гомогенізатори

Головними компонентами гомогенізатора зубчастого типу (рис. 1.4) є корпус 2 та рухливий диск 8, які утворюють головку для гомогенізації. Обидва диски мають зубчасту структуру на своїх поверхнях.

Машина працює наступним чином: молоко подається через патрубок у головку для гомогенізації. Під час обертання рухливого диска 8 (при нерухомому диску 2) за рахунок зубчастої структури поверхні відбувається перетирання продукту, що призводить до його гомогенізації.

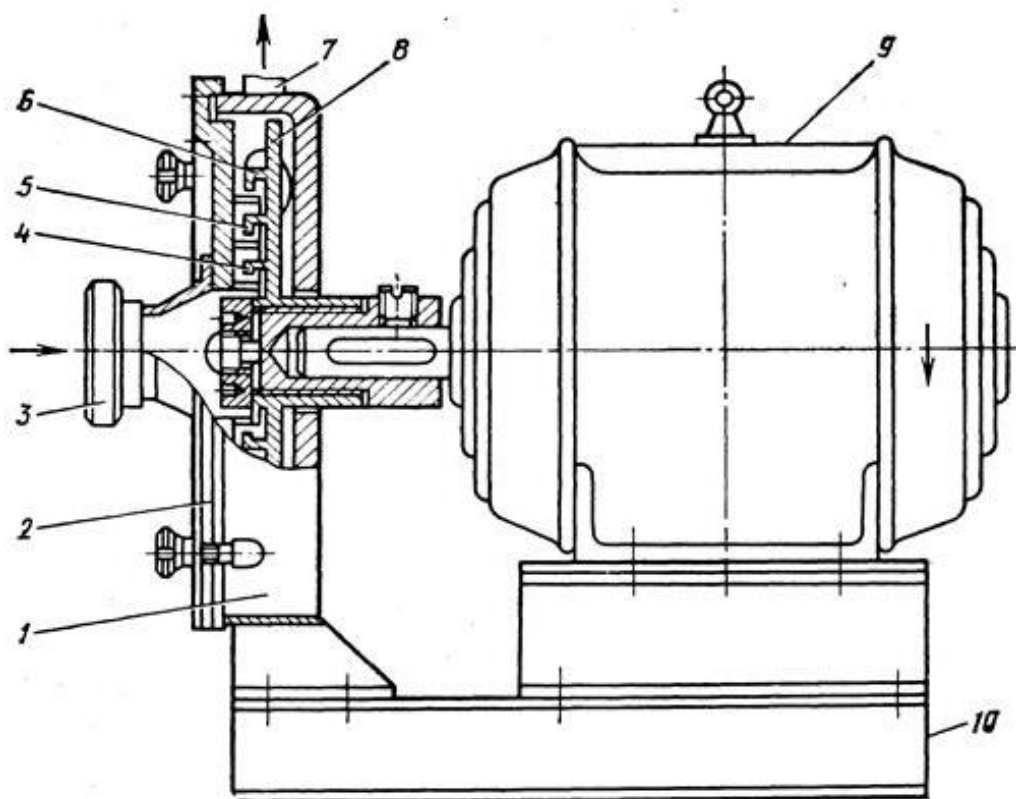


Рис. 1.4.. Зубчастий гомогенізатор

- 1-корпус апарату; 2-нерухомий диск; 3-впускний патрубок; 4, 5, 6-кільця;
 7-випускний патрубок; 8-диск, що обертається; 9-привід гомогенізатора;
 10-станина

Переваги зубчастих гомогенізаторів включають:

- економію енергії;
- невелику вагу металевих деталей;
- компактні розміри;
- широкий спектр можливостей для налаштування продуктивності гомогенізатора.

У той же час, недоліки такого типу гомогенізаторів включають:

- потребу у точному монтажі;
- складність виготовлення поверхні диска;
- можливість забруднення молока частинками відносного зношення дисків.
- високу вартість створення зубчастої поверхні диска;
- інтенсивне зношування дисків;
- необхідність відсутності твердих частинок у продукті, що обробляється;

1.1.6. Гомогенізатори струменевого типу

У струменевому гомогенізаторі жирові кульки подрібнюються при зіткненні продукту з соплом форсунки за рахунок турбулентних пульсацій та завихрень. Гомогенізація також відбувається під час виходу з сопла за рахунок різниці швидкостей, яка виникає при ударі продукту об пластину.

Цей метод гомогенізації відомий як струменова гомогенізація з нерухомим відбивачем. Крім того, подрібнення відбувається при швидкому гальмуванні жирових кульок при зіткненні двох потоків продукту, цей метод відомий як протитечійно-струменова гомогенізація.

Під час роботи струменевого гомогенізатора з нерухомим відбивачем (рис. 1.5), потік рідини 2, що виходить з форсунки 1, зіштовхується з металевим відбивачем 3, що призводить до руйнування жирових кульок у такому процесі.

У протитечійно-струменевому гомогенізаторі (рис. 1.6) робота полягає у зіткненні двох струменів рідини 2, що виходять з розташованих на одній осі сопел 1.

Зіткнення струменів з приблизно однаковою швидкістю веде до виникнення значної різниці у швидкостях потоку рідини. Це сприяє появі напружень зсуву, які руйнують жирові кульки. У випадку протитечійно-струменевої гомогенізації швидкість зіткнення струменів є удвічі більшою порівняно зі струменевою гомогенізацією з використанням відбивача.

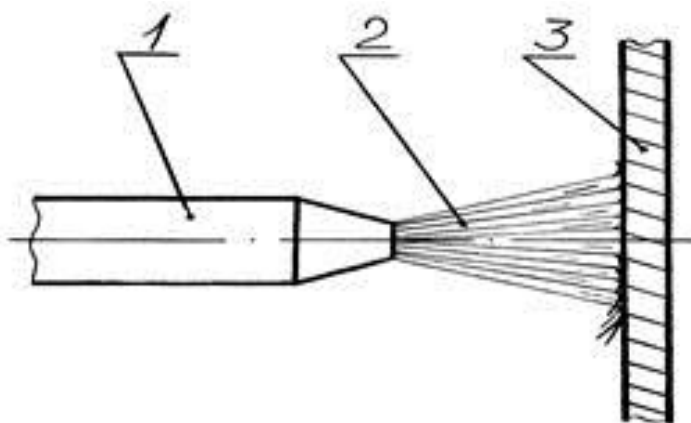


Рис. 1.5. Схема струменевої гомогенізації з відбивачем
1-форсунка; 2- струмінь; 3- відбивач.

За таких умов потрібні менші затрати енергії та відбувається якісніше перемішування продукту.

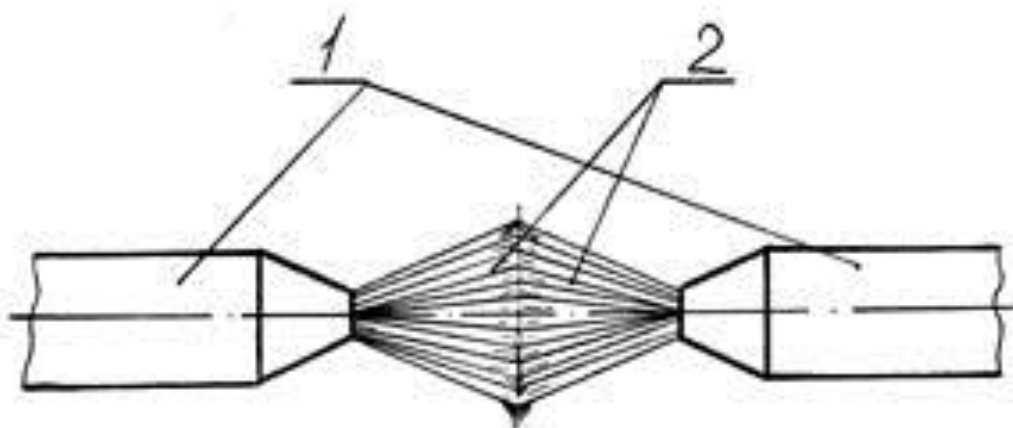


Рис. 1.6. Схема процесу протитечійно-струменевої гомогенізації
1-форсунка; 2- струмінь продукту.

У процесі протитечійно-струменевої гомогенізації виявлено, що спостерігається знищення шкідливої мікрофлори у продукті, а також відбуваються позитивні зміни у мікроструктурі молока.

Один з прикладів обладнання для струменево-вихрової гомогенізації - це гомогенізатор під маркою Я9-ОЖЗ, оснащений обертаючимся ротором і тангенціальними каналами.

У цій системі продукт, який пройшов через канали ротора, розпилюється і зіштовхується з кільцевим відбивачем. Це призводить до подрібнення жирових кульок. Основним елементом гомогенізатора Я9-ОЖЗ є блок 5, обладнаний отворами (див. рис. 1.7).

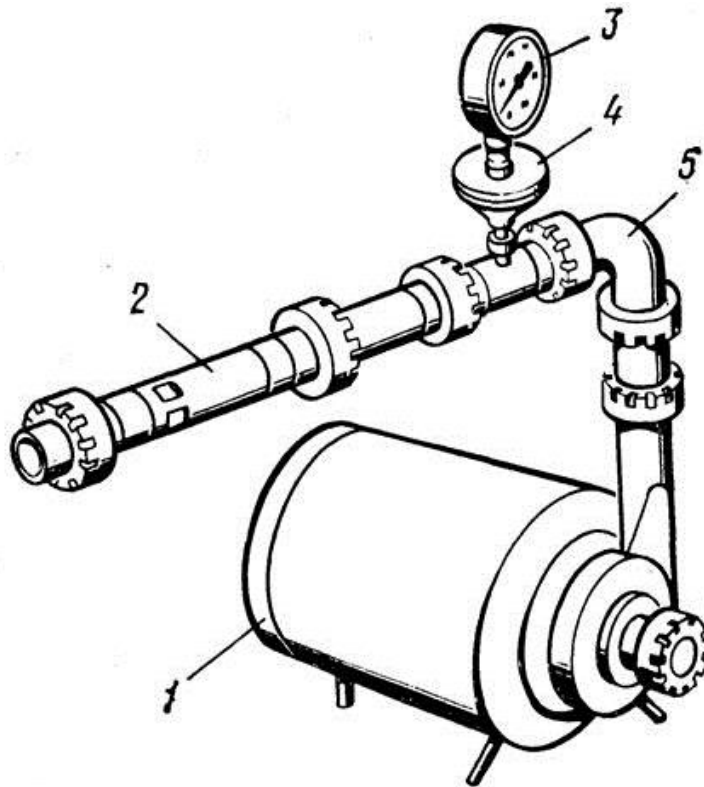


Рис. 1.7. Схема струменево-вихрового гомогенізатора Я9-ОЖЗ

1-насос; 2-труба; 3-манометр; 4-розділювач; 5-блок.

Протитечійно-струменевий тип гомогенізації має декілька переваг:

- Енергоефективність;

- Компактні габарити;
- Невисока металева чутливість;
- Широкий діапазон продуктивності;
- Можливість налаштування продуктивності під час роботи;
- Високий рівень гомогенізації;
- Можливість обробки забруднених продуктів;
- Проста конструкція;
- Поєднання гомогенізації з миттєвою стерилізацією молока у одному пристрої.

Що стосується недоліків протитечійно-струменевої гомогенізації то слід відмітити наступні:

- Низька рівень індустріального використання цього методу;
- Недостатня глибина дослідження процесів, що відбуваються під час цієї гомогенізації.

1.1.7. Вихрові гомогенізатори

Це обладнання для гомогенізації складається з пари циліндричних камер різних діаметрів, розташованих по одній осі. Початково молоко подається в більшу камеру, де його потік обертається і направляється до меншої камери.

В центрі меншої камери рідина рухається в кільцевому напрямі, спричиняючи зону зменшення тиску. Це створює турбулентну течію, яка призводить до руйнування жирових кульок.

Отже, вихровий гомогенізатор має свої переваги:

- енергоефективність;
- надійна конструкція;
- можливість широкого регулювання продуктивності;
- здатність перемішувати продукт;
- менша чутливість до засмічення молока.

Тим не менш, він також має свої обмеження:

- низький рівень гомогенізації;
- обмежена наукова база щодо процесу вихрової гомогенізації.

Загалом, з усіх оглянутих видів обладнання для гомогенізації молока, найпоширенішими та найбільш використовуваними є плунжерні гомогенізатори.

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

Темою кваліфікаційної роботи є модернізація плунжерного блоку гомогенізатора для молока марки А1-ОГМ-2,5

Вихідною інформацією для виконання кваліфікаційної роботи був технічний паспорт гомогенізатора марки А1-ОГМ-2,5.

Призначенням даного гомогенізатора є подрібнення та рівномірний розподіл кульок жиру в молоці та деяких інших продуктах молочного виробництва.

Технічні характеристики гомогенізатора А1-ОГМ-2,5 представлено нижче у вигляді таблиці 1.1..

Таблиця 1.1. Технічні характеристики гомогенізатора А1-ОГМ-2,5.

Параметри	Розмірність	Значення
1	2	3
Маса	кг	3000
Максимальний робочий тиск гомогенізації	МПа	15
Кількість ступеней гомогенізації		1
Потужність	кВт	11
Максимальна кількість подвійних ходів	1/хв	350

плунжерів		
Мінімальна продуктивність	м ³ /год	1000
Габаритні розміри, мм:		
висота	м	1,65

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3
ширина	м	1,49
довжина	м	1,12

1.3. Мета та основні задачі роботи

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності процесу оброблення молока на гомогенізаторі марки А1-ОГМ-2,5.

Основні задачі:

- огляд сучасних тенденцій у сфері гомогенізації молока;
- розроблення універсальної та кавітаційної характеристик плунжерного гомогенізатора;
- дослідження залежності швидкості молока в кризь щілині між клапаном та сідлом від інтенсивності роботи апарата;
- моделювання процесу протікання продукту у щілині гомогенізатора;
- розроблення заходів із модернізації гомогенізатора марки А1-ОГМ-2,5
- дослідження переміщення нагнітального і всмоктувального клапанів машини;
- побудова осцилограм руху клапанів.

2. Структурний аналіз

2.1. Аналіз структури гомогенізатора А1-ОГМ-2,5

Гомогенізатор приводиться в рух за допомогою електродвигуна 1 через механізм клинопасової передачі 3. Електродвигун розташований на обертовій платформі, яка може обертатися на певний кут, регулюючи ступінь натягу пасу.

