

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного



**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**Науковий вісник**

Таврійського державного агротехнологічного університету



*Випуск 13, том 1*

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2023 р.

**УДК 60/68(08)**

**T 13**

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету:  
електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М.  
Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. – Вип. 13, том 1. – 516 с.

**ISSN 2220-8674**

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 10 від 21 квітня 2023 р.

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, AGRIS, НБУ ім. В. І. Вернадського.

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А. – д.т.н., проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко В. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисенко О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Мірошник О. О. – д.т.н., професор (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Тітова О. А. – д.пед.н., проф. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Beloev Hristo – Dr., professor (Bulgaria)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, professor (Eesti)

Pascuzzi Simone – Associate Professor (Italia)

Pavol Findura – PhD, professor (Slovakia)

Szafraniec Andrzej – Dr., professor (Poland)

Qawaqzeh Mohamed – PhD (Jordan)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний за випуск - к.т.н., професор Скляр О. Г.**

**Адреса редакції ТДАТУ:**

*Юридична:*

пр. Б. Хмельницького 18,  
м. Мелітополь, Запорізька обл.  
72312 Україна

*Фактична:*

вул. Жуковського, 66,  
м. Запоріжжя, Запорізька обл.  
69600, Україна

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ломейко О. П.* 1  
Методика розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока
- Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В., Лепеть Є. І.* 2  
Аналітичний огляд методів моделювання засобів механізації обробітку ґрунту
- Панченко А. І., Волошина А. А., Панченко І. А., Волошин А. А.* 3  
Вплив величини діаметрального зазору на кінематику руху внутрішнього ротора орбітального гідромотора
- Журавель Д. П., Бондар А. М.* 4  
Обґрунтування впливу системи очищення відпрацьованих робочих рідин на надійність гідравлічних систем
- Попов С. В., Семенов А. О., Євменов Р. Ю.* 5  
Експериментальне дослідження удосконаленої конструкції електропневмоклапану пневматичної системи автопоїзду-зерновозу
- Козаченко О. В., Сєдих К. В., Волковський О. М.* 6  
Теоретичний аналіз силової взаємодії дискового робочого органу з ґрунтовим середовищем
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М.* 7  
Методика моделювання та оптимізації структури посівних площ
- Захаров А. В., Рибалко І. М., Тіхонов О. В., Сайчук О. В.* 8  
Дослідження зношуючої здатності ґрунтів та її вплив на довговічність робочих органів ґрунтообробних машин
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Новик О. Ю.* 9  
Ультразвук та його застосування в промисловості
- Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О.* 10  
Ефект зберігання ягід після застосування холоду
- Комар А. С., Болтянський Б. В.* 11  
Конструктивно-технологічне вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею



- Пилипака С. Ф., Клендій М. Б., Драган А. П.* 12  
Моделювання та дослідження процесу транспортування сипучого матеріалу перевантажувальним патрубком гвинтового конвеєра
- Дідур В. В., В'юник О. В., Дашивець Г. І.* 13  
Аналіз методів очищення олії, віджатої з рослинної сировини
- Паляничка Н. О., Верхованцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О.* 14  
Обґрунтування розробки лабораторної установки імпульсного гомогенізатора
- Ковальов О. О., Самойчук К. О., Фучаджи Н. О.* 15  
Методологія дослідження параметрів струминних гомогенізаторів молока
- Самохвал В. А., Самойчук К. О.* 16  
Дослідження ефективності роботи обладнання для інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Сукманов В. О., Мулько І. С.* 17  
Дослідження реологічних та органолептичних властивостей курячих нагетсів з низьким вмістом хлориду натрію та додаванням яблука
- Кузьміна Т. О., Зубкова К. В., Стоянова О. В., Мамай О. І., Яковенко Т. О.* 18  
Розробка рецептури фруктових джемів для профілактичного харчування відповідно до вимог міжнародних стандартів
- Крижак Л. М., Семко Т. В., Іваніщева О. А.* 19  
Дослідження особливостей використання штамів пробіотиків у технології виробництва ферментованих м'ясних продуктів
- Болгова Н. В., Ільченко Н. О., Губа С. О., Соколенко В. В.* 20  
Аналіз технології виробництва твердого сиру з рослинними добавками



