

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"
на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
диспергатора рідких кормів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-2-19
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Малегін Роман Дмитрович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Шевченко Ігор Аркадійович

Дніпро, 2020

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

МВІТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Малєгін Роман Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів диспергатора рідких кормів

керівник роботи Алієв Ельчин Бахтияр огли, д-р техн. наук, старш. дослід.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » _____ 20__ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі тваринництва та існуючого техніко-технологічного забезпечення приготування рідких кормів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан проблеми і вибір напрямів досліджень. 2. Теоретичні дослідження робочого процесу диспергування рідких кормів. 3. Чисельне моделювання диспергатора рідких кормів. 4. Випробування експериментального зразка кавітаційного диспергатора-гомогенізатора. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність використання диспергатора рідких кормів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. Аналіз (6 аркушів, А4). 2. Теоретичні дослідження (4 аркуша, А4). 3. Чисельне моделювання (6 аркушів, А4). 4. Методика розрахунку (2 аркуша, А4). 5. Економічна частина (2 аркушів, А4). 6. Апробація результатів (2 аркушів, А4). 7. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алієв Е.Б., професор		
2	Алієв Е.Б., професор		
3	Алієв Е.Б., професор		
4	Алієв Е.Б., професор		
5	Кравець В.В., доцент		
6	Вінніченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10.10.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	до 01.10.2020	
2	Теоретичний	до 20.10.2020	
3	Моделювання	до 09.11.2020	
4	Лабораторні випробування	до 14.11.2020	
5	Охорона праці	до 20.11.2020	
6	Економічний	до 26.11.2020	
7	Демонстраційна частина	до 30.11.2020	

Студент

_____ (підпис)

Малегін Р. Д.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Алієв Е.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

Малегін Р. Д. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів диспергатора рідких кормів. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). ДДАЕУ, Дніпро, 2020.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. Аналіз стану питання дав змогу обґрунтувати напрямки вирішення поставленої мети та задач. В другому розділі розроблена теоретичний процес приготування рідких кормів за допомогою диспергатора. В третьому розділі у результаті чисельного моделювання розроблена математична модель диспергатора рідких кормів. В четвертому розділі описано опробування експериментального зразка. В п'ятому розділі проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: рідкі корми, диспергатор, гомогенізатор, кавітація, параметри, ефективність, дослідження

ЗМІСТ

Вступ	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	9
1.1 Типи годівлі тварин та їх ефективність.....	9
1.2 Техніко-технологічне забезпечення кормовиробництва.....	10
1.3 Аналіз сучасних технологій і устаткування для переробки кормів на принципі кавітації	17
1.4 Аналіз досліджень процесу диспергування і гомогенізації рідкої суміші на основі ефекту кавітації.....	27
1.5 Висновки з розділу	28
1.6 Мета і завдання досліджень	29
2 ТЕРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ РІДКИХ КОРМІВ	31
2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.....	31
2.2 Розрахунок кількості отворів на статорі і роторі.....	38
2.3 Розрахунок швидкості переміщення суміші.....	41
2.4 Фізико-математична модель руху рідкої суміші в каналах диспергатора.....	43
2.5 Висновки з розділу.....	49
3 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСПЕРГАТОРА РІДКИХ КОРМІВ	51
3.1 Методика чисельного моделювання кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.....	51
3.2 Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.....	53
3.3 Обґрунтування параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.....	56
3.4 Висновки з розділу.....	65
4 ВИПРОБУВАННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНІЗАТОРА	67
4.1 Методика розрахунку параметрів кавітаційного диспергатор-	

гомогенізатора.....	67
4.2 Експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.	73
4.3 Висновки з розділу.....	76
5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА РІДКИХ КОРМІВ	78
5.1 Визначення шкідливих факторів під час виробництва рідких кормів..	78
5.2 Шляхи запобігання ураженням.....	78
5.3 Вимоги безпеки праці при роботі з диспергатором рідких кормів.....	78
5.4 Висновки з розділу.....	84
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРГАТОРА РІДКИХ КОРМІВ	85
6.1 Вихідні дані.....	85
6.2 Питомі експлуатаційні витрати.....	86
6.3 Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності додаткових капіталовкладень	88
6.4 Висновки з розділу.....	89
ВИСНОВКИ	90
Список використаних джерел	93
Додатки	102

ВСТУП

Відповідно до регіональної програми «Цілі сталого розвитку: Дніпро-2030. Регіональна доповідь» [1] одним із завданням розвитку інноваційного розвитку Дніпропетровської області є «підвищення вдвічі продуктивності сільського господарства, насамперед за рахунок використання інноваційних технологій».

Ефективне функціонування тваринництва неможливе без забезпечення тварин якісними збалансованими кормами за конкурентною ціною та у потрібній кількості. Основними з негативних чинників, що стримують розвиток тваринництва в Україні, є низький рівень забезпеченості тварин кормами високої якості. Якість кормів основним чином визначається технологічними операціями при їх приготуванні. По-перше корми повинні бути однорідними за фракційним складом. Тобто процес подрібнення повинен забезпечувати однаковий фракційний склад за кожним з компонентів рослинної сировини, що входить до складу корму. По-друге корми повинні бути однорідними по розподілу компонентів в суміші. Тобто процес змішування повинен забезпечувати високий коефіцієнт варіації розподілу компонентів рослинної сировини у всьому об'ємі (або масі) суміші. По-третє корми повинні зберігати всі поживні речовини і вітамінні комплекси, не містити шкідливих речовин, забезпечуючи вимоги безвідходності трансформації рослинної сировини вздовж харчового ланцюга. Тобто приготування кормів повинно містити такі технологічні процеси, що задовольняють зазначеним умовам. Вищезазначені вимоги відповідають процесу диспергування і гомогенізації кормових компонентів із застосуванням кавітаційної обробки.