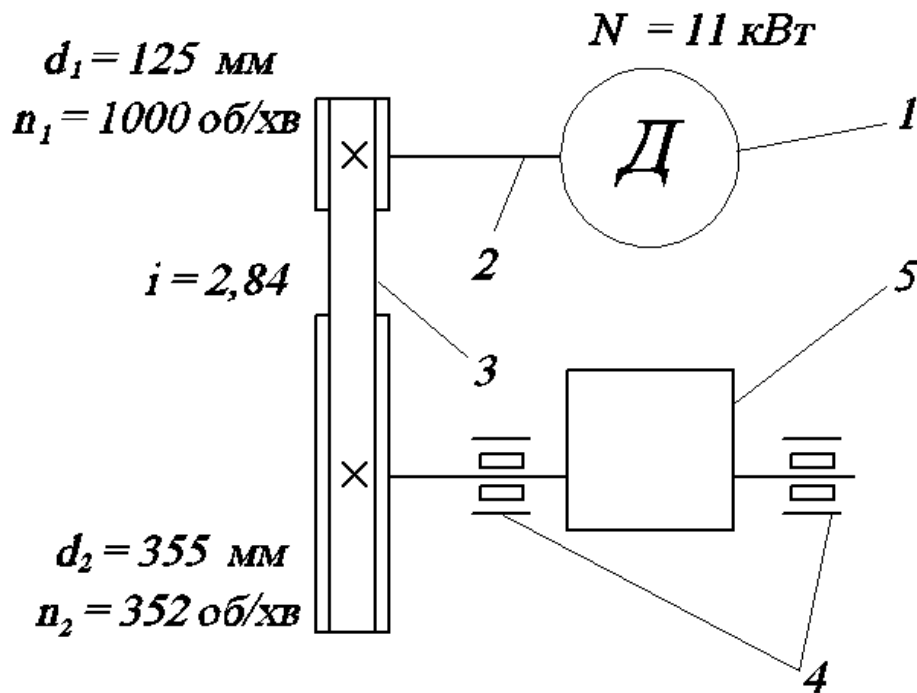


Рисунок 2.1. Кінематична схема гомогенізатора

1 – електродвигун; 2 – вал; 3 – пасова передача; 4 – підшипники;
5 – кривошипно-шатунний механізм.

Механізм кривошипно-шатунного типу в гомогенізаторі використовується для перетворення крутного руху, що передається через пасову передачу від електродвигуна, у зворотно-поступальний рух плунжерів. Ці плунжери, використовуючи ущільнювальні манжети, проникають у робочі камери плунжерного блоку. Вони виконують рухи всмоктування та нагнітання, створюючи необхідний тиск для гомогенізації рідини у цих камерах.

2.1.1 Аналіз структури кривошипно-шатунного механізму гомогенізатора

Механізм кривошипно-шатунного типу гомогенізатора складається з колінчастого вала 1, зображеного на рисунку 2.2, шатунів 2, повзунів 3 та прямо прикріплених до них плунжерів 4. Колінвал закріплено на роликівих підшипниках 6. Головка шатуна є роз'ємною та фіксується на колінчастому валу за допомогою двох болтів. В зазорі між валом та головкою розташовані спеціальні бронзові вкладки. Зазор між ними та валом регулюється за допомогою прокладок. В свою чергу шатун з'єднаний з повзуном через запресований палець 7.

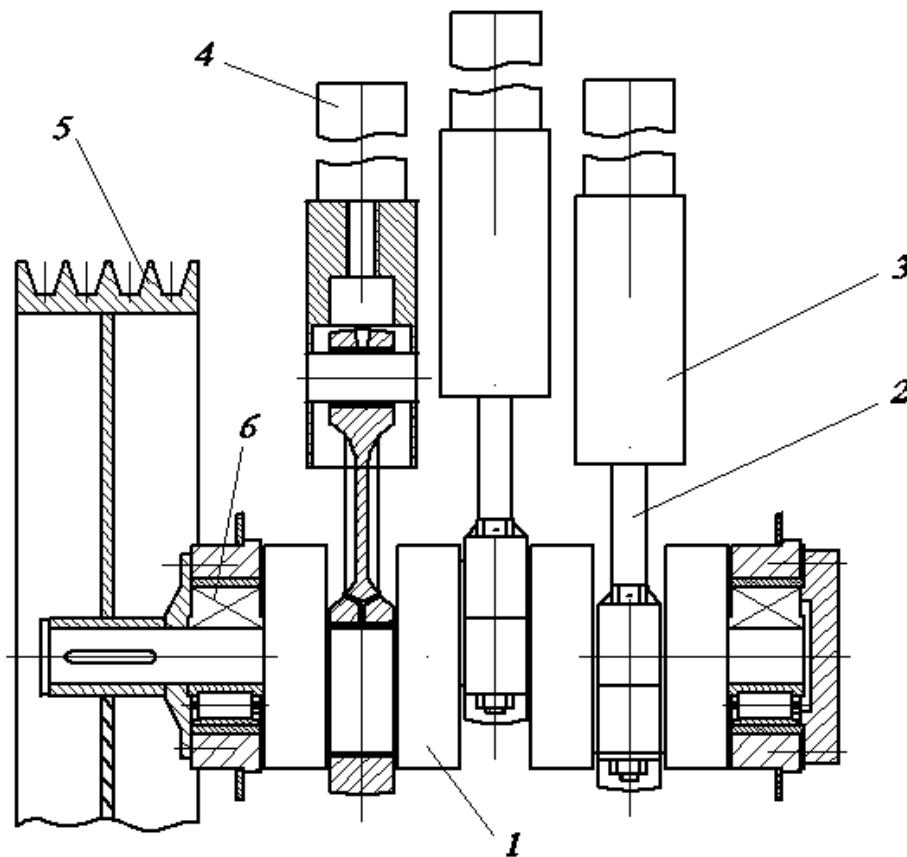


Рис. 2.2. Кривошипно-шатунний механізм гомогенізатора

A1-ОГМ-2,5

- 1 – колінвал; 2 – шатун; 3 – повзун; 4 – плунжер; 5 – шків;
6 – роликівий підшипник

Кривошипно-шатунний механізм у плунжерних гомогенізаторах витримує значні навантаження, особливо на колінчастому валу, шатунах, повзунах і плунжерах.

Цей механізм піддається наступним силам під час різних рухів:

- Під час обертання: виникають дотичні сили, що відповідають сумарним силам зворотно-поступального руху.
- У випадку зворотно-поступального руху: діє тиск нагнітання, сили інерції в русі та сили тертя.
- Також спостерігаються відцентрові сили, які виникають внаслідок інерції обертання мас та від тертя під час обертання окремих деталей механізму.

Зміна кута повороту колінчастого валу впливає на величину та напрямок цих сил. Однак, незважаючи на це, напрям ліній дії цих сил залишається паралельним вісі плунжера. Тобто, хоча сила може змінювати свою величину і напрямок у залежності від кута повороту, вона все одно залишається паралельною осі плунжера.

Сумарну силу, яка діє в напрямку осі плунжера можна визначити із рівняння:

$$F_{\Sigma} = P + F_{\text{ін.}} + R_{\text{тр.}} = (pF_{\text{п}} - p_{\text{в}}F_{\text{в}}) + F_{\text{ін.}} + R_{\text{тр.}},$$

де R_{Σ} – загальна сила, що діє в напрямку осі плунжера, Н;

$R_{\text{тр.}}$ – сила тертя, Н;

P – сила, яка діє на плунжер, Н;

$F_{\text{п}}$ – площа перерізу плунжера, м².

$F_{\text{ін.}}$ – сила інерції зворотно-поступального руху, Н;

p – тиск, який діє на плунжер гомогенізатора з боку протилежного колінвалу, Па;

$p_{\text{в}}$ – тиск на плунжер зі сторони колінвалу, Па.

Необхідні вихідні дані для конструкторського та кінематичного розрахунків гомогенізатора представлено в таблиці 2.1.

Табл. 2.1.

Вихідні дані

Параметр, розмірність	Значення
Продуктивність, м ³ /год	1000
Кількість плунжерів, шт	3
Максимальний робочий тиск процесу гомогенізації молока, МПа	15
Діаметр плунжера, м	0,04
Число ходів плунжерів за хвилину, хв. ⁻¹	145
Кількість обертів колінвала с ⁻¹	5,67
Потужність машини, кВт	11
Кількість ступенів гомогенізації	1
Частота обертання двигуна, с-1	16,7

2.2. Кінематичний розрахунок приводу гомогенізатора

Число обертів двигуна:

$$n_1 = 16,7 \cdot 60 = 1000 \text{ хв}^{-1}.$$

Число обертів колінчастого вала:

$$n_2 = 5,65 \cdot 60 = 340 \text{ хв}^{-1}.$$

Таким чином за потужності 11,0 кВт і числв обертів електродвигуна 1000 об/хв вибираємо січення пасу Б.

Тоді передаточне відношення:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1000}{340} = 2,94 .$$

Так як максимальна число пасів становить 3, то необхідно, щоб потужність, що передається одним єдиним пасом була:

$$N_0 \geq \frac{P}{3} = \frac{11}{3} = 2,7 \text{ кВт.}$$

Із таблиць беремо, що за передаточного числа $u=3$ і потужності двигуна $N_0=3,5$ кВт діаметр буде становити $d_1=125$ мм.

Далі Визначаємо діаметр більшого шківa передача при відносному коефіцієнті проковзування $\xi =0,02$:

$$d_2=d_1u(1-\xi)=125 \cdot 2,94(1-0,02)=360 \text{ мм.}$$

Відповідно до ГОСТ-2089580 беремо $d_2 = 355$ мм. В такому разі дійсне передаточне відношення становитиме:

$$i_d \geq \frac{d_2}{d_1} = \frac{355}{125} = 2,84$$

Часло обертів колінвала:

$$n_2 \geq \frac{n_1}{i_d} = \frac{1000}{2,84} = 352 \text{ хв}^{-1}$$

Відхилення становитиме:

$$\frac{355 - 352}{355} = 8 \cdot 10^{-3} = 0,8\% ,$$

що повністю задовольняє умову.

В свою чергу міжосева відстань між двома шківaми передачі має задовільняти умову:

$$a_{\min}=0,55(d_2-d_1)+T_0.$$

Підставимо:

$$a_{\min}=0,55(125+355)+10,5=274,5\text{мм.}$$

Беремо $a = 500$ мм.

Розрахункова довжина пасу передачі:

$$L_p = \frac{2a + \pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} =$$

$$= \frac{2 \cdot 500 + 3,14(355 + 125)}{2} + \frac{(355 - 125)^2}{4 \cdot 500} = 1780 \text{ мм.}$$

Прийmemo дійсну довжину пасу за ГОСТ 1284.1-80 $L = 1800$ мм.

Дійсну міжосеву відстань можна визначити за наступним виразом:

$$a = \frac{2L - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2L - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1800 - 3,14(355 + 125) + \sqrt{[2 \cdot 1800 - 3,14(355 + 125)]^2 - 8(355 - 125)^2}}{8}$$

$$= 272 \text{ мм.}$$

Кут охоплення ведучого шківа пасом:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180 - 57 \frac{355 - 125}{272} = 132^\circ$$

Із таблиці $C_\alpha = 0,87$.

Коефіцієнт, що враховує довжину пасу, $C_L = 0,98$;

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення навантаження $C_\alpha = 0,95$;

Коефіцієнт, що враховує режим роботи $C_p = 1,00$

Тоді потужність, що передається пасом становитиме:

$$N_p = N_o \cdot C_\alpha \cdot \frac{C_L}{C_p} = 3,5 \cdot 0,87 \cdot \frac{0,98}{1} = 2,98$$

Необхідна кількість пасів:

$$z = \frac{N}{N_p} \cdot C_2 = \frac{11}{2,98} \cdot 0,95 = 4$$

Швидкість руху пасу:

$$v = \pi d_1 \cdot \frac{n_1}{60} = 3,14 \cdot 0,125 \cdot \frac{1000}{60} = 6,54 \text{ м\с.}$$

Часло обертів пробігів :

$$\vartheta = \frac{v}{L} = \frac{6,54}{1,8} \approx 3,6 \text{ с}^{-1},$$

що відповідає умові $v = 10 \div 15 \text{ c}^{-1}$.

Зусилля, що передається:

$$F_t = \frac{N}{t} = \frac{11}{6,54} = 1,68 \text{ кН.}$$

Сила, що діятиме на вал :

$$F_b = 1,5 \cdot F_t \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 1,5 \cdot 1,68 \cdot \frac{\sin 132}{2} = 1,5 \cdot 1,68 \cdot 0,921 = 2,32 \text{ кН}$$

2.3. Конструктивний і міцнісний розрахунок

2.3.1. Розрахунок шківів

Правильно розглядати вибір матеріалу шківа залежно від колової швидкості. Для таких швидкостей, які можуть досягатися клиновими пасами (в даному випадку - 6,54 м/с), чавун марки С4212 може бути рекомендованим матеріалом для виготовлення шківа.

За допомогою таблиці встановлюємо параметри шківів для запланованих пасів, що містяться у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Параметри шківів.

Параметри	Позначення	Значення
Розрахункова ширина канавки шківа, мм	14,0	l_p
Глибина канавки, мм	14,3	h
Ширина канавки по зовнішньому діаметру, мм	$4,2 \pm 0,4$	b
Кут канавки °	34	α
Віддаль між осями канавок, мм	19,0	l
Радіус заокруглення, мм	1,0	r
Відстань між віссю крайньої канавки і торцем шківа, мм	$12,5 \pm 2$	f

Наступним кроком буде визначення інших конструктивних характеристик шківів.

Зовнішній діаметр:

$$d_e = d_p + 2b = 360 + 2 \cdot 4,2 = 368,4 \text{ мм.}$$

Ширина обода:

$$M = (n - 1)l + 2f = (4 - 1) \cdot 19,0 + 2 \cdot 12,5 = 82 \text{ мм.}$$

Довжина ступиці шківів:

$$l_c = \frac{M}{3} + d_b = \frac{82}{3} + 25 = 52 \text{ мм,}$$

де d_b – діаметр вала.

Число спиць шківів:

$$k_c = \left[\frac{1}{6} \div \frac{1}{7} \right] \sqrt{d} = \frac{1}{6\sqrt{555}} = 3,14.$$

Призначенні $k_c > 3$ диск шківів виготовляють з спицями.

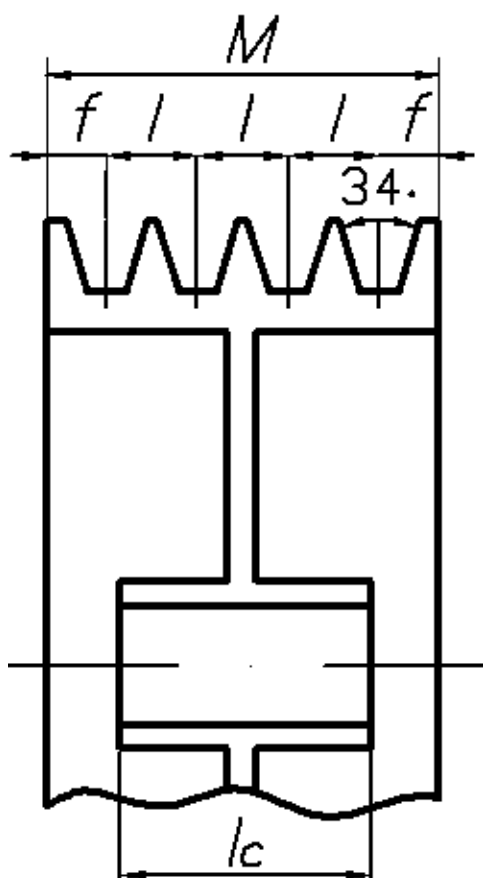


Рис. 2.3. Ескіз шківів

Розрахунки спиць ґрунтуються на впливі колової швидкості F_t , розглядаючи їх як консольні балки, вбудовані у ступицю вздовж її діаметрального січення. При врахуванні нерівномірності навантаження припускається, що 1/3 всіх ступиць даного шківів відчувають вплив колової швидкості.