- Горач О. О.* 21  
Технологічне обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції
- Дзюндзя О. В., Горач О. В., Резвих Н. І.* 22  
Технологічні процеси та обладнання для гомогенізації майонезу
- Мельник О. Ю., Мазуренко І. К., Степанова Т. М., Кошель О. Ю., Сабадаш С. М.* 23  
Особливості технології нового батончика желейного
- Priss O. P., Sukhenko V. Yu., Bulhakov P. O.* 24  
Asparagus dry soluble and insoluble matter during storage
- Ярмош Т. А., Перцевой Ф. В.* 25  
Аналіз використання волоського горіха у харчовій промисловості
- Губа С. О., Бабенко Б. В., Болгова Н. В., Соколенко В. В.* 26  
Дослідження рівня обізнаності молоді в питаннях впливу екологічної складової на безпеку харчової продукції
- Вареник А. С., Перцевой Ф. В.* 27  
Використання продуктів переробки конопель у виробництві кондитерських борошняних виробів
- Дзюндзя О. В., Погрібняк О. А.* 28  
Перспективи використання гарбуза у стравах для закладів ресторанного господарства
- Д. О. Майборода, О. О. Данченко, Л. М. Здоровцева, М. М. Данченко, Ю. В. Ніколаєва* 29  
Регулювання якості м'яса гусей біологічно активними сполуками вівса посівного
- Ф. В. Перцевой, Т. І. Фотіна, О. Ю. Кошель, Т. І. Маренкова* 30  
Розширення асортименту паштетів збагачених на культивовану грибку сировину при кейтеринговому обслуговуванні
- І. Л. Заморська* 31  
Вміст та форми вологи у заморожених ягодах суниці садової функціонального призначення



- Igor Mazurenko, Yunbo Li, Shao Zhengzheng, Yangui Xie* 32  
Flour and confectionery products for children. Requirements for quality and safety indicators

### **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Попова І. О., Чаусов С. В.* 33  
Підвищення точності роботи мікропроцесорного пристрою захисту асинхронного двигуна

- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В.* 34  
Процес відновлення акумуляторної батареї комплексним підходом

- Волошин В. С., Азархов О. Ю.* 35  
Роль екосистеми «людина» в енергообміні на планеті

- Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Мигуля В. В.* 36  
Перспективи застосування автоматизованого проектування систем очищення змащувально-охолоджувальних рідин

- Бабич М. І., Коробка С. В.* 37  
Методика обґрунтування параметрів турбіни та дериваційного каналу мікрогідроелектростанції для умов гірської річки

- Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В.* 38  
Застосування методів енергозбереження у виробничій діяльності як інструмент підвищення енергоефективності

- Боярчук В. М., Коробка С. В., Стукалець І. Г., Бабич М. І., Сиротюк С. В.* 39  
Методика дослідження ефективності електрохімічного акумуляювання електроенергії

- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В.* 40  
Використання імпульсного електричного поля як спосіб покращення показників якості насіння

### **КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

- Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Зінов'єва О. Г.* 41  
Розробка алгоритму моделювання кривих з заданими властивостями



- Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г.* 42  
Проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу
- Сіциліцин Ю. О.* 43  
Використання AWS і Heroku для розробки паралельних і розподілених додатків в університетських лабораторіях



УДК 637.134

С. В. Кюрчев, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-6512-8118

К. О. Самойчук, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-3423-3510

О. П. Ломейко, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7407-545X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

e-mail: kurylo.samoichuk@tsatu.edu.ua, тел.: 097-880-54-85

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

*Анотація.* Для розробки та досліджень нових типів гомогенізаторів, а також теорій диспергування та гомогенізації мікроемульсій важливим етапом є розробка методики розрахунку експериментального зразка дослідного гомогенізатора. Але основною проблемою при проведенні досліджень струминних гомогенізаторів є відсутність єдиної теорії, та, як наслідок, методики розрахунку таких машин. Тому мета даної статті – розробити методику розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока. В результаті проведених досліджень розроблена установка, призначена для проведення експериментальних досліджень процесу струминного диспергування молочної емульсії. Приведено методику та здійснені основні розрахунки експериментального зразка струминного гомогенізатора. Наведені формули для визначення продуктивності, потужності приводу вершків та знежиреного молока, розміри камери гомогенізатора, параметри трубопроводів в залежності від необхідного розміру жирових кульок. Проведені дослідження дають можливість розробити конструкції гомогенізаторів та диспергаторів, енергоефективність яких значно перевищує існуючі.