Тому існує актуальна науково-технічна задача підвищенні ефективності приготування повнораціонних рідких кормів для відгодівлі тварин шляхом застосування роторного диспергатора із обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Типи годівлі тварин та їх ефективність

Тип годівлі характеризується структурою раціонів, тобто питомою вагою (по кормових одиниць) різних груп кормів, що входять до їх складу. Назва тип годування зазвичай визначається тими кормами або групами кормів, які переважають в раціоні. Для великої рогатої худоби в різних зонах Росії застосовуються такі типи годівлі: сінної, силосний, кормової, силосної-сінної, силосної-коренеплідний, силосної-Жомові, силосної-сенажних, силосної-сенажних-кормової і ін. В літній період назви типів годування визначаються в основному поєднанням трави, силосу і концентратів. Найбільш поширені типи годівлі трав'яний, трав'янисто-силосний і трав'янисто-кормової. Великий вплив на типи годівлі великої рогатої худоби і овець надає наявність природних кормових угідь – сіножатей і пасовищ. При оцінці будь-якого типу годівлі враховують: вплив на продуктивність тварин, в тому числі і на якість продукції; дію на здоров'я тварин і їх відтворювальні функції; економічну ефективність. + Конкретний виразник типу годування – раціон. Якщо раціони по поєднанню кормів і їх питомою вагою відповідають якому-небудь науково обґрунтованого типу і задовольняють умовам зони, то їх називають типовими. Будь-який типовий раціон оцінюють по його повноцінності, збалансованості за основними поживними речовинами відповідно до потреб тварин, типові раціони повинні складатися з кормів високої якості і забезпечувати високу продуктивність тварин, нормальне відтворення і високу оплату корму. Значення типових раціонів зростає при перекладі тваринництва на промислову основу. Як типи годівлі, так і типові раціони розробляють наукові установи, а в господарствах уточнюють відповідно до конкретних умов і можливостей. При розробці типів годування і типових раціонів враховують результати наукових досліджень з годівлі сільськогосподарських тварин, дані передової практики, перспективи розвитку

кормовиробництва по зонам країни.

1.2 Техніко-технологічне забезпечення кормовиробництва

Найважливішою складовою успіху виробництва тваринницької продукції є створення міцної кормової бази для забезпечення потреб галузі тваринництва. Органічне тваринництво, яке набуло особливої уваги, передбачає використання екологічно чистих кормових компонентів, які доцільно доставляти тваринам у необхідній кількості. Забезпечення такого стабільного функціонування органічного сектору тваринницької галузі України потребує розробки комплексів адекватних моделей розвитку органічного кормо виробництва та виявлення базових закономірностей впливу технологій кормо забезпечення на органічність корму для задоволення потреб у кормах органічного тваринництва, що є необхідним й актуальним завданням [2, 3, 4].

Розробка нового техніко-технологічного забезпечення кормо виробництва для органічного тваринництва повинна проводитися із урахуванням їх екологічності. Нове забезпечення кормо виробництва оцінюється згідно з розробленими для органічного тваринництва критеріями ефективності, ресурсо- і енергоощадності та конкурентоспроможності продукції тваринництва у напрямку підвищення якості кормової бази за допомогою технологічних і технічних новацій [5].

Окрім зернових культур великий кормовий потенціал мають олійні культури (льон олійний, сафлор, кунжут та ін.) і продукти їх переробки. Їх фізико-хімічний склад є досить унікальним: достатньо високий вміст протеїну, великий спектр жирних кислот і вітамінів [6, 7]. Тому актуальним завданням підвищення якості кормової бази є створення новітнього техніко-технологічного забезпечення для безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва.

Сучасне техніко-технологічне забезпечення для переробки рослинної сировини олійних культур зводиться до процесу отримання олії і макухи (вміст

протеїну – 19–24 %, вміст жиру – 9–13 %), подальшого подрібнення макухи і введення її в комбікорми [8]. В зв'язку з чим використання її для годівлі свиней і птиці неефективне через підвищений вміст клітковини (16–19 %), тому для поліпшення поживної цінності й розширення сфери використання високолушпинної макухи для годівлі усіх видів тварин і птиці необхідна додаткова операція з розділення її на білкову і лушпинну фракції. Білкова фракція (вміст протеїну – 34–38 %, вміст клітковини – 4–6 %) може бути використана на кормові цілі, а лушпинна (вміст протеїну – 2–5 %, вміст клітковини – 38–40 %) – в якості сировини для твердого біопалива (паливних брикетів). В Інституті олійних культур НААН розроблена технологія переробки макухи з насіння олійних культур із отриманням протеїнових добавок та твердого біопалива з лушпинної фракції [8]. Технологія зводиться до наступних операцій технологічного процесу: видавлювання олії і отримання макухи на прес-екструдері; подрібнення макухи молотковою дробаркою; механічне фракціонування на щітковому роторному просіювачі; отримання кормових гранул з просіяної білкової фракції на грануляторі; отримання паливних брикетів з лушпинної фракції на прес-брикетувальнику.

Дана технологія лише частково вирішує питання безвідходності переробки рослинної сировини олійних культур. Виникає необхідність не тільки в сухих гранульованих кормах для птиці, але й у рідких кормах для свиней. Також залишається без уваги фуз, який отримано після фільтрації олії. Висока кормова цінність фуза обумовлена високим вмістом протеїну (23–26 %) та жиру (43–47 %) і низьким вмістом клітковини (7–10 %).

В зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні розробленої технологічної лінії у напрямку приготування рідких кормів для свиней.

Аналіз використання рідких кормів для відгодівлі свиней дозволив виділити наступні переваги:

- рідкі корми є більш відповідними фізіологічним потребам тварини;
- в процесі приготування і роздавання є можливість поступово замінювати раціон тварини;

- під час приготування і роздавання можна використовувати прецизійне дозування корму і його компонентів;
- можливість прецизійного внесення мікродобавок, преміксів, медикаментів тощо;
- незначні втрати корму;
- можливість не використовувати напувалки;
- коефіцієнт конверсії корму в порівнянні із сухими кормами знижується до 10 %;
- зменшується кількість гною, що позитивно впливає на економічні та екологічні аспекти виробництва;
- можливість одночасно застосовувати різні раціони для різних груп тварин, які знаходяться в одному приміщенні;
- висока швидкість доставки рідкого корму за допомогою трубопроводів;
- гнучкий процес рідкої годівлі, є можливість оперативно корегувати раціон безпосередньо під час роздавання;
- при рідкій годівлі менші затрати праці на 25 %, витрати електроенергії на 20 %, менший вплив людського фактору на процес приготування і роздачі;
- можливість ферментації кормової суміші, що підвищує біодоступність речовин.

Однак зазначені переваги з'являються лише в результаті якісного приготування рідкого корму, а саме забезпечення його структурності і однорідності по всьому об'єму. Цього можна досягти за рахунок впровадження технології диспергування (або гомогенізації) з використанням кавітаційної обробки.