Ширину спиці шківів у розрахунковому сперерівзі слід визначати за наступною формулою:

$$h = 3,4 \sqrt[3]{F_t \cdot d / k_e [\sigma_u]}$$

Значення допустимого напруження для чавуну: $[\sigma_u] = 30 \div 45 \text{ МПа.}$

Підставимо величини:

$$h = 3,4 \sqrt[3]{1,68 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,355}{3,14} \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 0,01 \text{ м}$$

2.3.2. Розрахунок колінчастого валу

Розміри колінчастого валу визначаються з урахуванням продуктивності та вимог до міцності. Продуктивність складає 1000 м³/год.

Розрахунок довжини ходу плунжера гомогенізатора

Так як геометричні характеристики колінвалу тісно зв'язані з довжиною ходу плунжера, ми визначатимемо бажаний хід плунжерів гомогенізатора з урахуванням заданої продуктивності:

$$l = \frac{Q}{60n \frac{\pi d^2}{4} b} = \frac{1}{60 \cdot 3 \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} 145} = 0,03 \text{ м,}$$

де Q – продуктивність гомогенізатора, м³;

d – діаметр плунжера, м;

n – кількість плунжерів, шт.;

b – кількість ходів плунжерів, 1/хв.

Визначення діаметру колінвалу

Враховуючи навантаження на окремі ділянки, проводимо розрахунок діаметра валу.

Плунжери працюють по черзі, оскільки за один оберт колінвалу молоко під тиском 15,0 МПа виштовхується через кожні 120° повороту валу. Сила, яка діє на плунжер, складає:

$$F_n = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot P = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} 15 \cdot 10^6 = 2,1 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

де P – тиск процесу гомогенізації, Па.

Діаметр вала визначається з урахуванням крутних моментів. Крутний момент складає:

$$M_{\text{кр}} = \frac{N}{\omega} = \frac{11 \cdot 10^3}{352} 60 = 1,87 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де ω – кутова швидкість колінвала, с^{-1} .

Діаметр валу:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\text{кр}}}{\pi \cdot [\tau_{\text{кр}}]}} = \sqrt[3]{\frac{1,875 \cdot 16 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,025 \text{ м},$$

де $[\tau_{\text{кр}}] = 40 \text{ МПа}$.

Прийmemo діаметр колінвалу 0,056 м.

Визначення сили інерції мас

Сила інерції мас, яка виникає при зворотно-поступальному русі, дорівнює:

$$F_j = m_j R \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi);$$

де m_j – маса елементів, що виконують зворотно-поступальний рух, кг.

$$m_j = m_{\text{пк}} + 0,275 m_{\text{ш}} = 2 + 0,275 \cdot 1 = 2,275 \text{ кг},$$

де $m_{\text{ш}}$ – маса шатуна, $m_{\text{ш}} = 1 \text{ кг}$;

$m_{\text{пк}}$ – маса плунжерів, $m_{\text{пк}} = 2 \text{ кг}$.

Підставимо:

$$F_j = 2,275 \cdot 0,06 \cdot (355/60)^2 \cos \varphi = 4,785 \text{ Па}.$$

Отже, сила інерції рухомих деталей, яка виникає при зворотно-поступальному русі, навіть при $\varphi = 90^\circ$, значно менша за силу, що виникає від

тиску гомогенізації. Тому на далі ми будемо ігнорувати сили інерції від незрівноважених елементів та сили інерції плунжера.

Міцнісний розрахунок колінчастого валу

Оскільки в конструкції колінвалу не передбачено проміжних опор, ми розглянемо колінвал як балку з двома опорами для подальшого розрахунку. (рис. 2.4).

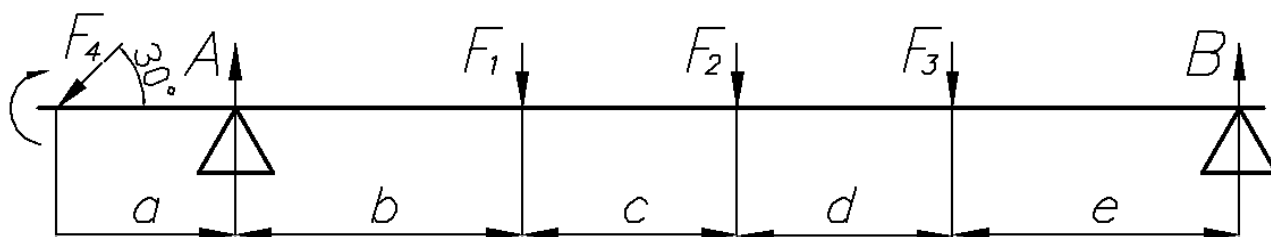


Рис. 2.4. Схема дії сил на колінчастий вал

F_1, F_2, F_3 , – сили, що діють на плунжери, ($F_1=F_2=F_3=F_n=2,1 \cdot 10^4$ Па);

F_4 – сила, що передається на вал в результаті роботи пасової передачі ($F_4=1,68$ кН), Н.

Віддалі: $a=50$ мм, $b=80$ мм; $c=60$ мм; $d=60$ мм; $e=80$ мм.

При куті 0° розраховуємо реакції опор в площині YOZ:

$$\Sigma M_A = F_4 \cdot \sin 30^\circ \cdot a - F_1 \cdot b - Y_B(b+c+d+e) = 0;$$

$$Y_b = \frac{F_1(c+d+e) - F_4 \cdot \sin 30^\circ (a+b+c+d+e)}{b+c+d+e} =$$

$$= \frac{18,5 \cdot (0,06 + 0,06 + 0,08) - 1,68 \cdot 0,5 \cdot (0,05 + 0,08 + 0,06 + 0,06 + 0,08)}{0,08 + 0,06 + 0,06 + 0,08} =$$

$$= 13,38 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$\Sigma M_B = F_4 \cdot \sin 30^\circ (a+b+c+d+e) + Y_A(b+c+d+e) - F_1(c+d+e) = 0 ;$$

$$Y_a = \frac{F_1 \cdot b - F_4 \cdot \sin 30^\circ \cdot a}{b + c + d + e} = \frac{18,5 \cdot 0,08 - 1,68 \cdot 0,5 \cdot 0,05}{0,08 + 0,06 + 0,06 + 0,08} = 5,22 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

Визначимо реакції опор в площині XOZ.

Для точки А:

$$F_4 \cdot \cos 30^\circ \cdot a = X_B(b + c + d + e);$$

$$X_B = \frac{F_4 \cdot \cos 30^\circ \cdot a}{b + c + d + e} = \frac{1,68 \cdot 0,86 \cdot 0,05}{0,28} = 0,03 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

Для точки В:

$$F_4 \cdot \cos 30^\circ (a + b + c + d + e) - X_A(b + c + d + e) = 0;$$

$$X_A = \frac{F_4 \cdot \cos 30^\circ (a + b + c + d + e)}{b + c + d + e} = \frac{1,68 \cdot 0,86 \cdot 0,33}{0,28} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Для якута 120° .

Реакції опор:

$$Y_B = \frac{F_2(b + c) - F_4 \cdot \sin 30^\circ \cdot a}{b + c + d + e} = 8,42 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$Y_A = \frac{F_2(b + c) - F_4 \cdot \sin 30^\circ (a + b + c + d + e)}{b + c + d + e} = 8,4 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

Для кута 240° :

$$Y_B = \frac{F_3(b + c + d) - F_4 \cdot \sin 30^\circ \cdot a}{b + c + d + e} = 13,1 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$Y_A = \frac{F_3 \cdot e - F_4 \cdot \sin 30^\circ (a + b + c + d + e)}{b + c + d + e} = 4,37 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

Епюри моментів на колінчастому валі при куті 0° (рис. 2.5).

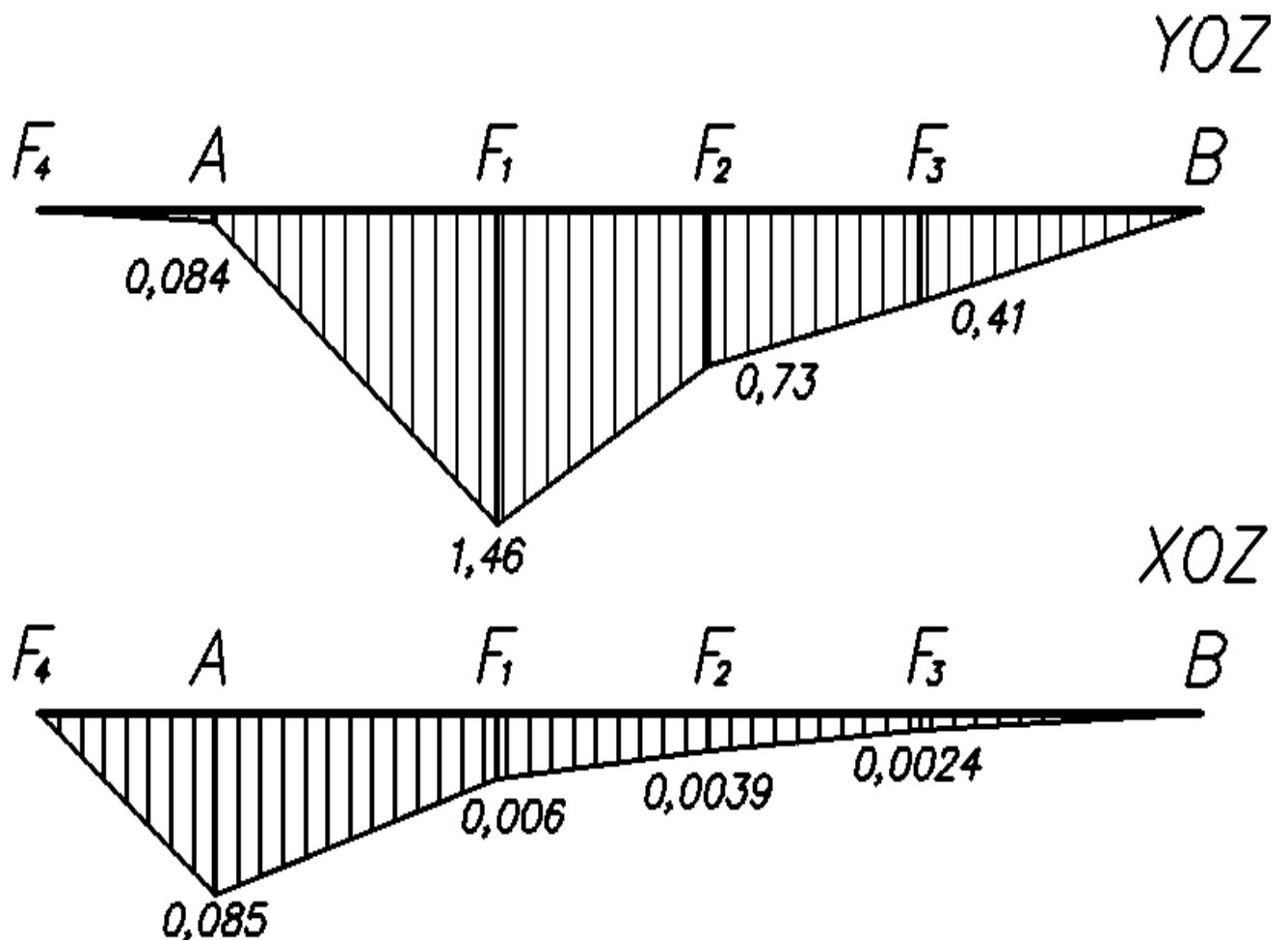


Рис. 2.5. Епюри моментів на колінвалі при куті 0°

Сумарний згинальний момент буде:

$$\text{Мз. сум. (т. 1)} = \sqrt{1,46^2 + 0,06^2} = 1500 \text{ Н};$$

$$\text{Мз. сум. (т. 2)} = \sqrt{0,73^2 + 0,0039^2} = 730 \text{ Н};$$

$$\text{Мз. сум. (т. 3)} = \sqrt{0,41^2 + 0,0024^2} = 410 \text{ Н};$$

$$\text{Мз. сум. (т. А)} = \sqrt{0,084^2 + 0,085^2} = 85 \text{ Н};$$

$$\sigma_z = \frac{\text{Мз. сум.}}{W_x} = \frac{32 \cdot 1,5}{3,14(0,025 \cdot 10^{-3})^3} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

Напруження від кручення:

$$\tau_{кр.} = \frac{M_{кр.}}{W_p} = \frac{16 \cdot M_{кр.}}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 1,875}{3,14(0,025)^3} = 0,611 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

2.3.3. Розрахунок шатуна гомогенізатора

Міцністний розрахунок шатуна проводили для мінімального перерізу I-I стержня шатуна (рис. 2.7).