*Ключові слова:* гомогенізація, диспергування молока, струминний гомогенізатор, експериментальний зразок, розрахунок.

*Постановка проблеми.* Експериментальний зразок струминного гомогенізатора призначено для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації молока. Під гомогенізацією молока розуміють процес його обробки, який призводить до диспергування жирової (дисперсної) фази і рівномірного розподілу її по об'єму дисперсійної фази (молочної плазми) [1].

Областю застосування експериментального зразка струминного





гомогенізатора є експериментальні дослідження, що проводять для:

- перевірки та коригування (при необхідності) розроблених теоретичних залежностей процесу гомогенізації;
- знаходження оптимальних і раціональних параметрів гомогенізатора (конструктивних, технологічних, кінематичних та енергетичних);
- проведення випробувань для перевірки якісних характеристик молока.

В струминних апаратах для диспергування жирової фази молока гомогенізація відбувається за рахунок дії струменя (як вільного, так і затопленого) або потоку продукту. Гомогенізатори з роздільним подаванням жирової фази у потік знежиреного молока [2, 3], або знежиреного молока у струмінь вершків (Т-гомогенізатори) дозволяють досягти високої різниці швидкості між жировою кулькою та плазмою і за показником ефективності гомогенізації не поступаються клапанним [4]. За рахунок використання роздільної гомогенізації (обробка лише жирової фази) вони мають низькі енерговитрати (менше 2 кВт·год/т) [5]. Також вони можуть поєднувати операцію нормалізації молочної суміші за жирністю [6], але при цьому потребують попереднього розділення молока на вершки та знежирене молоко (сепарацію).

Порядок розробки експериментальної установки включає такі складові:

1. Створення схеми експериментальної установки та її складових частин.
2. Визначення наближених основних параметрів установки (продуктивність, дисперсність емульсії та потужність).
3. Технологічні, кінематичні, гідравлічні та енергетичні розрахунки вузлів установки.
4. Вибір готових (покупних) деталей та вузлів установки, які можна запозичити з інших, вже існуючих машин та апаратів.
5. Корекція розрахункових параметрів за умовами обраних покупних вузлів і деталей.
6. Розрахунки на міцність та витривалість деталей установки.
7. Створення креслеників загального виду установки.
8. Створення креслень деталей.
9. Збирання експериментальної установки.

Основною проблемою при проведенні досліджень струминних гомогенізаторів є відсутність єдиної теорії, та, як наслідок, методики розрахунку таких машин. Для проведення експериментальних досліджень необхідним етапом є розробка та створення експериментального зразка. Для цього потрібно знати орієнтовні технологічні, конструктивні, гідравлічні та енергетичні параметри



установки. Основні труднощі, які потрібно вирішити при розробці експериментального зразка: необхідність корекції розрахункових параметрів, зважаючи на покупні елементи установки й необхідність врахування досить широкого діапазону змінних факторів процесу гомогенізації.

*Аналіз останніх досліджень.* Перед обробкою в експериментальному зразку струминного гомогенізатора молоко повинно бути розділено на вершки та знежирене молоко. Вони мають відповідати умовам ДСТУ ISO 7208:2002 «Молоко знежирене, сироватка та маслянка» та ДСТУ 8553:2015 «Молоко-сировина та вершки-сировина. Правила приймання, відбирання та готування проб до контролювання».

В перспективі, експериментальний зразок струминного гомогенізатора з незначним доопрацюванням, може бути використаний для проведення експериментальних досліджень процесу струминної гомогенізації не тільки молока, але й соків та соковмісних напоїв, сумішей для морозива, майонезів, маргаринів і кетчупів, сумішей для відгодовування телят, тощо.

Технічні характеристики експериментального зразка, що розробляється:

- продуктивність, кг/год – 500;
- тиск насосу подачі знежиреного молока, максимальний, МПа – 5,4;
- потужність електродвигуна приводу подачі знежиреного молока, кВт – 1,5;
- частота обертання валу насоса подачі знежиреного молока, об/хв. – 1400;
- тиск насосу подачі вершків максимальний, МПа – 6;
- потужність електродвигуна приводу подачі вершків, кВт – 0,3;
- середній розмір жирових кульок після обробки, мкм – до 0,8;
- маса установки, кг – 80;
- габаритні розміри, довжина x ширина x висота, мм – 900 x 580 x 420.
- діаметр камери у місці подачі вершків, мм – 2;
- діаметр каналу подачі вершків, мм – 1;
- питомі енерговитрати в розрахунковому режимі, кВт/т, – 0,6.