Згідно з дослідженнями [9] саме кавітаційне диспергування рідких кормів дозволяє отримати приріст живої маси свиней на відгодівлі – на 10–15 %, збільшення молочності свиноматок – на 9–13 %, виключений прохолост – до 5 %.

У процесі кавітаційного диспергування компонентів кормів відбувається часткове руйнування клітковини і целюлози, розщеплення білка до амінокислот і олігопептидів, які всмоктуються в кров, минаючи ферментативну систему тварини [10]. У варіантах переробки зернових і олійних культур крохмальні зерна перетворюються в цукри, відбувається емульгація жирів, створюються стійкі з'єднання молекул поживних речовин з молекулами води (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Ефективність кавітаційного диспергування рідких кормів

Водночас переробка корму на кавітаційних установках не призводить до жорсткої зміни білкового комплексу, характерного для інших типів термічних обробок, зберігаються натуральні вітаміни і ферменти (амілаза). В результаті виробляються гомогенні кормові суміші з оптимальною для травлення тварин вологістю (69–72 %) і дисперсністю (0,6–1,2 мм.) [11].

Зокрема, в кормових сумішах, що готують з компонентів в нативному вигляді (зерно злакових, бобових та ін.), зберігається жива субстанція (гормони,

ферменти тощо) [12, 13]. У процесі обробки вони позбавляються від олігосахарів і антиметаболітів. Кормові суміші виробляються в пастеризованому вигляді й готові до вживання.

На підставі вищезазначеного зроблено такі висновки:

- виробництво рідких кормів і кормових добавок на основі кавітаційної диспергації є ефективним, з точки зору економіки, передовим методом, що забезпечує покращення біологічних і хімічних якостей кормів;
- метод дозволяє застосовувати весь спектр компонентів рослинної сировини;
- отримати гомогенну рідку кормову суміш з добрими органолептичними якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини тощо);
- кавітаційна обробка надає м'яку дію на протеїновий комплекс рослинної сировини, що забезпечує високий ступінь емульгації жирів, який призводить до збільшення його перетравлюваність тваринами (на 6,3 %);
- збільшується доступність мономірних елементів за рахунок зниження ефекту важко перетравності клітковини;
- збільшується екстракція біологічно активних речовин та розчинних білків;
- зменшуються втрати поживних речовин;
- збільшується до 70 % вміст протеїну через білки жомової частини;
- технологія кавітаційної обробки всієї маси рослинної сировини забезпечує позбавлення від необхідності переробки жому;
- кавітаційний ефект при диспергуванні зеленої маси забезпечує максимальне екстрагування компонентів із рослинних клітин;
- кавітаційна обробка доречна для білковмісних компонентів (пивна дробина, меляса, відходи спиртопереробної промисловості тощо);
- можна стверджувати про високу ефективність кормів, які біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.

Вищезазначені переваги процесу диспергування рідких кормів дозволяють включити їх до технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва (рис. 1.2).

Запропонована лінія включає наступні етапи технологічного процесу. З товарного насіння олійних культур за допомогою пресу отримуємо нефільтровану олію і макуху. Нефільтрована олія проходить через лінію фільтрації, в результаті чого виділяється очищена олія, яка йде на продовольчі цілі і фуз, який використовується як високопоживна кормова добавка. Макуха подрібнюється і розділюється на дві фракції: білкова і лушпинна. Лушпинна фракція використовується як один з компонентів для виготовлення паливних брикетів, а білкова фракція може використовуватися як компонент при отриманні сухих кормових гранул. Також білкова фракція разом із фузом, фуражним зерном, зерновідходами і преміксами з використанням кавітаційного диспергатора перероблюються у рідкий корм.

Згідно з рис. 1.2, технологічна лінія комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва повинна мати в своєму складі наступне техніко-технологічне забезпечення: подрібнювач і просіювач макухи, гранулятор для виробництва сухих кормових гранул, диспергатор для виробництва рідкого корму.

Порівняння удосконаленої технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини із базовою, що розроблена в Інституті олійних культур НААН, проведено на основі техніко-економічної оцінки. Технічна характеристика обладнання представлена в табл. 1.1.

За вихідні дані було прийнято: вартість 1 кг насіння льону олійного – 12,5 грн/кг; вартість 1 кг лаяної олії – 60 грн/кг; вартість 1 кг рідкого корму – 8,6 грн/кг; вартість 1 кг брикетів – 2,2 грн/кг; вартість 1 кг кормових пелет – 7,9 грн/кг; вартість 1 кг води – 0,05 грн; вартість 1 кВт електроенергії – 1,81 грн; тарифна ставка робітника – 25 грн/год.

В результаті техніко-економічного розрахунку отримані дані, які зведені у табл. 1.2. Як видно з табл. 2, сукупні питомі затрати для базової й удосконаленої

технологічних ліній практично однакові: 14,37 грн/кг і 14,38 грн/кг, відповідно. Однак водночас питомий прибуток вищий у удосконаленій технологічній лінії і складає 5,41 грн/кг, що на 2,15 грн/кг вище, ніж у базовій.



Рисунок 1.2 – Удосконалена технологічна лінія комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика обладнання

Технологічна лінія	Присутні в обох варіантах					Базова	Удосконалена
	Транспортер для пресу	Прес-екструдер	Лінія фільтрації	Транспортер для дробарки	Молоткова дробарка		
Показник	ШТ-3	ММШ-60	ЛФ-2	ШТ-3	ДМ-800	Гранулятор	Диспергатор
Марка	ШТ-3	ММШ-60	ЛФ-2	ШТ-3	ДМ-800	Г-200	РДН-2
Продуктивність, кг/год.	3000	60	70	3000	800	200	2000
Потужність, кВт	2,2	7,5	2,2	2,2	7,5	7,5	4
Вихід олії	0	0,25	0	0	0	0	0
Ціна, грн	10000	57800	37200	10000	14800	30500	69200

Таблиця 1.2 – Результати техніко-економічного розрахунку удосконаленої і базової технологічних ліній комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва