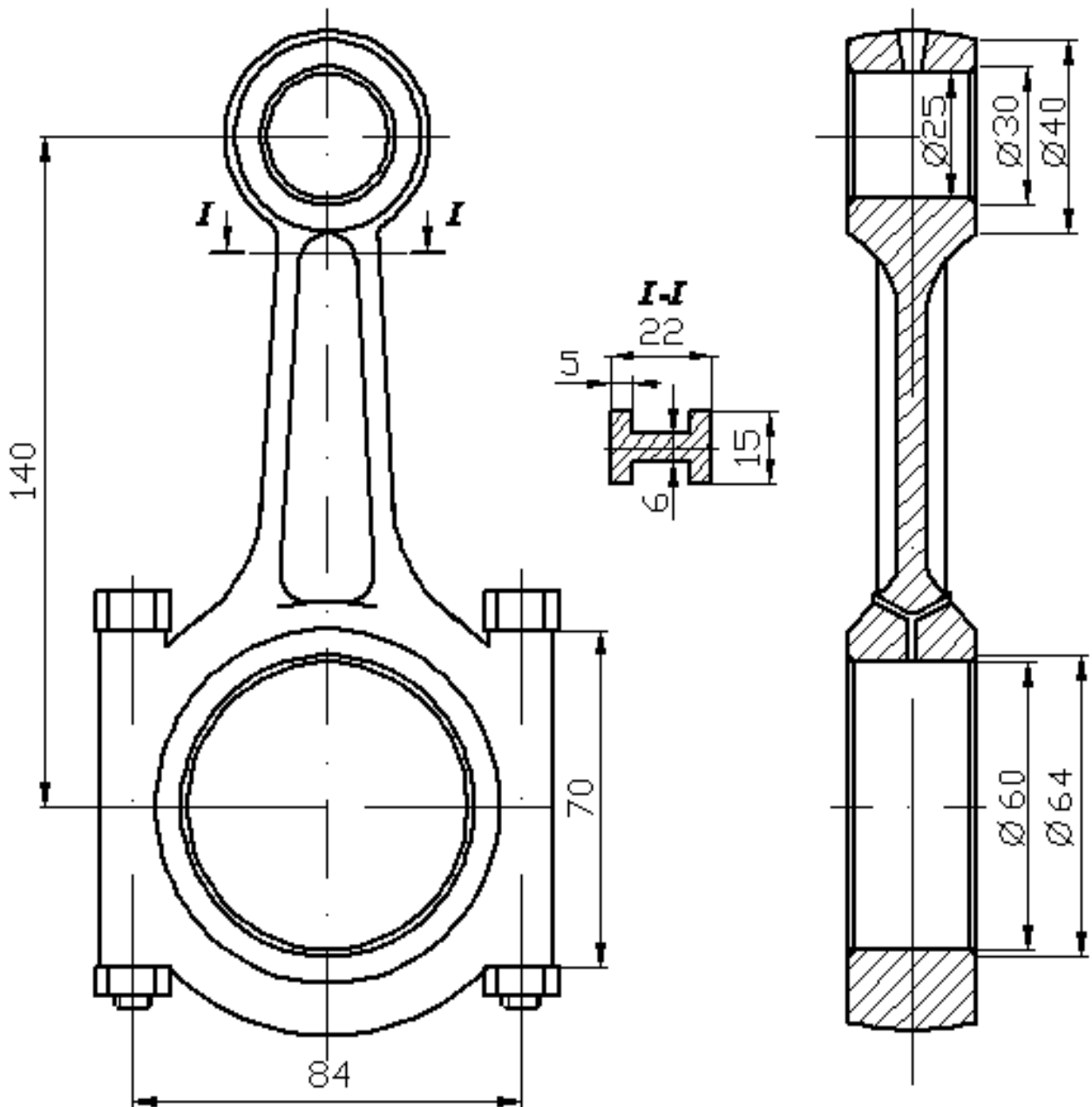


Рис. 2.. Розрахункова схема шатуна.

Значення допустимого напруження для шатунів, що виготовлені із вуглецевої сталі, складає $[\sigma] = 100$ МПа.

Напруження стиску в даному перерізі буде:

$$\sigma_c = \frac{F}{f_{\min}} =$$

$$= \frac{7,2 \cdot 10^3}{2,22 \cdot 10^{-4}} = 32,4 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

де f_{\min} – площа мінімального перерізу шатуна, м^2 , $f_{\min} = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
 F – сила, що дія на шатун, $F=7,2 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Умова міцності наступна:

$$n=2-4;$$

де n – коефіцієнт запасу міцності.

Запас міцності стержня шатуна:

$$n = \frac{(\sigma_{-1})_p}{k_\sigma \sigma_\alpha / \epsilon_\sigma + \psi_\sigma \sigma_c};$$

де k_σ – коефіцієнт концентрації напруження, $k_\sigma = 1$;

$(\sigma_{-1})_p$ – границя виносливості матеріалу, $(\sigma_{-1})_p=190 \text{ МПа}$;

σ_α – тимчасовий опір, $(\sigma_{-1})_p=61,3 \text{ МПа}$;

ψ_σ – коефіцієнт, який відповідає за чутливість металу до асиметрії циклу, для шатунів становить $\psi_\sigma = 0,1$.

ϵ_σ – коефіцієнт що відповідає за вплив абсолютних розмірів січення, $\epsilon_\sigma = 0,87$ (рис. 2.8);

Таким чином запас міцності стержня шатуна за даних умов буде становити:

$$n = \frac{1,9 \cdot 10^8}{1 \cdot 0,613 \cdot 10^8 / 0,87 + 0,1 \cdot 0,324 \cdot 10^8} = 2,57.$$

Таким чином задовольняється умова міцності:

$$2 < n < 4.$$

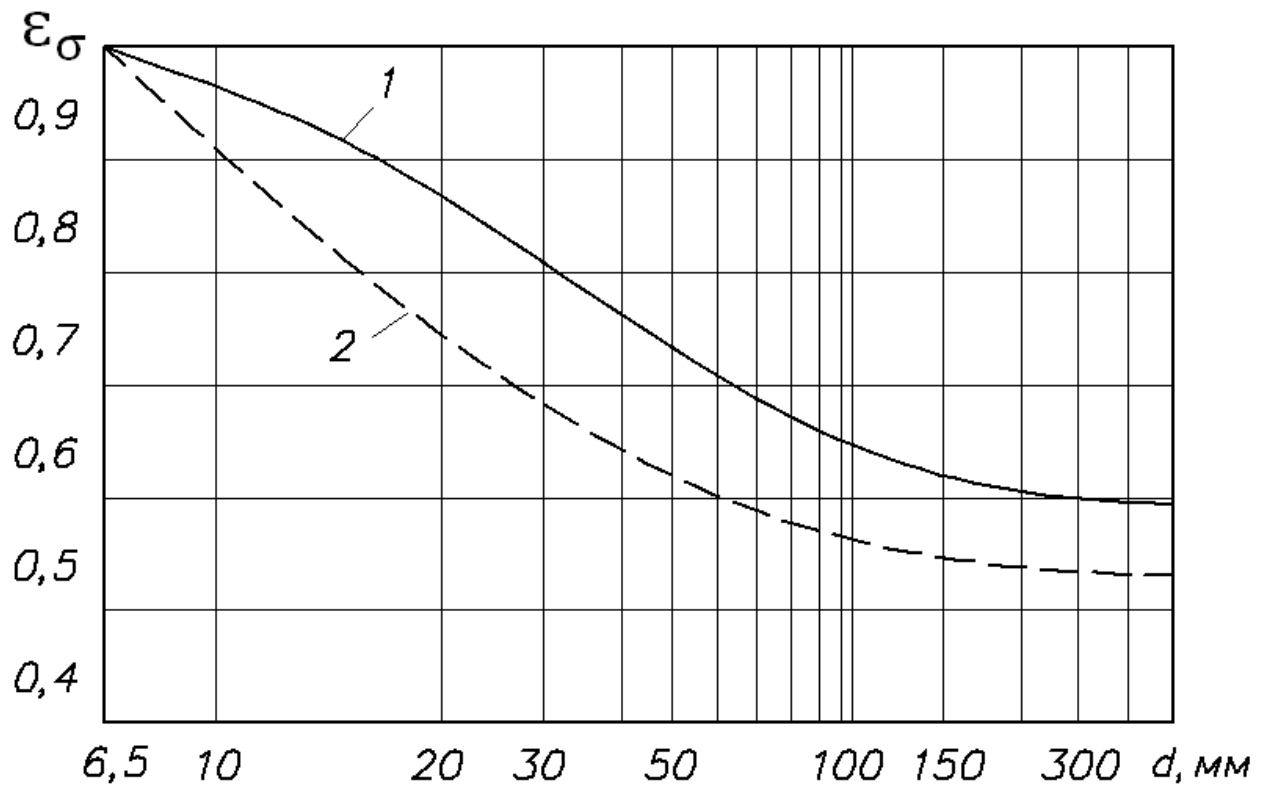


Рис. 2.8. Визначення коефіцієнт впливу абсолютних розмірів ϵ_{σ} для шатуна:

1 – для сталей вуглецевих; 2 – для сталей легованих.

2.3.4. Підбір підшипників кривошипно-шатунного механізму

Вихідні дані:

радіальне навантаження $F_p = 1,8 \cdot 10^4 \text{ Н}$;

кутова швидкість колінвалу $\omega = 5,9 \text{ с}^{-1}$;

діаметр колін валу $r_b = 0,025 \text{ м}$.

Так як у випадку кривошипно-шатунного механізму має місце радіальне навантаження з поштовхами, то слід обрати підшипники роликові циліндричні однорядні.

коефіцієнт безпечності навантаження $K_{\sigma} = 1,1$;

ресурс підшипника $L_n = 1,5 \cdot 10^5 \text{ год}$.

температурний коеф. $K_T = 1,0$;

Значення динамічної вантажопідйомності для даних підшипників визначали за наступним виразом при відомому коефіцієнті осьового навантаження $x = 1$, так як в даних умовах осьова сила буде рівна нулю. Для даного підшипника $\alpha = 3$.

$$C_{тр} = (XV F_p + Y F_a) K_\sigma \cdot K_T (6 \cdot 10^5 \cdot n \cdot L_n)^{0,33} =$$

$$= (1 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 10^4 + 0) 1,1 \cdot 1 (6 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^5)^{0,33} = 9,92 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

підібрали роликовий підшипник NU2305E (рис. 2.9.). Його розміри наступні:

- внутрішній діаметр $d=25\text{мм}$;
- ширина $B=34\text{мм}$;
- зовнішній діаметр $D =62\text{мм}$.

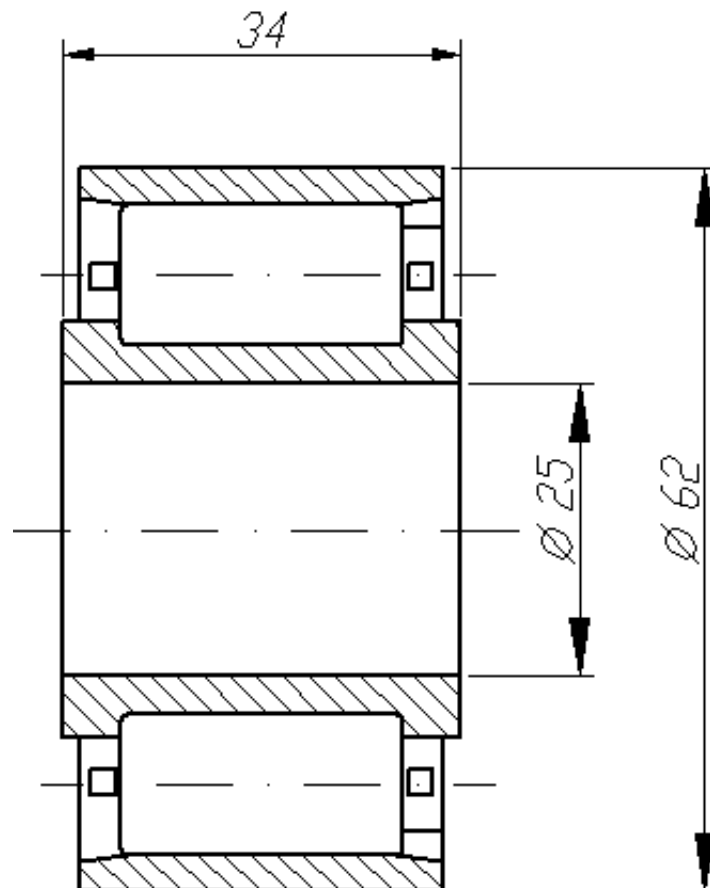


Рисунок 2.9. Підшипник NU2305E

3. Дослідження плунжерного блоку

3.1. Побудова характеристик гомогенізатора

Отримані експериментальні дані були використані для створення універсальної характеристики гомогенізатора (рисунок 3.1). Ця характеристика суттєво відображає взаємозв'язок між продуктивністю гомогенізатора, його потужністю та ККД.

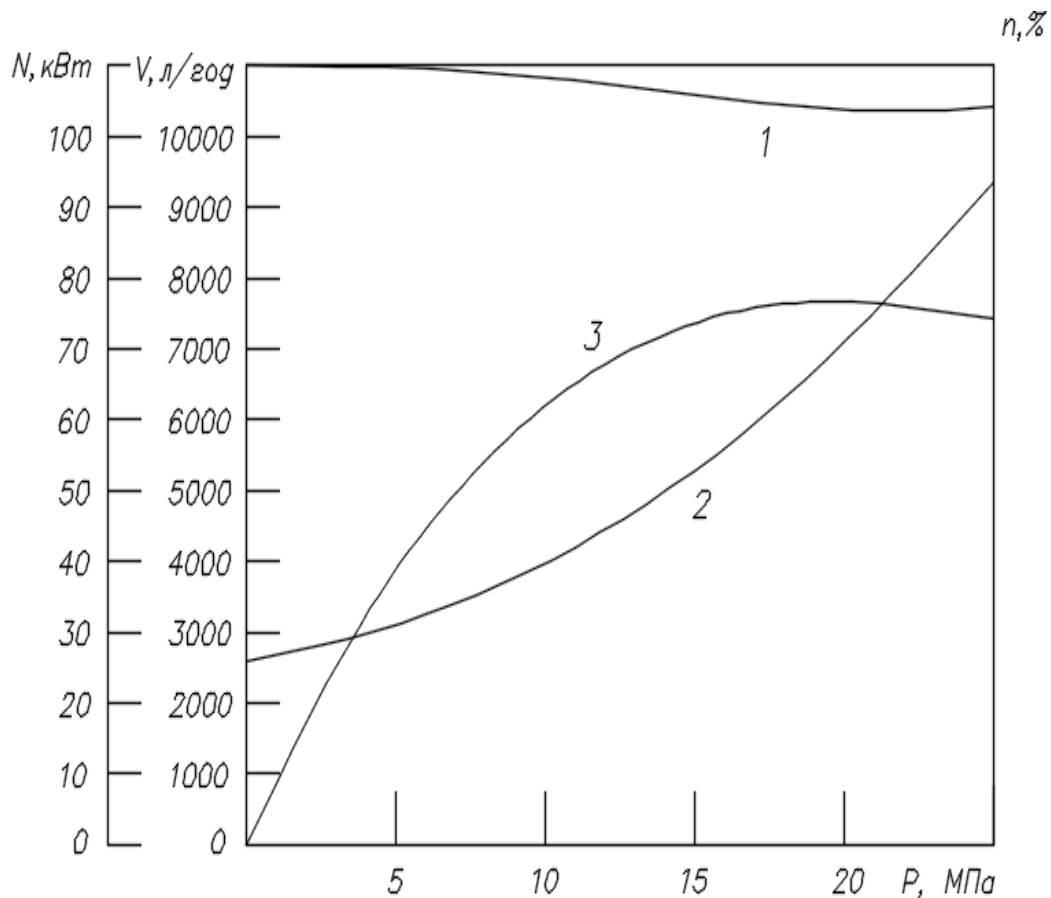


Рисунок 3.1. Універсальна характеристика гомогенізатора

1 – лінія продуктивності; 2 – лінія потужності;

3 – лінія механічного ККД

Отримана характеристика гомогенізатора дозволяє провести аналіз ефективності конструкції машини. Вона також надає можливість передбачати

зміни в затратах потужності в залежності від тиску гомогенізації та розраховувати активні та реактивні складові.