Для розрахунків використовувались аналітичні дослідження струминної гомогенізації молока, проведені в Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного. Крім того використовувались класичні залежності гідравліки та технічної механіки.

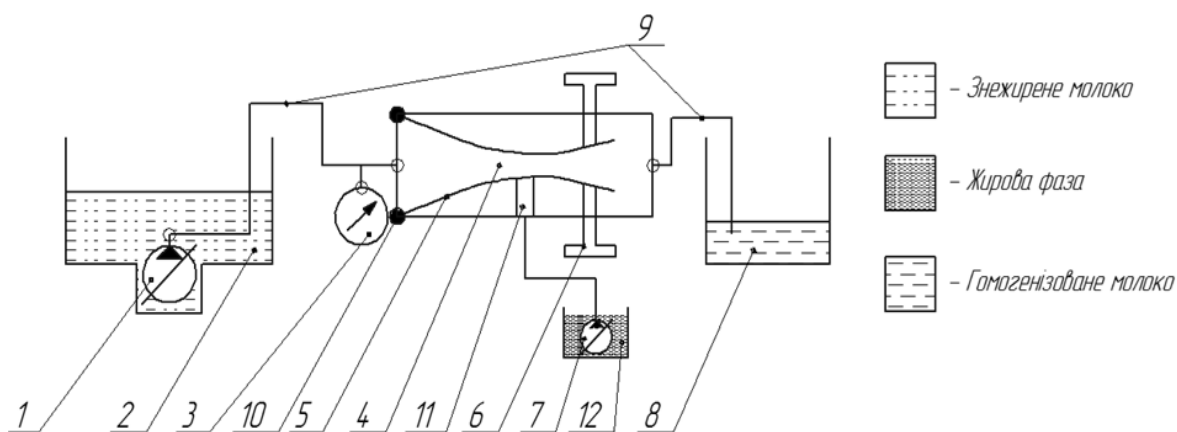
*Формулювання мети статті.* Мета даної статті – розробити методику розрахунку експериментального зразка струминного

гомогенізатора молока. Така методика необхідна дослідникам на етапі планування експериментальних досліджень процесів диспергування та гомогенізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити вихідні дані та умови до експериментального зразка;
- описати конструкцію та принцип дії експериментального зразка струминного гомогенізатора;
- розробити методику розрахунку основних технологічних параметрів експериментальної установки;
- розробити методику розрахунку на міцність основних вузлів та деталей установки.

*Основна частина.* Схема зразка струминного гомогенізатора для проведення експериментальних досліджень представлена на рисунку 1.



1 – насос роторного типу; 2 – ємність для знежиреного молока; 3 – манометр; 4 – камера гомогенізації; 5 – направляючі; 6 – регульовальні тяги; 7 – насос подачі жирової фази; 8 – ємність для приймання готового продукту; 9 – трубопроводи; 10 – шарніри; 11 – канал подачі вершків; 12 – ємність для вершків.

Рисунок 1. Схема експериментального зразка струминного гомогенізатора молока

Пристрій працює наступним чином. З ємності 2 знежирене молоко через насос 1 по трубопроводах надходить до камери гомогенізації 4. З ємності для вершків 12, насосом 7 через канал 11 жирова фаза подається до центральної зони камери гомогенізації у потік знежиреного молока, де відбувається процес диспергування.

Для підвищення потоку знежиреного молока в камері гомогенізації встановлені направляючі потоку 5, виготовлені з нержавіючої сталі, які закріплені шарнірами 10 та мають регульовальні тяги для можливості регулювання відстані між направляючими. Корпус камери гомогенізації виготовлено з органічного скла для можливості спостереження за процесом. Манометр 3 необхідний для



контролю значень тиску рідини. У ємності 2 передбачено отвір для зливу залишків продукту. Готовий продукт зливається в ємність 8.

Вихідними даними для розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора є необхідний середній діаметр жирових кульок молока  $d_{cp}$ , що регламентується технічним завданням ( $d_{cp} < 1$  мкм); жирність вершків  $J_в$  і необхідна жирність нормалізованого молока  $J_{н-м}$ , продуктивність гомогенізатора  $Q_2$  [7, 8].