Показник	Базова технологічна лінія	Удосконалена технологічна лінія
Маса насіння, кг	1000	1000
Маса отриманої олії, кг	250	250
Маса фуза, кг	25	25
Маса отриманої макухи, кг	725	725
Маса води, кг	0	206,25
Маса білкової фракції, кг	181,25	181,25
Маса рідкого корму, кг	0	412,5
Маса лушпинної фракції (брекетів), кг	543,75	543,75
Сукупні експлуатаційні затрати, грн	872,42	864,83
Питомі експлуатаційні затрати, грн/кг	0,87	0,86
Вартість насіння, грн	12500,00	12500,00
Вартість отриманої олії, грн	15000,00	15000,00
Вартість рідкого корму, грн	0	3584,63
Вартість кормових пелетів, грн	1431,88	0
Вартість брикетів, грн	1196,25	1196,25
Вартість води, грн	0	10,31
Питома вартість отриманої олії, грн	15,00	15,00
Питома вартість кормових пелетів, грн	1,43	3,58
Питомі затрати на логістику, грн/кг	1,20	0,80
Питома вартість брикетів, грн	0,80	1,20
Затрати на логістику, грн	800,00	800,00
Вартість отриманої продукції, грн	17628,13	19780,88
Питома вартість отриманої продукції, грн/кг	17,63	19,78
Сукупні затрати, грн	14372,42	14375,14
Сукупні питомі затрати, грн/кг	14,37	14,38
Прибуток, грн	3255,70	5405,73
Питомий прибуток, грн/кг	3,26	5,41

1.3 Аналіз сучасних технологій і устаткування для переробки кормів на принципі кавітації

Ефективне функціонування тваринництва неможливе без забезпечення тварин якісними збалансованими кормами за конкурентною ціною та у потрібній

кількості [14]. Основними з негативних чинників, що стримують розвиток тваринництва в Україні, є низький рівень забезпеченості тварин кормами високої якості.

Якість кормів основним чином визначається технологічними операціями при їх приготуванні. По-перше корми повинні бути однорідними за фракційним складом. Тобто процес подрібнення повинен забезпечувати однаковий фракційний склад за кожним з компонентів рослинної сировини, що входить до складу корму. По-друге корми повинні бути однорідними по розподілу компонентів в суміші. Тобто процес змішування повинен забезпечувати високий коефіцієнт варіації розподілу компонентів рослинної сировини у всьому об'ємі (або масі) суміші. По-третє корми повинні зберігати всі поживні речовини і вітамінні комплекси, не містити шкідливих речовин, забезпечуючи вимоги безвідходності трансформації рослинної сировини вздовж харчового ланцюга. Тобто приготування кормів повинно містити такі технологічні процеси, що задовольняють зазначеним умовам [15, 16, 17].

Вищезазначені вимоги відповідають процесу диспергування і гомогенізації кормових компонентів із застосуванням кавітаційної обробки. Згідно з [18] диспергування (dispersion) – технологічний процес тонкого подрібнення та розподілу в об'ємі твердого матеріалу, рідини або газу, в результаті якого виникають дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії, аерозолі. В свою чергу гомогенізація (homogenization) – технологічний процес, в ході якого зменшується ступінь неоднорідності розподілу компонентів і фаз в об'ємі гетеро фазної системи [18]. Кавітація (cavitation) – фізичний процес утворення бульбашок (каверн) в рідких середовищах, з подальшим їх спаданням і вивільненням великої кількості енергії (ударна хвиля), що виникає в результаті зовнішніх фізичних впливів [19]. Тобто кавітаційна обробка компонентів кормів дозволяє їх подрібнювати за рахунок дії ударної хвилі.

На сьогодні існує багато диспергаторів і гомогенізаторів, працюючих на використанні ефекту кавітації, в тому числі і для переробки кормових компонентів в корми підвищеної засвоюваності. В основному ці гідродинамічні

установки призначені для приготування вологих кормових паст із зернових, олійних і бобових культур, кормів тваринного походження для молодняка і дорослих сільськогосподарських тварин з одночасним їх знезараженням і руйнуванням токсичних речовин (мікотоксинів і алкалоїдів) у вигляді суспензій і емульсій [20].

Відомі наступні типи устаткування для диспергування [21]:

- подрібнення робочими органами, що мелють (кульові, бісерні, вібраційні, дезінтегратори);
- пристрої само подрібнення (барабанні, відцентрові, струменеві);
- вибухові подрібнювачі (із скиданням тиску, з використанням вибухових речовин).

Недоліки цих типів пристроїв: знос робочих органів, що мелють; забруднення продуктами зносу подрібнюваного матеріалу; велика енергоємність диспергування; низький ККД, агрегація (злипання) частинок при збільшенні дисперсності матеріалу.

Останніми роками з'явилося устаткування для диспергування з одночасною гомогенізацією [9]:

- ультразвукові пристрої;
- ультразвукові пристрої кавітацій;
- електрогідравлічні пристрої;
- пристрої роторних пульсацій;
- гідроударні установки.

Ультразвукові пристрої застосовуються рідко і в специфічних умовах (наприклад, для гомогенізації майонезу), а електрогідравлічні пристрої поки не знайшли застосування. Найбільшого поширення за кордоном набули пристрої роторних пульсацій і ті, що приходять їм на зміну – гідроударні установки.

Відбувається закономірний перехід до способу диспергування компонентів в двофазному (компонент + рідина) середовищі, що дозволяє сумістити процеси диспергування і гомогенізації в одному апараті. Рідиною може бути вода або будь-яка інша рідина, наприклад, олія, що виділяється при

подрібненні олійних культур, сік при переробці помідорів, гороху тощо. Це дає можливість використовувати фізичні властивості другої фази (нестисливість, закони Паскаля і Бернуллі) і застосувати нові фізичні ефекти (гідравлічний удар, кавітацію, імпульси високого тиску, турбулентність).

Обробка кавітацією дозволяє провести подрібнення сировини і подальшу гомогенізацію кормо сумішей, що дає можливість проводити їх транспортування по стандартних системах рідкої кормо роздачі.

Спосіб диспергування матеріалу в двофазному середовищі позбавлений недоліків сухого способу диспергування оскільки рідина не так сильно зношує матеріал робочих органів, не забруднює кормову суміш, запобігає агрегації за рахунок зменшення поверхневої енергії твердої фази (цей ефект посилюється додаванням поверхнево-активних речовин) [11, 12, 13].