Оскільки молоко йде в гомогенізатор при підвищеній температурі (75-90°C), важливим може стати характеристика кавітації.

Під час експериментів було створено кавітаційну характеристику машини (рисунок 3.2). Після аналізу отриманих даних було встановлено, що вакууметрична висота всмоктування $H_{\text{вак}}$, яка за графіком становить близько 6,5 метра, досягла критичного рівня $H_{\text{вак}}^{\text{кр}}$.

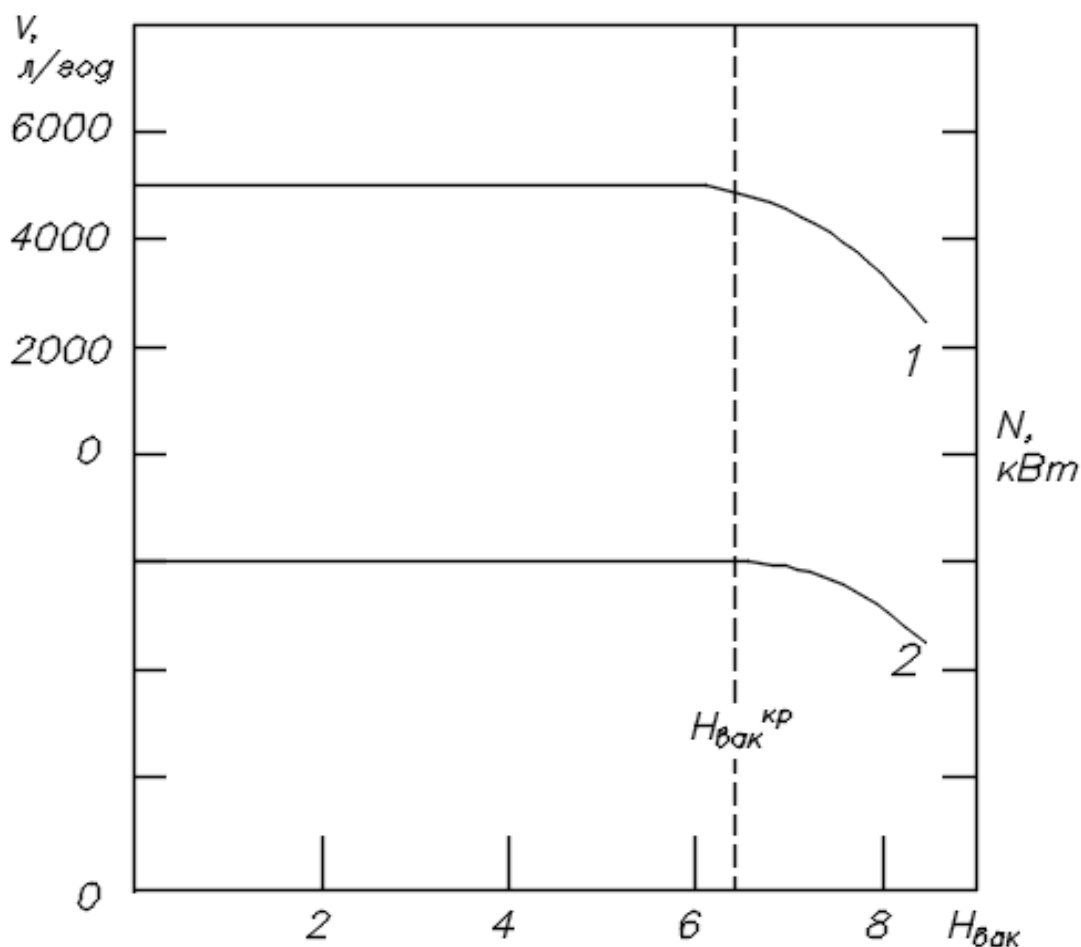


Рисунок 3.2. Кавітаційна характеристика

1 – продуктивність; 2 – потужність.

Отже, для нормального функціонування гомогенізатора необхідно, щоб гідравлічний опір на всмоктуючій стороні, утворений трубами, поворотами та

кранами, не перевищував критичний рівень в 6,5 метра, відповідно до значення Нвак критичне.

Отримана крива відображає особливості обробки молока на клапанному гомогенізаторі, що допомагає підвищити його ефективність та запобігти негативним наслідкам, що можуть виникнути внаслідок кавітації.

3.2. Дослідження руху клапанів

Експериментальні дані роботи плунжерного блоку були використані для побудови осцилограми переміщення клапанів даної машини. Згідно з отриманою осцилограмою, подача продукту в кожную камеру плунжерного блоку гомогенізатора змінюється аналогічно зміні швидкості плунжера, рух якого відбувається за синусоїдальним законом.

На зображенні осцилограми (рисунок 3.3.) видно рух плунжера, тиск у робочій камері та положення клапанів.

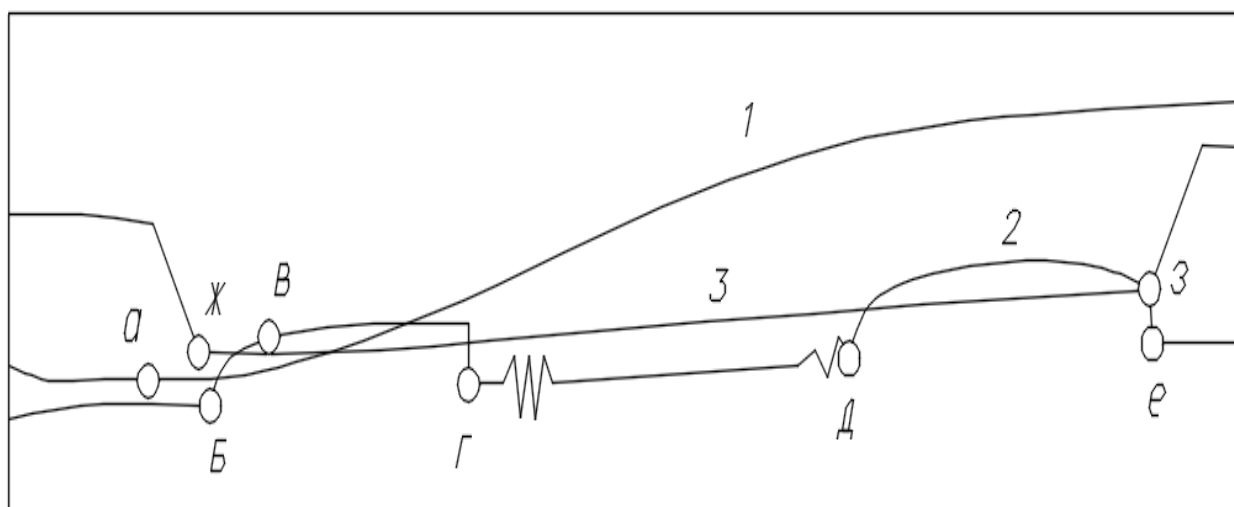


Рисунок 3.3. Осцилограма переміщення всмоктувального клапана гомогенізатора

1-переміщення плунжера; 2-переміщення всмоктувального клапана;
3-тиск в робочій камері.

Клапан всмоктування відходить не одразу після завершення всмоктувального ходу плунжера (точка а), а затримується до певного моменту

після зниження тиску у робочій камері (точка ж), відбуваючись на ділянці, де плунжер вже здійснив частину свого ходу (точка б). Коли колінвал повертається на 14-15°, клапан всмоктування здійснює рух у напрямку верхнього нагнітального клапана. Це призводить до декількох ударів клапана всмоктування об верхній нагнітальний клапан, що обмежує його рух угору (точка г). Контакт між клапанами відбувається залежно від ширини зазору, де при ширині 7,0 мм він займає 50° кутового простору.

Рух всмоктувального клапана до його встановлення в сідло розпочинається перед завершенням процесу всмоктування, коли об'єм продукту наближається до максимального значення під час обертання колінвала на 135 градусів, і закінчується після розпочаття процесу нагнітання, на куті 190 градусів. Це супроводжується різким збільшенням тиску у камері (точка б).

Важливо зауважити, що оптимальна висота підняття всмоктувального клапана є ключовим фактором для уникнення непотрібних ударів між клапанами. Робочий цикл нагнітального клапана гомогенізатора проходить так само, як і у випадку всмоктувального (див. рисунок 4.4).

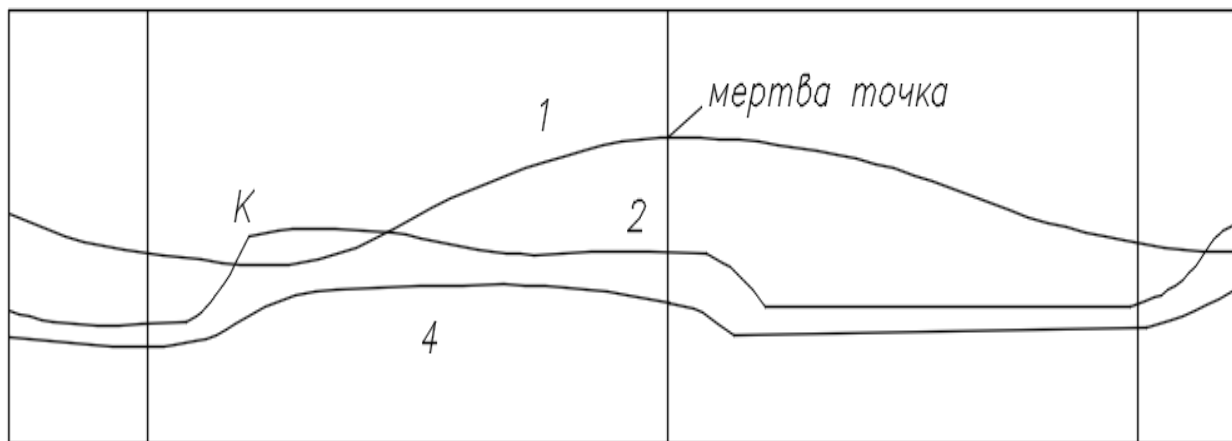


Рисунок 3.4. Графік переміщення нагнітального клапана

1- переміщення плунжера; 2- переміщення всмоктуючого клапана;

4-переміщення нагнітаючого клапана гомогенізатора.

Відкривається всмоктувальний клапан гомогенізатора, що дозволяє молоку увійти в робочу камеру. Цей етап супроводжується виникненням певного гідравлічного удару.

3.3. Математичне моделювання процесу протікання молока через щілину гомогенізатора

Розрив між клапаном та його сідлом, де проходить процес руйнування жирних кульок, можна зобразити як вузьку щілину (див. рис. 3.5), яка описується певною довжиною l .

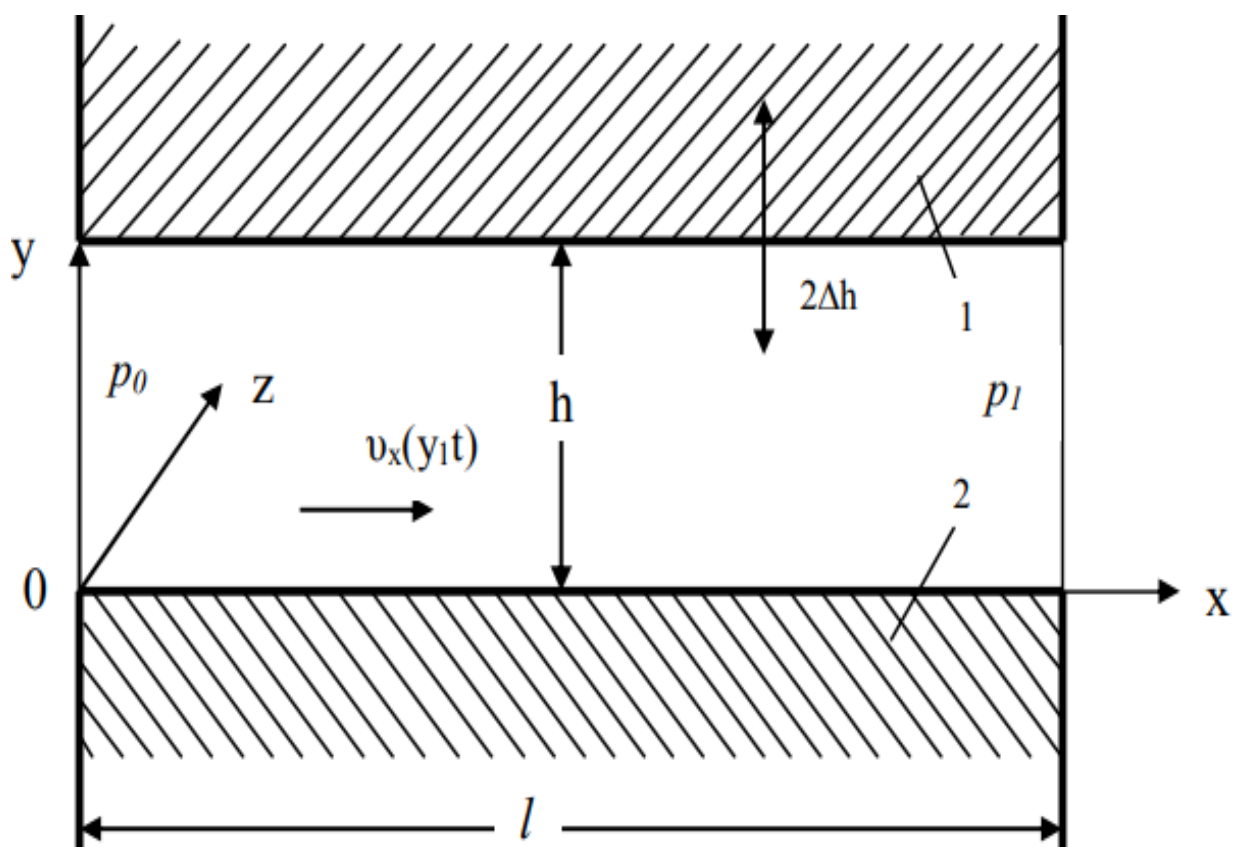


Рисунок. 3.5. Схема зазору: 1—клапан; 2—сідло.

Висота зазору щілини h періодично змінюється з частотою коливань ω . Ці коливання можна описати використовуючи рівняння гармонійного закону:

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

де t – тривалість, с;

h_0 – середнє значення ширини зазору щілини у той момент часу, коли клапан 1 перебуває в стані рівноваги;

Δh – амплітуда коливань клапана, м.

Для вирішення цього завдання ми використовуватимемо систему координат, пов'язану із нерухомим сідлом 2. Ми оберемо точку входу в зазор як початок цієї системи координат. Ось тоді вісь OX збігатиметься з напрямком руху молока, а вісь OY буде вказувати вгору від сідла до клапана. Оскільки радіуси входу та виходу з щілини майже однакові, це дозволяє розглядати процес руху молока у більш звичній прямокутній системі координат, а не в циліндричній.