Максимальний ступінь диспергування мають клапанні гомогенізатори, середній діаметр жирових кульок після обробки в яких складає 0,8 мкм. Такої якості достатньо для технологічних процесів виробництва молочних продуктів з використанням гомогенізованого молока. Тому це значення приймаємо за розрахункове. Для експериментального зразку продуктивність, з метою економії сировини для досліджень, необхідно підтримувати на мінімальному рівні. З технічного завдання обираємо  $Q_2 = 500$  кг/год. Жирність молока та вершків, найбільш типові значення, відповідно 3,2% та 20% [9].

Визначаємо подачу вершків  $Q_в$  і знежиреного молока  $Q_{зн}$

$$Q_{зн} = \frac{Q_2 (J_в - J_{н-м})}{J_в - J_{зн}}, \quad (1)$$

$$Q_в = \frac{Q_2 (J_{н-м} - J_{зн})}{J_в - J_{зн}}, \quad (2)$$

де  $J_{зн}$  - жирність знежиреного молока, %.

$$Q_{зн} = \frac{500(20 - 3,2)}{20 - 0,05} = 421 \text{ кг/год.}$$

$$Q_в = \frac{500(3,2 - 0,05)}{20 - 0,05} = 79 \text{ кг/год.}$$

Необхідну швидкість знежиреного молока для отримання продукту з заданим середнім розміром жирових часток знаходимо з відомої формули

$$v_{зн} = \sqrt{\frac{We_k \cdot \sigma_{ж-н}}{2\rho_{пл} \cdot d_{cp} \cdot k_{щ}^2}}, \quad (3)$$

де  $We_k$  – критичне значення критерію Вебера;

$\sigma_{ж-н}$  – поверхневий натяг жирової кульки в плазмі молока, Н/м;

$\rho_{пл}$  – густина молочної плазми, кг/м<sup>3</sup>;

$k_{щ}$  – коефіцієнт щільної гомогенізації.

$$v_{зн} = \sqrt{\frac{28 \cdot 0,1}{2 \cdot 1035 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8^2}} = 50 \text{ м/с.}$$

Параметри циліндричної камери гомогенізації в місці найбільшого



звуження струминного гомогенізатора

$$v_{zn} = \frac{Q_{zn}}{\varepsilon_k \cdot S}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_k$  – коефіцієнт звуження потоку;

$$S = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}. \quad (5)$$

Тоді внутрішній діаметр камери щільного гомогенізатора в місці найбільшого звуження буде дорівнювати [10, 11]

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{zn}}{\rho_{zn} \cdot 3600 \cdot \varepsilon_k \cdot \pi \cdot v_{zn}}}. \quad (6)$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 421}{1035 \cdot 3600 \cdot 0,9 \cdot 3,14 \cdot 50}} = 0,002 \text{ м.}$$

Для розрахунків експериментального зразка ширину кільцевої щілини для подачі вершків, виходячи з результатів аналітичних досліджень, приймемо  $h=1$  мм. Але для можливості зміни цього параметра при проведенні експериментальних досліджень, мінімальну ширину приймемо 0,6 мм.

Швидкість подачі жирової фази у місці входження до руху потоку знежиреного молока можна знайти зі співвідношення [12, 13]

$$v_e = \frac{Q_e}{\rho_e \cdot 3600 \cdot \pi \cdot d_k \cdot h}. \quad (7)$$

$$v_e = \frac{79}{960 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,002 \cdot 0,0006} = 6 \text{ м/с.}$$

Для гарантованого забезпечення подачі знежиреного молока та вершків, слід обирати насоси об'ємного типу дії, надлишкові тиски для підбору яких розраховуються як

$$\Delta p_{zn} = \frac{\rho_{zn} \cdot v_{zn}^2}{2\varphi^2}, \quad (8)$$

$$\Delta p_e = \frac{\rho_e \cdot v_e^2}{2\varphi^2} + \Delta p_{zn}, \quad (9)$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт швидкості потоку.

$$\Delta p_{zn} = \frac{1035 \cdot 50^2}{2 \cdot 0,85^2} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_e = \frac{960 \cdot 6^2}{2 \cdot 0,85^2} + 1,8 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Потужності насосів, що використовуються для приводу насосів подачі знежиреного молока та вершків можна визначити з залежностей