Основними елементами найпоширеніших конструкцій кавітаційних гідроударних диспергаторів є ротор і статор (рис. 1.3) [22]. У роторі по колу розташовані резонансні камери (резонатори). У статорі отвори – конфузори. При обертанні ротора відбувається періодичне перекриття вихідних отворів резонаторів. Частота обертання ротора зазвичай знаходиться в межах 3000-4000 об/хв. Подрібнення відбувається за рахунок дії на частинку кавітації, а також подвійного (прямого і зворотного) гідравлічного удару при перериванні потоку пульпи із заданою частотою. Частота спеціально підбирається рівній власній частоті ротора. Дія гідравлічного удару носить пульсуючий характер. Руйновані частинки піддаються гідравлічному удару в резонансних камерах (резонаторах). За рахунок збігу власної частоти резонаторів з частотою проходження імпульсів тиску в камерах відбувається багаторазове (у 10 разів в порівнянні з апаратами роторних пульсацій) збільшення амплітуди значення тиску. Гідродинамічні процеси в установці супроводжуються розвиненою турбулентністю. Це сприяє хорошему ступеню гомогенізації оброблюваного матеріалу.

Принцип кавітаційної переробки кормових компонентів використовували багато розробників техніки і нових технологій кормоприготування. В Україні – це дослідження, пов'язані із створенням і випробовуванням кормоприготувальних

агрегатів серії АКГСМ «Мрія», в Росії – роторно-пульсаційних апаратів [23] (Інститут органічної та фізичної хімії ім. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН) для одержання кормових добавок з амаранту та інших зернових матеріалів. Особливої уваги заслуговують дослідження Російської компанії ТОВ «Кавікорм інжиніринг», що виконуються спільно з науковцями Всеросійського інституту тваринництва Россільгоспакадемії і якими створено й пущено в експлуатацію завод з виробництва кормових концентратів в селі Лебязьє Мелекеського району Ульяновської області [24]. Технологія «Cavikorm» на базі роторного подрібнювача-диспергатора «РІД-2» заснована на принципі енергоефективного отримання комплексних кормових добавок з високим вмістом збалансованого по незамінних амінокислотах білка, легкозасвоюваних вуглеводів, вітамінів і біологічно активних речовин з відходів харчової переробки [25].



Рисунок 1.3 – Робочі органи кавітаційних гідродударних диспергаторів

Технологія «Cavikorm» заснована на принципі енергоефективного отримання комплексних кормових добавок з високим вмістом збалансованого по незамінних амінокислотах білка, легкозасвоюваних вуглеводів, вітамінів і біологічно активних речовин з промислових стоків і відходів харчової переробки

[26]. Технологія годівлі «Cavikorm» – комплексне інноваційне промислове рішення, що дозволяє готувати повнораціонні вологі гомогенні корми безпосередньо в кормоцехах свинокомплексів. Технологія ґрунтується на кавітаційному способі приготування кормової суміші, що дозволяє значно зменшити витрати кормів за рахунок збільшення засвоюваності поживних речовин і зниження енерговитрат на травлення. Відмінною особливістю ліній кормоприготування є можливість технологічної і ефективної переробки зелених кормів, консервованих продуктів з них, соковитих. Технологія дозволяє переробляти траву, сіно, солому, сінаж, силос, корене- і бульбоплоди. Обробка кавітацією (рис. 1.4) дозволяє провести подрібнення сировини і подальшу гомогенізацію кормо сумішей, що дає можливість проводити їх транспортування по стандартних системах рідкої кормо роздачі. Крім зелених кормів лінії кормоприготування «Cavikorm» дозволяють переробляти і безпечно включати в раціони годівлі такі відходи харчових і переробних виробництв, як відпрацьована пивна дробина, сирі пивні дріжджі, після спиртова барда, патока, молочна сироватка, меляса, буряковий жом, макухи і шроти олійних культур, висівки, кормові мучки, боєнські і рибні відходи. У господарств, що упродували технологію «Cavikorm®», крім традиційного застосування ячменю і пшениці з'являється можливість ширшого використання жита, тритікале, сої в нативному вигляді, кормових бобів, люпину і нуту.

Лінії кормоприготування «Cavikorm» комплектуються бункерами і ємкостями, що дозволяють підтримувати трьох- або (за бажанням замовника) семиденний запас всіх компонентів сировини. Устаткування і шнеки, розташовані поза опалювальними приміщеннями, теплоізолюється і оснащуються системою підігріву для роботи в холодну пору року. При необхідності переробки сировини польового кормо виробництва лінії обладнані вузлами попереднього очищення і подрібнення інгредієнтів. Після попередньої обробки компоненти поступають на дозування, яке проводиться автоматично на електронних вагах відповідно до заданих рецептур. Зважена сировина подається в ділянку кормоприготування.