При таких умовах ми матимемо наступну систему:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2};$$
$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad (3.2)$$

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

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості молока;

v – швидкість протікання у будь якій точці, м/с.

Друге рівняння у цій системі дає нам можливість зробити висновок, що ліва частина першого рівняння залежить тільки від x , в той час як права частина залежить лише від y . Це вимагає виконання наступної умови:

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

або:

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

де p_1 – тиск продукту на виході із щілини, Па;

p_0 – тиски продукту на вході в щілину, Па.

Вирішення рівняння:

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

де C_1 і C_2 константи інтегрування, що визначаються з граничних умов (рис. 1):

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

Таким чином граничні умови для торцевої частини 1 змінні і залежать від тривалості процесу.

Тоді буде:

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

Розв'язок даного рівняння для v має наступний 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 руху молока через зазор можна описати за допомогою наступного виразу:

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

Там чином можна отримати рівняння для максимального значення швидкості протікання молока:

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

Отже, місце, де швидкість досягає максимуму, рухається відносно середини висоти зазору вздовж осей OX і OY . В цьому діапазоні висот,

найвища швидкість змінюється протягом періоду коливань клапана гомогенізатора в наступному інтервалі (див. рис. 3.6):

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

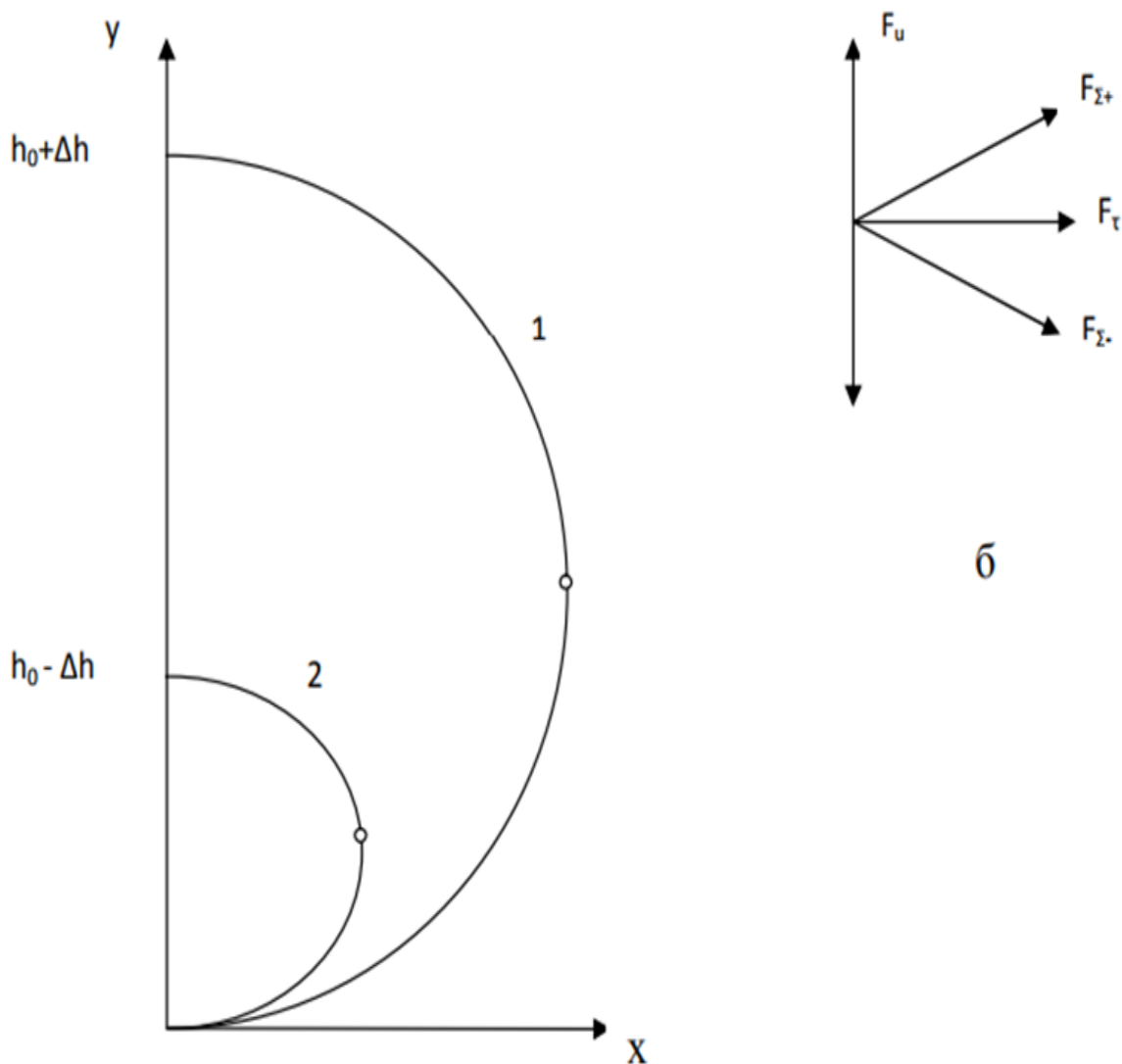


Рисунок 3.6. Зміна швидкості руху молока від 1 до 2 сил (а), що діють на краплину молока від $F_{\Sigma+}$ до $F_{\Sigma-}$ (б) за період коливань клапана

Тангенціальні напруження для молока буде змінюватися по висоті зазору відповідно до наступної залежності:

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

таки чином:

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

На наступному рисунку (рис. 3.7.) представлено залежність тангенціальних напружень в молоці при значеннях $\sin(\omega t) = \pm 1$.

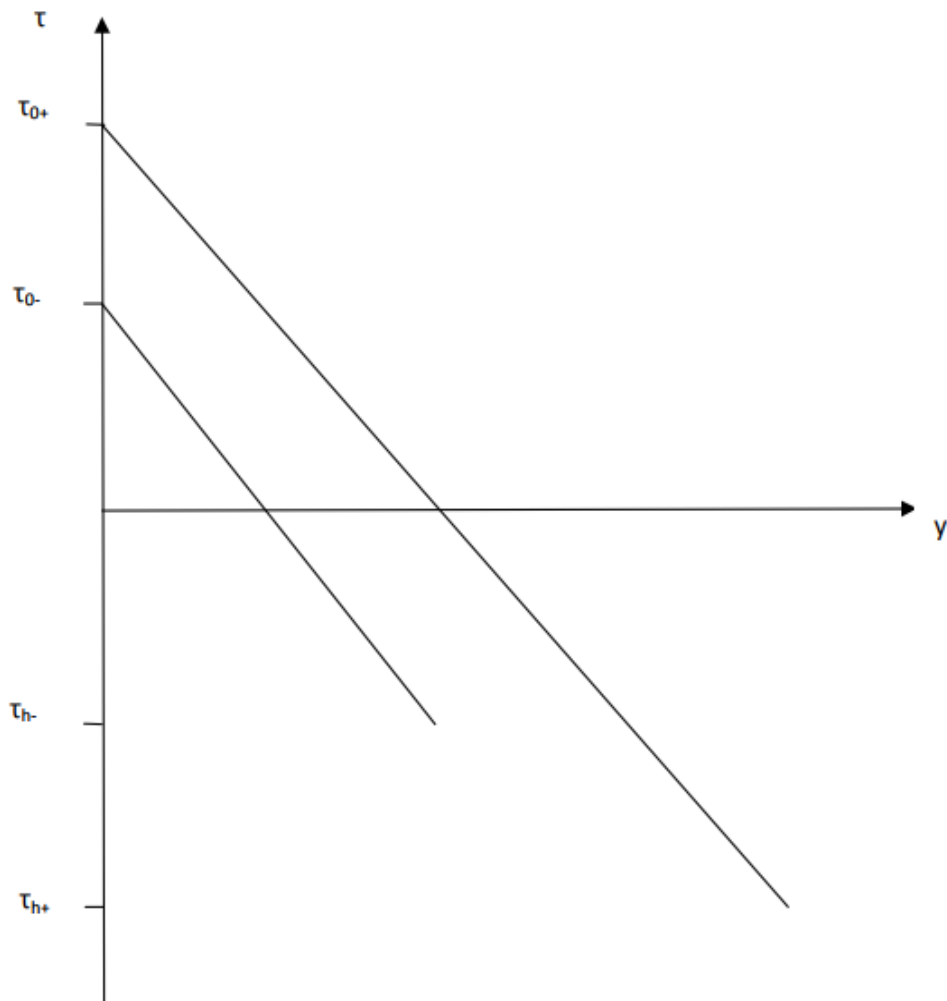


Рисунок 3.7. Діапазон вимірювання тангенціальних напружень по висоті щілини за один період коливань

Кут нахилу ліній 1 і 2 змінюється в наступних межах:

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

при значенні $y = h_0 \pm \Delta h$.

Таким чином, у гомогенізаторі з клапанною системою тиску, максимальна швидкість переміщення молока буде залежати від постійно змінюваного положення середини висоти зазору та часу.

Крім змінних напруг, спрямованих уздовж осі ОХ на дисперсну фазу уздовж осі ОУ, також виникають додаткові сили інерції. Їх величина буде прямо пропорційна значенню прискорення:

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

Витрати молока через одиничну ширину щілини клапанного гомогенізатора можна обчислити за цією 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 математичної моделі

Ця математична модель перевірялась на відповідність шляхом порівняння статистичних відхилень між значеннями змінних моделі та фактичним об'єктом за однакових вхідних умов, які були розраховані на основі результатів серії експериментів на об'єкті моделювання. Додатково для оцінки адекватності цієї моделі були використані дані з іншої серії експериментів, які були порівняні з тими, що використовувались для параметричної ідентифікації.

Ціллю було порівняти значення швидкості, яка визначалася за формулою (3.8), з експериментально отриманими показниками швидкості руху молока та обчисленими значеннями, заснованими на геометричних характеристиках плунжерів. Спочатку були отримані значення швидкості руху молока через щілину для різних рівнів продуктивності гомогенізатора (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Швидкість руху продукту в клапанній щілині в залежності від 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

Отримано також залежність швидкості проходження продукту крізь зазор від продуктивності (рис. 3.8.).

Виявлені невеликі відхилення між експериментально отриманими даними та результатами, підрахованими на основі геометричних параметрів плунжера, можна пояснити відсутністю врахування так званого "насосного ефекту" під час розрахунків. Цей ефект виникає під час роботи плунжера і призводить до підвищення продуктивності машини, та відповідно - швидкості проходження молока через щілину.

У зв'язку з цим, для перевірки адекватності математичної моделі доцільно порівняти її з експериментом. Середнє відхилення швидкості руху рідини відповідно до математичної моделі від експериментальних даних становить 16,8%.

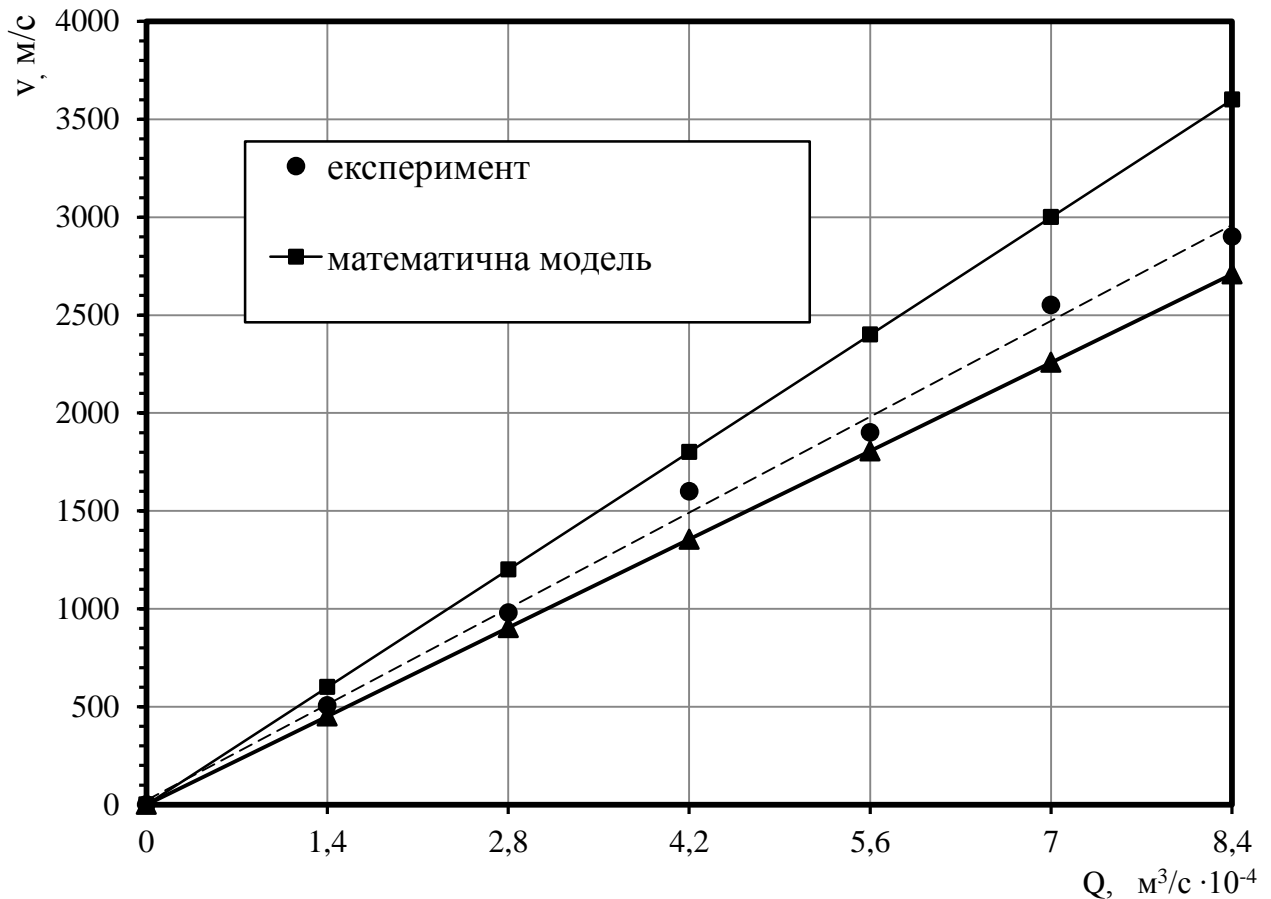


Рисунок 3.8. Залежність швидкості проходження рідини крізь клапанну щілину від продуктивності гомогенізатора

3.5. Висновки до розділу

Встановлена універсальна характеристика дала змогу передбачати, як змінюється споживана потужність гомогенізатора в залежності від технологічного тиску процесу гомогенізації.