[14, 15]

$$P_{\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} \cdot \Delta p_{\epsilon}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon}}, \quad (10)$$

$$P_{zn} = \frac{Q_{zn} \cdot \Delta p_{zn}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_n}, \quad (11)$$

де  $\eta_{\epsilon}$ ,  $\eta_n$  – відповідно коефіцієнти корисної дії насосів подачі вершків і знежиреного молока.

$$P_{\epsilon} = \frac{79 \cdot 2 \cdot 10^6}{3600 \cdot 960 \cdot 0,8} = 60 \text{ Вт.}$$

$$P_{zn} = \frac{421 \cdot 1,8 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1035 \cdot 0,8} = 254 \text{ Вт.}$$

Установка, що розробляється призначена для проведення експериментальних досліджень процесу гомогенізації, тобто необхідний тиск повинен бути в 3 рази більше, за мінімальний для можливості варіювання параметрами гомогенізатора, тобто 6 МПа для подачі вершків та 5,4 МПа для насосу подачі знежиреного молока [16, 17]. Тоді потужність електродвигунів для приводу подачі вершків та знежиреного молока

$$P_{\delta\epsilon} = \frac{Q_{\epsilon} \cdot \Delta p_{\epsilon}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{\delta\epsilon}}, \quad (12)$$

$$P_{\delta zn} = \frac{Q_{zn} \cdot \Delta p_{zn}}{3600 \cdot \rho_{\epsilon} \cdot \eta_n \cdot \eta_{\delta zn}}, \quad (13)$$

де  $\eta_{\delta\epsilon}$ ,  $\eta_{\delta zn}$  – коефіцієнти корисної дії двигунів приводу насосів подачі вершків і знежиреного молока.

$$P_{\delta\epsilon} = \frac{79 \cdot 6 \cdot 10^6}{3600 \cdot 960 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 257 \text{ Вт.}$$

$$P_{\delta zn} = \frac{421 \cdot 5,4 \cdot 10^6}{3600 \cdot 1035 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 1100 \text{ Вт.}$$

Для приводу насосу подачі вершків обираємо електронасос (насос, спущений з електродвигуном) REOF 10A, потужністю 300 Вт [18].

Для приводу насосу знежиреного молока використовується електричний двигун АІР80В4 з частотою обертання 1400 об/хв та потужністю 1,5 кВт.

Таким чином загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка гомогенізатора становить  $1100+257=1357$  Вт. Загальна розрахункова споживана потужність  $60+254=314$  Вт.

Питомі витрати енергії гомогенізатора при розрахунковому режимі роботи [8]



$$E_{num} = \frac{P}{Q_2} \quad (14)$$
$$E_{num} = \frac{314}{500} = 0,6 \text{ Вт/кг.}$$

або 0,6 кВт/т молока.

Вибір діаметрів трубопроводів залежить від витрати продукту, що транспортується та його виду. Швидкість руху продукту по трубах залежить від її в'язкості та повинна забезпечувати ламінарний режим руху потоку. Такий режим забезпечується при русі молока зі швидкістю 0,5 – 1,5 м/с, вершків – 0,5 м/с.

При перекачування знежиреного молока діаметр трубопроводу, який з'єднує насос з форсунками  $d_{Тзн}$ , м, розраховується за формулою

$$d_{Тзн} \geq 2 \sqrt{\frac{Q_{зн}}{3600 \cdot \rho_{зн} \cdot \pi \cdot v_{зн}}} \quad (15)$$
$$d_{Тзн} \geq 2 \sqrt{\frac{421}{3600 \cdot 1035 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,010 \text{ м.}$$

Тобто внутрішні діаметри трубопроводів подачі знежиреного молока повинні бути більше 10 мм.

Аналогічно розраховуємо мінімальний діаметр трубопроводів для подачі вершків

$$d_{Тв} \geq 2 \sqrt{\frac{Q_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot \pi \cdot v_v}} \quad (16)$$
$$d_{Тв} \geq 2 \sqrt{\frac{79}{3600 \cdot 960 \cdot 3,14 \cdot 0,5}} = 0,0076 \text{ м.}$$

Тобто внутрішні діаметри трубопроводів подачі вершків повинні бути більше 8 мм.