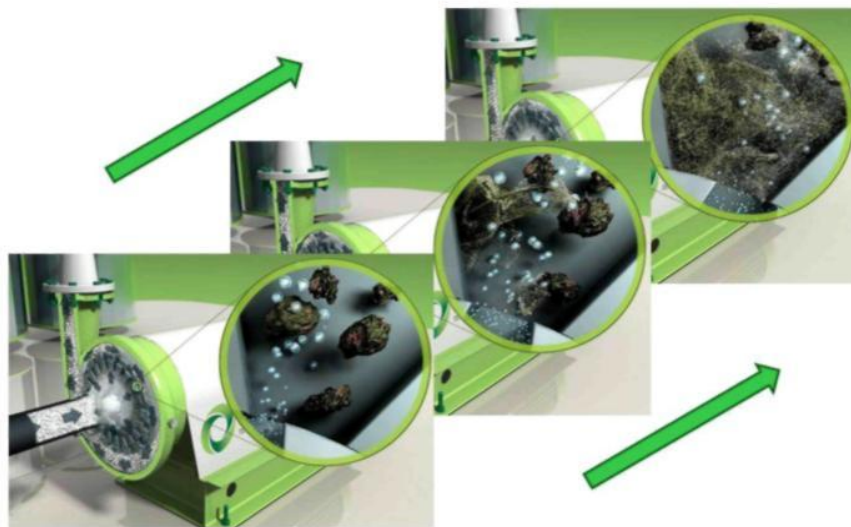


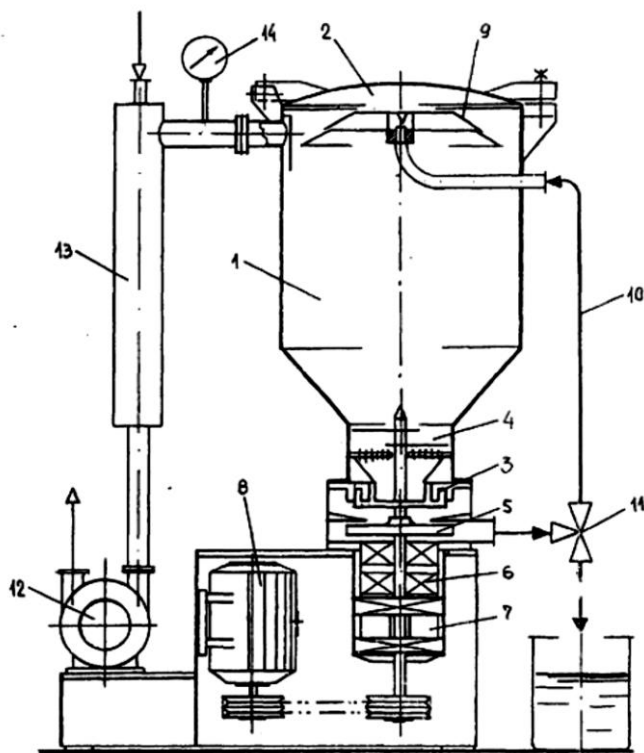
Рисунок 1.4 – Установка приготування кормів «Cavikorm»

Для встановлення основних напрямків удосконалення технічних засобів для гомогенізації, диспергації та кавітації рідких кормів проведено відповідний патентний пошук.

Відомий роторний гомогенізатор (Пат. України № 65406, кл. B01F 7/00, B01F 13/06, 2006) [27], що містить завантажувальну ємність, корпус з вихідним патрубком, всередині корпуса розміщені коаксіально до осі вала ніж, статори, ротор та диск з лопатками, завантажувальна ємність виконана у вигляді бака з ущільненою кришкою та сполучена з вакуум-насосом, причому у верхній частині завантажувальної ємності додатково встановлений тарілчастий розподільник

рідини, що сполучений з вихідним патрубком за допомогою трубопроводу (рис. 1.5).

До недоліків даного обладнання слід віднести те, що в процесі циркуляції рідинної суміші неможливо встановити якість її диспергування і гомогенізації. Це призводить до підвищення кількості циклів проходження рідинної суміші крізь робочі органи, що спричиняє підвищення витрат енергії і зниження продуктивності. Окрім цього ускладненість конструкції шляхом введення вакуум-насоса призводить до підвищення металоємності конструкції і збільшення енерговитрат. Інтенсифікацію кавітаційного ефекту в процесі диспергування можна досягти шляхом зміни конструкції робочих органів (ротора і статора).



1 – завантажувальна ємність; 2 – кришка; 3 – вихідний патрубок; 4 – корпус;
5 – ніж; 6 – ротор; 7, 8 – статори; 9 – диск з лопатками; 10 – вакуумне торцеве
ущільнення; 11 – підшипниковий вузол; 12 – електродвигун; 13 – тарілчастий
розподільник; 14 – трубопровід; 15 – триходовий кран; 16 – вакуум-насос;
17 – водяний конденсатор; 18 – вакуумметр

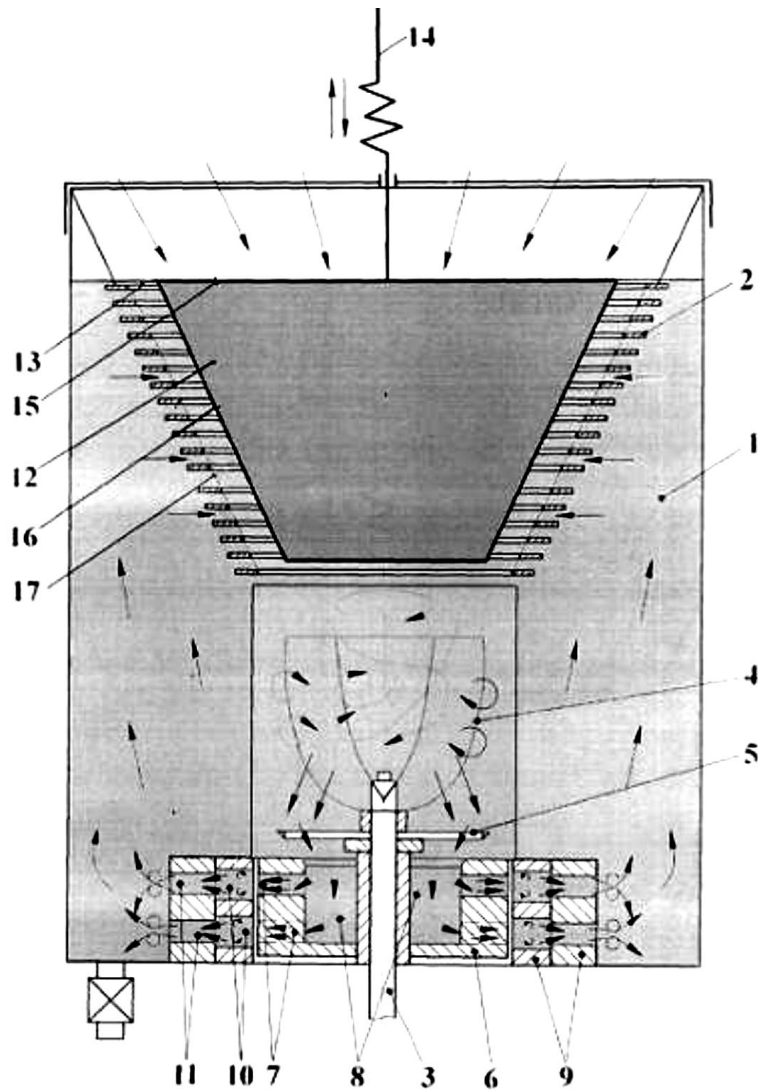
Рисунок 1.5 – Роторний гомогенізатор

(Пат. України № 65406, кл. B01F 7/00, B01F 13/06, 2006) [27]

Відомий роторний кавітаційний диспергатор (Пат. України № 97802, кл. B01F 7/00, 2015) [28], що містить робочу камеру з конусоподібною напрямною, закріплені на привідному валу послідовно два ряди ножів, ротор з отворами та лопатями, статор з кавітаційними пристроями, ущільнювач потоку рідкого середовища, розміщений співвісно з конусоподібною напрямною на рівні її верхньої частини з можливістю зворотно-поступального переміщення у вертикальній площині та виконаний у вигляді зрізаного конуса, перевернутого більшою основою вверх, з бічними поверхнями, паралельними бічним поверхням конусоподібної напрямної (рис. 1.6).