Отримана кавітаційна характеристика гомогенізатора виключила ризик кавітаційних процесів під час роботи плунжера. Крім того, ця характеристика дозволила визначити максимальне значення гідравлічного опору (6,5 м) на всмоктуючій стороні, яке включає крани, повороти та трубопроводи, в межах яких проходить нормальний процес гомогенізації.

Отриманий аналіз осцилограми переміщення клапанів гомогенізатора дозволив оцінити можливість виникнення ризиків пов'язаних із можливим гідравлічним ударом, що настає після відкриття всмоктувального клапана. Це може відбутися на етапі переходу молока із всмоктувального колектора в камеру гомогенізатора.

Математична модель руху молока через щілину клапанного гомогенізатора показала, що існує відхилення у швидкості руху рідини. Різниця між швидкістю руху, розрахованою за математичною моделлю, і фактичними експериментальними даними склала 16,8 %.

Одержані за допомогою цієї математичної моделі результати дозволяють визначити характер нерівномірності швидкостей руху молока.

У першому наближенні ці дані можуть застосовуватись для вивчення течії продукту у трубі з прямокутним перетином, де максимальна висота суттєво менша за ширину зазору.

4. Модернізація плунжерного блоку клапанного гомогенізатора

4.1. Опис модернізації плунжерного блоку

Моделювання роботи плунжерного блоку, результати якого були подані у попередньому розділі, дали змогу зрозуміти рівень ризику, пов'язаний з можливим виникненням гідравлічного удару - раптового зростання тиску молока протягом короткого часу - після відкриття всмоктувального клапана. Це може статися при переході молока з всмоктувального колектора в робочу камеру, що підтверджується аналізом отриманих осцилограм переміщення клапанів.

Існує кілька методів, які можуть запобігти гідравлічним ударам, але не всі з них можна втілити у плунжерному гомогенізаторі.

Одні з найпоширеніших заходів для зменшення ризику гідравлічних ударів включають такі:

- збільшення часу закриття затвору;
- встановлення повітряних камер;
- використання різних запобіжних клапанів для відведення молока;
- використання насосних агрегатів з великою інерційністю обертальної маси.

Так для випуску молока під час гідравлічного удару можуть використовувати спеціальні діафрагми, які руйнуються при перевищенні допустимих значень тиску. Цей метод вимагає підбору діаграми, що відповідає максимальним значенням тиску для даної ситуації.

Але більшість з описаних методів для уникнення гідравлічного удару не є прийнятними для використання в конструкції гомогенізатора з різних причин.. Тому для вирішення цієї проблеми пропонується встановити у трубопроводі для подачі молока повітряний демпфер об'ємом 2,0 літра. Даний пристрій

призначений для поглинання зайвої кінетичної енергії молока і поступового її віддачі згодом.

Такий підхід є простим у реалізації і дозволить уникнути пошкодження робочих частин гомогенізатора внаслідок виникнення гідравлічного удару.

4.2. Розрахунок характеристик модернізованого гомогенізатора

На процес гомогенізації значно впливають гідравлічні умови в зоні щілини клапана. Ці умови в основному визначаються тиском гомогенізації, що визначає швидкість руху молока в цій щілині. Також важлива висота самої щілини, оскільки швидкість руху молока найбільша на початку її зазору. За мірою розширення потоку молока до виходу, його швидкість буде поступово зменшуватися до значення V_2 .

Значення максимальної теоретичної швидкості молока C залежить від тиску процесу гомогенізації і цілком може бути розрахована за допомогою формули Торрічеллі:

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

де ΔP – робочий тиск процесу, $\Delta P = 15 \cdot 10^6$ Н/м²;

γ – об'ємна вага продукту, $\gamma = 1,027 \cdot 10^4$ Н/м³.

Підставимо:

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

На практиці фактична швидкість виходу молока V_1 зазвичай менша за теоретичне значення. Різниця між фактичною та теоретичною швидкостями залежить від в'язкості молока та висоти клапанної щілини.

Критерій Рейнольдса для потоку рідини залишатиметься постійним незалежно від робочого тиску гомогенізації та режиму обробки молока, навіть при зміні швидкості руху молока під клапаном та висоти зазору.

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

де ν – кінематична в'язкість продукту, м/с²;

h – висота клапанної щілини, м.

Число Рейнольдса для потоку продукту залежить від продуктивності гомогенізатора, розмірів клапана та властивостей продукту, зокрема в'язкості молока. Умови роботи клапанного гомогенізатора можуть призводити до значень критерію Рейнольдса в діапазоні від 25 тисяч до 35 тисяч, наприклад, прийнявши значення Рейнольдса рівним 30 000. Діаметр клапанної щілини визначимо із рівняння:

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

підставимо та отримаємо:

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

Висота клапанної щілини може бути нестабільною в процесі гомогенізації і змінюватися у широкому діапазоні. Конкретне значення висоти залежить від продуктивності машини, розмірів клапана, тиску процесу гомогенізації та властивостей молока. Значення висоти щілини можна визначити за допомогою формули:

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

отримаємо:

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

Товщину тарілки клапана:

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

де p – тиск, Па;

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

d_k – діаметр клапана, м.

Для цього визначимо діаметр клапана:

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

де ΔS – площа перерізу, м²;

v_d – допустиме значення швидкості продукту в сідлі, $v_d = 190$ м/с.

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

Площа січення:

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

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

Підставимо:

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

Товщину тарілки клапана та діаметр самого клапана визначимо із формул, що були подані вище: (2.6) і (2.7):

- діаметр клапана:

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

- товщина тарілки:

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

Розглянемо, що під час гомогенізації частина механічної енергії перетворюється в тепло через внутрішнє тертя в рідині та між рідиною й робочими органами. Це спричинить підвищення температури процесу гомогенізації молока на значення Δt :

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

де ρ – густина, $\rho=1011 \text{ кг/м}^3$;

c – питома теплоємність, $c=3,85 \times 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;

P – тиск гомогенізації, Па

Отримаємо:

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

Тепер порахуємо значення середнього діаметра жирових кульок оброблюваного молока:

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

Підставимо:

$$d_{\text{cp}} = 3,1 \cdot \frac{10^{-6}}{\sqrt{15 \cdot 10^6}} = 8 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Пружність головки має мати певний показник жорсткості, щоб забезпечити потрібний тиск для процесу гомогенізації. Оскільки тиск гомогенізації залежить від сили, з якою пружина натискає на клапан, ця зв'язок між параметрами може бути описаний за допомогою рівняння:

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

де P – сила, Н

D – середній діаметр пружини, м

K – коефіцієнт;

d – діаметр дроту пружини, м.

В свою чергу K залежить від індексу обраної пружини:

$$C_n = \frac{D}{d};$$

Отримаємо:

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

Слід врахувати що дана пружина повинна виконувати наступну умову:

$$\tau_{\max} < [\tau].$$

де $[\tau]$ – допустимі напруження кручення, Н/м^2 .

Значення цих напружень будуть залежати від механічних властивостей їх матеріалу і можуть змінюватися в широкому діапазоні.

Задавши індекс пружності C_n у діапазоні від 4 до 5, ми отримаємо необхідні умови для визначення діаметру її дроту:

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

Кількість витків $n = 4.6$

Сила зтягування:

$$P = f \cdot \Delta P$$

де f – площа перетину, м^2

ΔP – тиск гомогенізації, Н/м^2

Визначимо f :

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

Тепер маємо усі необхідні дані для визначення величини зусилля затягування пружини:

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

Тепер маємо все необхідне для визначення значення необхідного коефіцієнту

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

Діаметр:

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

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

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

Об'ємна продуктивність гомогенізатора за формулою:

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

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

S – хід плунжера, $S=0,03\text{м}$;

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

z – загальна кількість плунжерів, $z=3$;

φ – ККД, $\varphi=0,85$.

Отримаємо:

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

Використовуючи отримані дані визначимо потужність приводу нашого гомогенізатора:

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

де ρ – густина молока, $\rho=1011 \text{ кг/м}^3$

c – масова теплоємність молока, $c=3850 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$

Підставимо значення:

$$N = \frac{5 \cdot 0.00027 \cdot 3850 \cdot 1011}{0,85} = 6,18 \text{ кВт.}$$

4.3. Висновки до розділу

Отримані в результаті математичного моделювання та дослідження дані свідчать, що під час роботи гомогенізатора може виникнути гідравлічний удар після відкриття всмоктувального клапана.

Запропоновані заходи щодо модернізації гомогенізатора спрямовані на підвищення надійності його функціонування, щоб уникнути пошкоджень робочих органів машини у разі виникнення гідравлічного удару.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1. Охорона праці

5.1.1. Аналіз умов праці у харчовій галузі за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища.

Умови праці це сукупність факторів виробничого середовища, які впливають на здоров'я і працездатність людини в трудовому процесі. Ці фактори поділяють на шкідливі і небезпечні. 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 характерне 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.

Вплив на людину шкідливого фактора може привести до травми, наприклад: 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: рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи обладнання, рухомі вироби, заготовки і матеріали; підвищена або знижена температура поверхні обладнання, матеріалів повітря робочої зони; вологість і рухомість повітря; небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі; підвищений рівень шуму, вібрації, інфрачервоного і ультразвуку; підвищення або нестача природного освітлення, відсутність світла, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, блиск, підвищена пульсація світлового потоку; гострі краї, шорсткості на поверхні обладнання, інструмента заготовок; розміщення робочих місць на значній висоті від підлоги; підвищений рівень УФ і ІЧ радіації; електромагнітні випромінювання, статична електрика; підвищена напруга електромагнітних полів; підвищена або знижена іонізація повітря; підвищений рівень іонізуючого випромінювання в робочій зоні; підвищений або знижений барометричний тиску в робочій зоні і його різка зміна.

Для хлібопекарних, макаронних, кондитерських, цукрових, бродильних виробництв характерними є більшість із наведених шкідливих і небезпечних факторів. Наприклад: на хлібозаводах 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°C. 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 токсичне; подразнюючу слизові носа, рота, очей; алергічну; мутагенну дію, а також 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), тяжкі (вимушена поза 50%) і дуже тяжкі >50%. Психоневрологічні перевантаження поділяють на розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

До професійних захворювань відносять захворювання які виникають при дії на працюючих специфічних для даної професії шкідливих виробничих факторів, а також захворювання які зустрічаються серед контактуючих з цими факторами людей на роботі частіше ніж при інших умовах. До них відносяться захворювання що є наслідком ускладнень, прямих наслідків або різкого погіршення яких-небудь інших захворювань,

що самостійно не носять професійного характеру, але викликані професійним захворюванням.

Професійні захворювання розвиваються в результаті більш або менш тривалого періоду роботи протягом якого в організмі під дією шкідливих факторів нагромаджується критична маса токсичної чи шкідливої речовини (газу, пари, пилу) а також якщо в ньому проходять поступові зміни фізіологічних функцій окремих органів системи (шум, вібрація, мікроорганізми, фізичні чи емоційні перевантаження).

Період нагромадження цих змін до моменту прояву називають періодом прихованого розвитку професійного захворювання. Він може складати 1-2 або навіть 20-30 років. При використанні на виробництві професійних заходів. Професійні захворювання можуть не проявитися протягом усього стажу роботи.

У випадку встановлення у працівника професійного захворювання йому можуть назначити допомогу по тимчасовій непрацездатності, пенсію по інвалідності, а також може розглядатися питання про компенсацію підприємством збитків здоров'ю.

5.1.2. 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 травмонезбезпечних 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.

Також прослідковується тенденція щорічного збільшення кількості летальних нещасних випадків: відносний коефіцієнт смертності $K_{вс}$ в харчовій

промисловості за останнє десятиріччя зріс майже вдвічі – від 1,6 у 2004р. до 3,0 у 2013р. Тобто нещасні випадки стають все більш небезпечними.

За даними Державного комітету статистики харчова галузь продовжує входити в п'ятірку найбільш травмонебезпечних галузей України.

Одним із основних напрямків покращення стану охорони праці є заміна застарілого обладнання, застосування сучасних та безпечних для працівників технологічних процесів.

5.1.3. 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 обліковуються 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 хлібозаводах 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. Планування заходів з питань цивільного захисту на підприємствах харчової та переробної промисловості.

Планування заходів захисту об'єкта – це розроблення сукупності документів, у яких визначені сили і засоби, порядок і послідовність дій з метою забезпечення захисту населення, виробництва, а також виконання завдань вищих органів, пов'язаних із поданням допомоги населенню інших об'єктів і міст.

Планування заходів з питань цивільного захисту на підприємствах харчової та переробної промисловості проводиться у тій же послідовності, що й на будь яких інших об'єктах народного господарства.

На підприємства мають бути розроблені два плани: на воєнний та мирний час.

План цивільного захисту на воєнний час – це документи, які визначають організацію і порядок переведення об'єкта з мирного на воєнний час і ведення цивільного захисту в початковий період війни.

План цивільного захисту на мирний час – це документи, які визначають організацію і порядок виконання заходів цивільного захисту з метою запобігання або зменшення можливих втрат від важких виробничих аварій, катастроф, і стихійних лих, а також ведення рятувальних та інших невідкладних робіт при їх виникненні.

Методика розроблення планів.

Необхідно зібрати вихідні документи, що будуть використані при розробці документів плану цивільного захисту об'єкта: директивні документи Президента; Верховної Ради; Уряду України; витяг із рішення керівника цивільного захисту району про організацію і ведення цивільного захисту на території району; дані про кількість формувань, їх особовий склад, які потрібно створити на даному об'єкті; витяг із плану прийому і розміщення евакуйованого населення; витяг із наряду райвійськкомату на постачання техніки у збройні сили у зв'язку з мобілізацією; окремі розпорядження керівника цивільного

захисту району; документи, які характеризують господарство і населений пункт.

Розробка плану відбувається у три етапи в певній послідовності.

Перший етап – підготовчий, протягом якого визначається склад виконавців і затвердження їх, підготовка виконавців до роботи, доведення до них директив, рекомендацій та інших документів, узагальнення й аналіз вихідних даних, необхідних для розробки плану ЦЗ, визначення обсягу робіт і розподіл обов'язків між виконавцями та закріплення відповідальних за розділами плану.

Для планування, підготовки і проведення заходів евакуації має бути інформація, щоб забезпечити відповіді на такі запитання: чисельність працюючих відвідувачів, обслуговуючого персоналу на даному об'єкті, всього населення у населеному пункті; час доби, коли буває найбільше скупчення людей у приміщеннях; розміщення людей у приміщеннях; стан входів, аварійних виходів; наявність і стан входів для пожежників, міліції, поліції, внесення технічних засобів; труднощі, які треба враховувати під час евакуації людей (вузькі проходи, сходи, непрацюючі ліфти та ін.); Планування евакуації має передбачати виникнення найбільш несприятливих ситуацій під час підготовки і проведення евакуації: відсутність відповідних керівників, транспорту, електрозабезпечення, погані погодні умови, аварія на дорозі, паніка серед людей та ін.