Фрагмент кресленника розробленого струминного гомогенізатора молока показаний на рисунку 2.

Основні характеристики розробленого пристрою: продуктивність – 500 кг/год, питомі енерговитрати – 0,6 кВт/т, маса – 80 кг, габаритні розміри 900 мм x 580 мм x 420 мм,

*Висновки.* В результаті проведених досліджень розроблена методика розрахунку експериментального зразка струминного гомогенізатора молока. Такий зразок призначений для проведення експериментальних досліджень процесу струминного диспергування молочної емульсії. Приведено опис принципу дії гомогенізатора, що

16 з

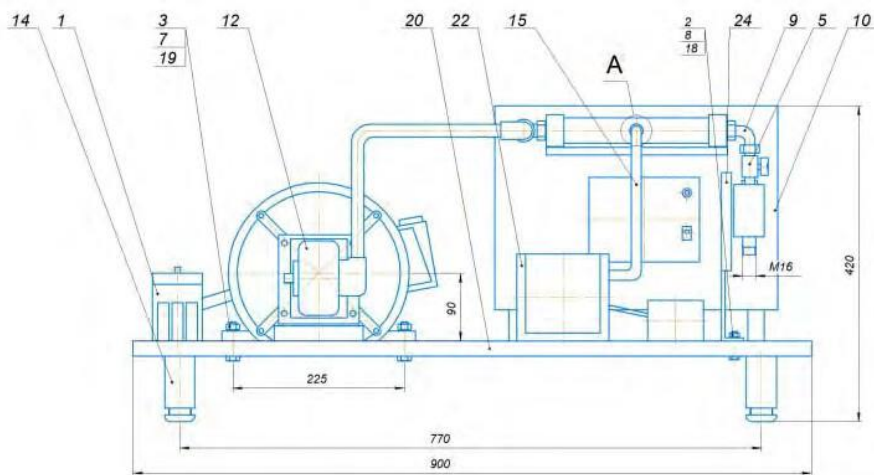


Рисунок 2. Фрагмент кресленника розробленого струминного гомогенізатора молока

базується на подачі тонкого струменя вершків у швидкісний потік знежиреного молока. Розраховані його технічні характеристики: продуктивність – 500 кг/год, питомі енерговитрати – 0,6 кВт/т, маса – 80 кг, габаритні розміри 900 мм х 580 мм х 420 мм, які не мають відхилень від вимог, встановлених технічним завданням.

Приведено методику та здійснені основні розрахунки експериментального зразка струминного гомогенізатора. В якості приводу для роботи насоса подачі вершків було обрано електронасос (насос, поєднаний з електродвигуном) REOF 10A, потужністю 300 Вт. Для приводу насоса знежиреного молока обрано електричний двигун АИР80В4 з частотою обертання 1400 об/хв та потужністю 1,5 кВт. Загальна максимальна споживана потужність експериментального зразка гомогенізатора становить близько 1,4 кВт.

Проведені дослідження дають можливість розробити конструкції гомогенізаторів та диспергаторів, енергоефективність яких значно перевищує існуючі. Причому не тільки в харчовій і переробній, але і хімічній, фармацевтичній, сільськогосподарській та багатьох інших галузях промисловості. Розроблена методика розрахунку гомогенізатора завдяки підвищеній енергоефективності буде затребувана підприємствами-виробниками обладнання для харчової промисловості.

#### Список використаних джерел

1. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. Вип.16, т.1. С. 9–15.





2. Протитечійно-струминна гомогенізація молока: монографія / Г. В. Дейниченко, К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев, В. О. Олексієнко, Н. О. Паляничка, В. О. Верхоланцева. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 188 с.
3. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монографія. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с
4. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник / К. О. Самойчук, В. С. Бойко, В. О. Олексієнко, С. В. Петриченко, В. Г. Тарасенко та ін. К : ПрофКнига, 2020. 428 с.
5. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Експериментальні дослідження струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2012. Вип. 28. С. 42–46.
6. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11, т. 6. С. 77–83.
7. Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. Вип.15, т. 1. С. 240–248.
8. Монтаж експлуатація і ремонт машин та обладнання переробних підприємств. Навчальний посібник: практикум / В. Ф. Ялпачик, О. П. Ломейко, В. Г. Циб, Ф. В. Ялпачик, К. О. Самойчук та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 235 с.
9. Розрахунки обладнання харчових виробництв: навч. посібник / В. Ф. Ялпачик, С. Ф. Буденко, Ф. Ю. Ялпачик, О. В. Гвоздєв, В. Г. Циб та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2014. 264 с.
10. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва: лабораторний практикум / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничка, С. Ф. Буденко, К. О. Самойчук та ін. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 274 с.
11. Dhankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR J. Eng.* 2014. Vol. 4, is. 1–8. <https://doi.org/10.9790/3021-04540108>.
12. Huppertz T. Homogenization of Milk Other Types of Homogenizer