До недоліків даного обладнання слід віднести відсутність можливості підігріву рідинної суміші та автоматичного завантаження рідких і сипких компонентів суміші, що зменшує продуктивність виконання технологічного процесу. Окрім цього додаткове забезпечення диспергатора ущільнювачем потоку рідкого середовища ускладнює конструкцію і процес налаштування формуючої безперервної потокової подачі оброблюваного рідкого середовища в зону дії робочих органів через відсутність зворотних зв'язків і відповідної системи керування. Це призводить до низької продуктивності процесу кавітаційного диспергування рідкої суміші.

Відомий насос-гомогенізатор (Пат. України № 57304, кл. 7 A01J11/16, 2003) [29], що має корпус із вхідним і напірним патрубками, рухливий і нерухомий ротори, оснащені лопатками з прорізами, рухливий ротор складається з основного покривного і лопатевого дисків, причому лопаті лопатевого диска мають криволінійну форму, а нерухомий ротор сполучений з корпусом, на внутрішніх стінках якого по обидві сторони лопатевого диска виконані виступи, причому на усмоктувальній периферійній частині корпуса додатково встановлені лопатки, спрямовані по ходу обертання рухливого ротора. Окрім цього в лопатевому диску виконані прорізи, а виступи нерухомого ротора розташовані в шаховому порядку щодо прорізів лопатевого диска (рис. 1.7).

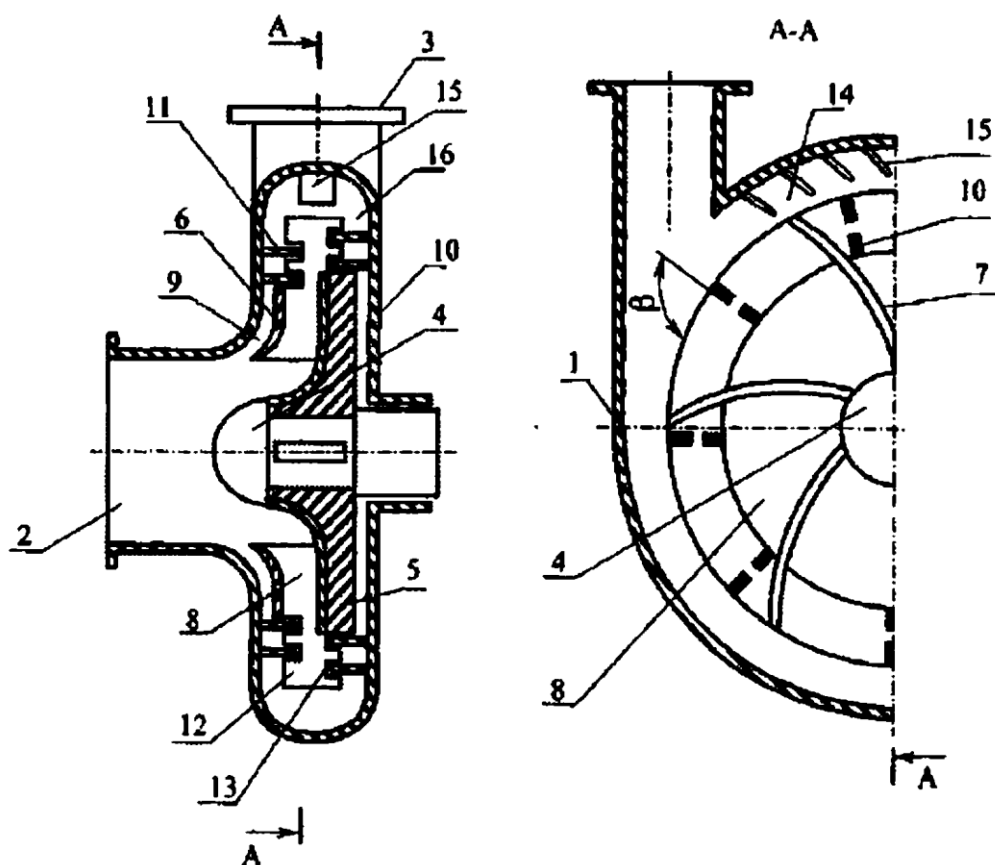


1 – робоча камера; 2 – конусоподібна напрямна; 3 – привідний вал; 4, 5 – ножі; 6 – ротор; 7 – отвори; 8 – лопаті; 9 – статор; 10 – кавітаційні пристрої у вигляді насадки Борда; 11 – кавітаційні пристрої у вигляді насадки Вентурі; 12 – ущільнювач потоку; 13 – верхня частина конусоподібної напрямної; 14 – гвинтовий механізм; 15 – основа; 16, 17 – бічні поверхні

Рисунок 1.6 – Роторний кавітаційний диспергатор
(Пат. України № 97802, кл. B01F 7/00, 2015) [28]

Основна задача даного обладнання це перекачування рідкої суміші із одночасною гомогенізацією, що унеможливорює процес диспергування великих частинок сипкого матеріалу, які знаходиться в рідкій суміші, через утворення заторів при проходженні крізь отвори ротора. Окрім цього наявність одноетапної гомогенізації рідинної суміші під час проходження крізь отвори ротора не

забезпечує високу ефективність даного процесу, що знижує якість отриманого продукту.