Другий етап – практична розробка, оформлення документів. Заходи, які плануються в документах плану, мають бути спрямовані на виконання завдань ЦЗ в надзвичайних ситуаціях.

У документах плану визначають заходи, які потрібно виконати в мирний час, при загрозі виникнення надзвичайних ситуацій, несподіваному нападі противника, стихійних лихах, виробничих аваріях, катастрофах і при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт, а також характер і порядок дій формувань, зміст і обсяг

робіт, строки виконання заходів з урахуванням конкретних умов і можливостей даного об'єкта.

Заходи, які потребують капітальних затрат і матеріально-технічних засобів, також мають бути висвітлені в цих планах.

До них належать: будівництво протирадіаційних укриттів, пункту управління, забійних площадок і пунктів, площадок ветеринарної обробки сільськогосподарських тварин; придбання засобів для герметизації тваринницьких ферм, складських приміщень і колодязів; систем зв'язку і оповіщення; придбання майна для формувань, спеціальної техніки, необхідної формуванням для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт, автономних джерел електроенергії.

Оскільки заходи потребують матеріальних затрат, вони повинні здійснюватися у комплексі з іншими економічними заходами, через що їх необхідно включити в поточний і перспективний план об'єкта, де вони будуть забезпечені коштами.

За даними оцінки можливої обстановки, що може скластися на об'єкті, керівники об'єкта планують заходи підвищення стійкості роботи об'єкта. Всі пропозиції, пов'язані із затратами, необхідно документально обґрунтувати з поданням відповідних заявок із кошторисами в місцеві, районні, обласні органи управління ЦЗ, а якщо необхідно то у відповідні міністерства, відомства.

Планування таких заходів, як підготовка і забезпечення майном формувань, навчання керівного особового складу формувань, працюючих, організація зв'язку і оповіщення, створення навчально-матеріальної бази та ін., проводиться за рахунок коштів об'єкта.

Третій етап – узгодження розроблених планів із відділом ЦЗ району, з районним агропромисловим управлінням, адміністрацією населеного пункту, службами ЦЗ району, після цього затвердження документів плану ЦЗ. Зміст плану цивільного захисту об'єкту узгоджується з вимогами плану ЦЗ району, що підтверджує начальник відділу з питань цивільного захисту населення району, після чого план затверджує керівник ЦЗ об'єкта.

5.2.2. Зони ураження під час техногенних вибухів. Методи розрахунку характеристик зон ураження

До вибухонебезпечних об'єктів відносять виробництва вибухових речовин (ВР), нафтопереробні підприємства, млинарські комбінати та елеватори, деревообробні та інші підприємства, що використовують або виробляють горючі речовини та матеріали.

Аварії на таких об'єктах, як правило, супроводжуються вибухами. Під вибухом розуміється процес звільнення великої кількості енергії за короткий проміжок часу. В результаті вибуху речовина перетворюється в сильно нагрітий газ з дуже високим тиском, що впливає на навколишнє середовище, повітря, викликаючи його рух, і утворення чинників, що уражають. Тому вони називаються уражаючими факторами.

Основний уражаючий фактор вибуху – це повітряна ударна хвиля (УХ). Ударна хвиля – це зона сильно стислого повітря, називається фронт ударної хвилі, що розповсюджується в усі боки від центру вибуху з надзвуковою швидкістю (більше 330м/с).

Основним параметром УХ, що визначає її руйнівну дію, є надмірний тиск у фронті УХ. Надмірний тиск ΔP_{ϕ} – це різниця між максимальним тиском у фронті хвилі (P_{ϕ}) і атмосферним тиском перед фронтом (P_0):

$$\Delta P_{\phi} = P_{\phi} - P_0, \text{кПа.}$$

Одиниці виміру ΔP_{ϕ} в системі СІ – паскаль (Па).

На рисунку 5.1. показано характер зміни тиску повітря в часі при проходженні ударної хвилі.

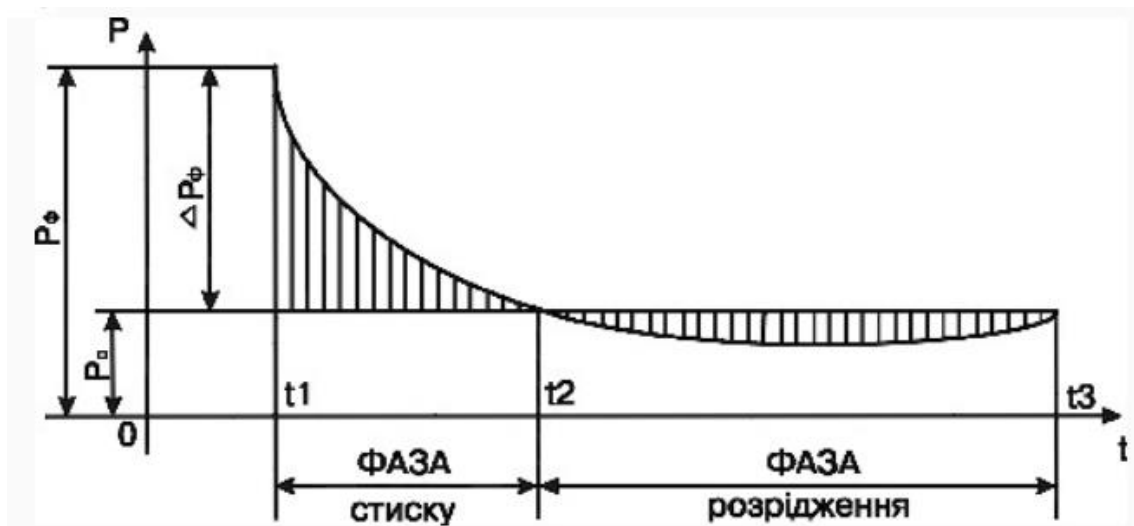


Рисунок 5.1. Зміни тиску повітря при проходженні ударної хвилі

Надмірний тиск у даній точці залежить від відстані до місця (центру) вибуху, маси продукту вибуху (потужності вибуху) та інших чинників.

Повітряна ударна хвиля уражає людей, руйнує або пошкоджує будинки і споруди, обладнання і техніку. У незахищених людей в залежності від величини надмірного тиску можливі травми різного ступеню, характеристики яких наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Характеристика травм незахищених людей в залежності від надмірного тиску ударної хвилі

ΔP_{ϕ} , кПа	Ступені травм	Характер ураження
20-40	Легкі	Легка загальна контузія організму, тимчасова втрата слуху, забиті місця
40-60	Середні	Серйозні контузії, пошкодження органів слуху, кровотеча з носа і вух, сильно забиті місця
60-100	Важкі	Сильна контузія всього організму, пошкодження внутрішніх органів і мозку, важкі переломи кінцівок
>100	Вкрай важкі	Від отриманих травм більшість людей гине

Будинки, споруди, обладнання внаслідок дії УХ можуть бути пошкоджені або зруйновані. В залежності від надмірного тиску ΔP_{ϕ} , типу,

розмірів та інших чинників можуть отримати слабке, середнє, сильне або повне руйнування.

Внаслідок вибуху під впливом уражаючих факторів на місцевості утворюється осередок ураження. Межа осередку ураження пролягає через точки на місцевості, де надмірний тиск УХ становить 10 кПа. Форма осередку на рівнинній місцевості – коло (рис. 5.2.).

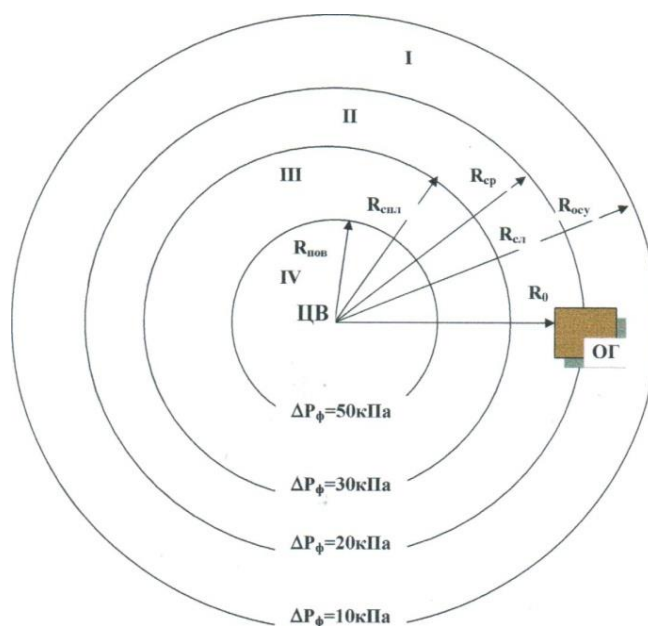


Рисунок 5.2. Форма осередку ураження при вибуху
ОГ – об'єкт господарювання; ЦВ – центр вибуху.

Радіуси осередку ураження і зон руйнувань залежать від потужності вибуху (маси продуктів вибуху Q).

В залежності від ступеня руйнування виробничих будинків і обсягу необхідних рятувальних і аварійно-відновлюваних робіт осередок ураження ділиться на IV зони: повних, сильних, середніх та слабких руйнувань.

I Зона слабких руйнувань – від 10 до 20кПа. Слабкі руйнування будівель.
II Зона середніх руйнувань утворюється там, де надмірний тиск від 20 до 30кПа, будівлі і споруди мають середній ступінь руйнувань. Дерев'яні споруди повністю руйнуються. III Зона сильних руйнувань характеризується сильними руйнуваннями будинків і споруд, утворенням місцевих завалів і

розповсюджується на територію, де надмірний тиск від 30 до 50кПа. IV Зона повних руйнувань характеризується надмірним тиском у фронті УХ 50кПа і більше. Будинки, споруди, обладнання в зоні повністю руйнуються, утворюю суцільні завали.

Визначення параметрів осередку ураження (радіусів зон руйнувань) здійснюється за допомогою Графіка залежності надмірного тиску від кількості тротилу і відстані до центру вибуху (рис. 5.3.).

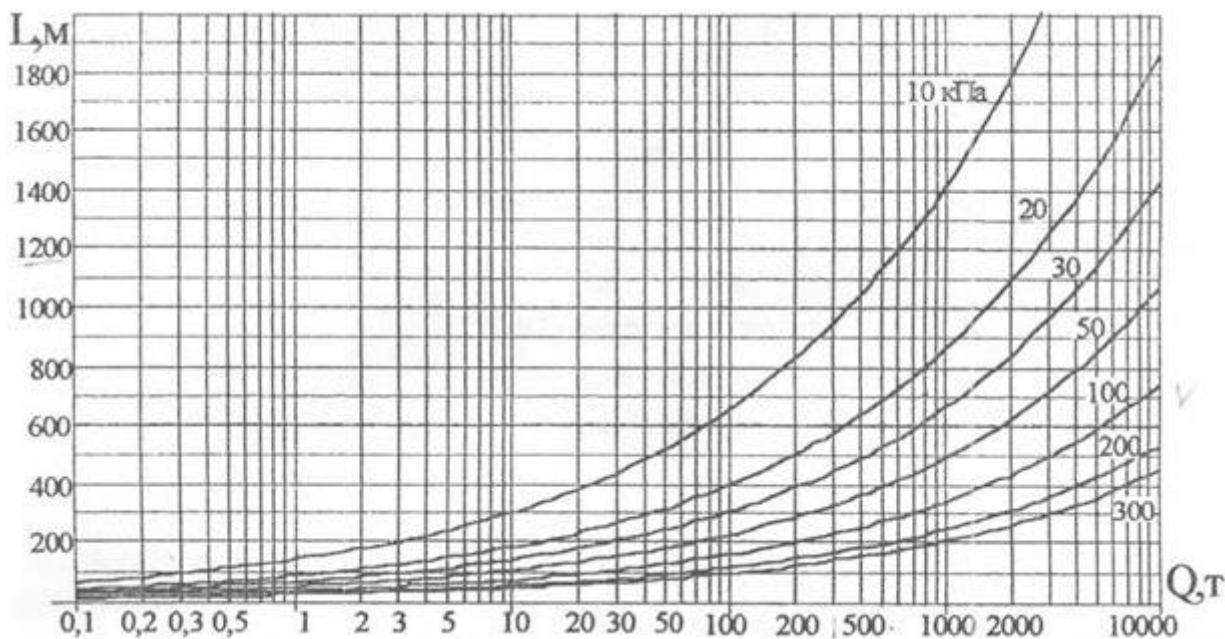


Рисунок 5.3. Графік залежності надмірного тиску від кількості тротилу і відстані до центру вибуху.

Висновки

Встановлена універсальна характеристика дала змогу передбачати, як змінюється споживана потужність гомогенізатора в залежності від технологічного тиску процесу гомогенізації.

Отримана кавітаційна характеристика гомогенізатора виключила ризик кавітаційних процесів під час роботи плунжера. Крім того, ця характеристика дозволила визначити максимальне значення гідравлічного опору (6,5 м) на всмоктуючій стороні, яке включає крани, повороти та трубопроводи, в межах яких проходить нормальний процес гомогенізації.

Отриманий аналіз осцилограми переміщення клапанів гомогенізатора дозволив оцінити можливість виникнення ризиків пов'язаних із можливим гідравлічним ударом, що настає після відкриття всмоктувального клапана. Це може відбутися на етапі переходу молока із всмоктувального колектора в камеру гомогенізатора.

Математична модель руху молока через щілину клапанного гомогенізатора показала, що існує відхилення у швидкості руху рідини. Різниця між швидкістю руху, розрахованою за математичною моделлю, і фактичними експериментальними даними склала 16,8 %.

Одержані за допомогою цієї математичної моделі результати дозволяють визначити характер нерівномірності швидкостей руху молока.

У першому наближенні ці дані можуть застосовуватись для вивчення течії продукту у трубі з прямокутним перетином, де максимальна висота суттєво менша за ширину зазору.

Запропоновані заходи щодо модернізації гомогенізатора спрямовані на підвищення надійності його функціонування, щоб уникнути пошкоджень робочих органів машини у разі виникнення гідравлічного удару.

Перелік посилань

1. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. | Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я.-Ц.:ЦНЛ "Інкос", 2007. – 344с.
2. 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.
3. 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.
4. Шинкарик М.М. Дослідження адгезійних властивостей білкової дисперсної фази при виробництві сиру кисломолочного / М.М. Шинкарик, О.І. Кравець // Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2012. – №1(53) – С.226-230.
5. Heat exchange in a chamber apparatus with a circulation circuit during cheese masses production / Mariia Shynkaryk, Viktor Voroshchuk, Oleh Kravets, Olha Krupa, Natalia Zvarych // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 108. — No 4. — P. 43–53.
6. Кармелюк Г. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач. / Г. І. Кармелюк – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 576с.
7. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.
8. Мостенська Т. Г. Екологічні загрози при виробництві харчових продуктів // Екологічні проблеми. – 2015. № 3. – С.93-99.