(High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). In *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA. 2011. P. 761–764. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00226-0>.

13. Ciron C., Gee V., Kelly A., Auty M. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *Int. Dairy J.* 2010. Vol. 20. P. 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.018>

14. Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Trägårdh C., Bergenståhl B. Velocity measurements of turbulent two-phase flow in a high-pressure homogenizer model. *Chem. Eng. Commun.* 2013. Vol. 200. P. 93–114. <https://doi.org/10.1080/00986445.2012.691921>.

15. Yong A., Islam M., Hasan N. The Effect of pH and High-Pressure Homogenization on Droplet Size. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 2017. Vol. 35. P. 1–22. <https://doi.org/10.26776/IJEMM.02.04.2017.05>.

16. Wang X., Wang Y., Li F., Li L., Ge X., Zhang S., Qiu T. Scale-up of microreactor: Effects of hydrodynamic diameter on liquid–liquid flow and mass transfer. *Chem. Eng. Sci.* 2020. Vol. 226. No 115838. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115838>.

17. Valencia Flores D., Hernández Herrero M., Guamis B., Ferragut V. Comparing the Effects of Ultra High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Phys, and Chem Quality of Almond Beverages. *J. Food Sci.* 2013. Vol. 78. P. 199–205. [https://doi.org/10.1111/1750\\_3841.12029](https://doi.org/10.1111/1750_3841.12029).

18. Acharyaa S., Mishrab V., Patelc J. Enhancing the mixing process of two miscible fluids: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2021. No 2341- 030025. <https://doi.org/10.1063/5.0051818>.

*Дослідження виконано в рамках науково-технічної роботи "Розроблення технології переробки молочних продуктів з використанням нових типів гомогенізаторів", яка фінансується МОН за договором № ДЗ/132 - 2022.*

Стаття надійшла до редакції 20.02.2023 р.

**S. Kiurchev, K. Samoichuk, O. Lomeiko, O. Kovalov**  
**Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University**

## **CALCULATION METHODOLOGY OF THE EXPERIMENTAL SAMPLE OF THE STREAM MILK HOMOGENIZER**

### *Summary*

For the development and research of new types of homogenizers, as well as the



theories of dispersion and homogenization of microemulsions, an important stage is the development of a methodology for calculating an experimental sample of an experimental homogenizer. But the main problem in conducting research on jet homogenizers is the lack of a single theory, and, as a result, the methodology for calculating such machines. Therefore, the purpose of this article is to develop a methodology for calculating an experimental sample of a jet milk homogenizer. As a result of the conducted research, an installation designed for conducting experimental studies of the process of jet dispersion of milk emulsion was developed. The description of the principle of action of the homogenizer, which is based on the introduction of a thin stream of cream into a high-speed flow of skimmed milk, is given. Its technical characteristics are calculated. The methodology and basic calculations of the experimental sample of the jet homogenizer are given. Formulas for determining productivity, cream and skimmed milk drive power, homogenizer chamber dimensions, pipeline parameters depending on the required size of fat balls are given. The total maximum power consumption of the experimental sample of the homogenizer is about 1.4 kW.

The conducted research makes it possible to develop the designs of homogenizers and dispersers, the energy efficiency of which significantly exceeds the existing ones. And not only in food and processing, but also in chemical, pharmaceutical, agricultural and many other industries. The developed method of calculating the homogenizer due to increased energy efficiency will be in demand by enterprises producing equipment for the food industry.

**Key words:** homogenization, dispersion of milk, jet homogenizer, experimental sample, calculation

Електронне наукове фахове видання

**Науковий вісник**  
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 13, том 1.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 22 квітня 2023 р.  
Друкарня ТДАТУ  
26,76 умов. друк. арк.