1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – напірний патрубок; 4 – рухливий ротор; 5 – основа; 6 – покриваючий диск; 7 – лопатевий диск; 8 – міжлопатеві канали; 9 – циліндричне підведення; 10 – нерухомий ротор; 11 – виступи; 12 – лопаті; 13 – прорізи; 14 – усмоктувальна периферійна частина

Рисунок 1.7 – Насос-гомогенізатор

(Пат. України № 57304, кл. 7 A01J11/16, 2003) [29]

1.4 Аналіз досліджень процесу диспергування і гомогенізації рідкої суміші на основі ефекту кавітації

Процеси переробки біомаси Гомогенізатори - роторнопульсаційними апаратами (далі РПА), базуються на використанні гідродинамічної кавітації, пов'язаної з фізико-механічними ефектами (Вібротурбулізацією, ударними

хвилями, кумуляцією і ін.), Що виникають при колапсі кавітаційних бульбашок. Утворюється потужний гідравлічний удар, за яким слід удар кавітаційний, що виникає через зниження тиску за фронтом ударної хвилі стиснення. В результаті питома потужність, що підводиться локально, на кілька порядків вище питомої потужності, що виділяється при обробці технологічних середовищ в гідродинамічних апаратах, вибромліні, апаратах вихрового шару. Такий вплив створює умови для протікання гідромеханічних, фізичних і хімічних процесів, які в звичайних умовах утруднені або неможливі, і призводить до багаторазового зниження тривалості тепло-масообміну і енерговитрат, різко збільшується продуктивність технологічного обладнання. Використання низькочастотної гідродинамічної кавітації при переробці обводненої біомаси сприяє механотермолізу біомаси з появою вільних водневих зв'язків, диспергації і гомогенізації з утворенням стійких емульсій, суспензій та сумішей, що в кінцевому підсумку надає продукту нові якісні показники за параметрами і термінами зберігання.

1.5 Висновки з розділу

1. В результаті аналізу сучасного техніко-технологічного забезпечення переробки рослинної сировини проведено удосконалення технологічної лінії комплексної безвідходної переробки відходів олійних культур у корми для органічного тваринництва. Враховуючи необхідність у отриманні як сухих, так і рідких кормів до технологічної лінії введено процеси гранулювання і кавітаційного диспергування відповідних кормів. Таке охоплення продуктів кормо виробництва дозволяє використовувати пропоновану технологічну лінію приготування кормів як універсальну.

2. В результаті техніко-економічного розрахунку встановлено, що сукупні питомі затрати для базової й удосконаленої технологічних ліній практично однакові: 14,37 грн/кг і 14,38 грн/кг, відповідно. Однак питомий прибуток вищий у удосконаленої технологічної лінії і складає 5,41 грн/кг, що на

2,15 грн/кг вище, ніж у базової. Враховуючи це, можна стверджувати про ефективність удосконаленої технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва.

3. На підставі аналізу літературних джерел і публікацій встановлено, що: виробництво рідких кормів і кормових добавок на основі кавітаційної диспергації є ефективним, з точки зору економіки, передовим методом, що забезпечує покращення біологічних і хімічних якостей кормів; метод дозволяє застосовувати весь спектр компонентів рослинної сировини; отримати гомогенну рідку кормову суміш з добрими органолептичними якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини тощо); кавітаційна обробка надає м'яку дію на протеїновий комплекс рослинної сировини, що забезпечує високий ступінь емульгації жирів, який призводить до збільшення його перетравлюваність тваринами (на 6,3 %); збільшується екстракція біологічно активних речовин та розчинних білків; можна стверджувати про високу ефективність кормів, які біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.

4. В результаті патентного пошуку поставлено задачу створення такого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який дозволяє одночасно виконувати технологічні процеси диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі з більш високою продуктивністю, якістю і меншими енерговитратами.

5. В результаті аналізу процесу диспергації на основі кавітації виявлено недоліки конструкції існуючих пристроїв через яке найефективніше кавітація проходить при низькій частоті обертання.

1.6 Мета і завдання досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності приготування повнораціонних рідких кормів шляхом застосування роторного диспергатора із обґрунтованими

конструктивно-режимними параметрами.

Для досягнення поставленої мети було висунуто **наукову гіпотезу**, згідно з якої підвищення ефективності та інтенсифікацію технологічного процесу приготування повнораціонних рідких кормів із заданими фізико-механічними властивостями можна досягти шляхом застосування роторного диспергатора з робочими органами, що забезпечують додаткове утворення процесу кавітації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних **задач**:

– на основі аналізу стану галузі та результатів попередніх досліджень обґрунтувати структуру та шляхи підвищення ефективності функціонування технічної системи приготування повнораціонних рідких кормів;

– розробити математичну модель гідродинамічного руху рідкої кормової суміші в роторному диспергаторі в залежності від його конструктивно-режимних параметрів і фізико-механічних властивостей кормових компонентів;

– провести чисельне моделювання технологічного процесу приготування повнораціонних рідких кормів роторним диспергатором та визначити його раціональні конструктивно-технологічні параметри;

– виконати оцінку економічної ефективності застосування результатів досліджень.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ РІДКИХ КОРМІВ

2.1 Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Для реалізації процесу кавітаційного диспергування і гомогенізації рідких кормів запропонована наступна конструктивно-технологічна схема відповідного технічного засобу, яка представлена на рис. 2.1. На рис. 2.2 представлено загальний вигляд статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора. На рис. 2.3 представлено загальний вигляд ротора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора. На рис. 2.4 представлено алгоритм програмного забезпечення блоку керування роторним кавітаційним диспергатор-гомогенізатором.

Роторний кавітаційний диспергатор-гомогенізатор (рис. 2.1) складається з завантажувальної ємності 1 у вигляді бака з кришкою 2, що має вакуумне ущільнення, вихідного патрубку 3, вхідного патрубка для сипких компонентів 4 та вхідного патрубка для рідких компонентів 5.

На дні завантажувальної ємності 1 жорстко закріплений статор 6 (рис. 2.2), який виконано у вигляді круглого диска із зубчастими елементами, що розмічені на концентричних окружностях. Отвори між зубчастими елементами статора 6 утворюють дифузори 7. В середині статора 6 розташований наскрізний отвір 8. Під статором 6 встановлений ротор 9 (рис. 2.3), який виконано у вигляді круглого диска із зубчастими елементами, що розмічені на концентричних окружностях. Отвори між зубчастими елементами ротора 9 утворюють резонатори 10. В середині ротора 9 розташовані лопаті 11, які розмішені під кутом до його радіуса. Ротор 9 закріплений на валу 12 підшипникового вузла 13, який в свою чергу встановлений знизу завантажувальної ємності 1. Вал 12 підшипникового вузла 13 приєднаний до валу асинхронного електродвигуна 14. До вихідного патрубка 3 приєднано кран з електроприводом 15. Далі, після крану з електроприводом 15

встановлений електричний насос 16 для перекачування готової суміші до наступного резервуару (на рис. 2.1 не відмічено).

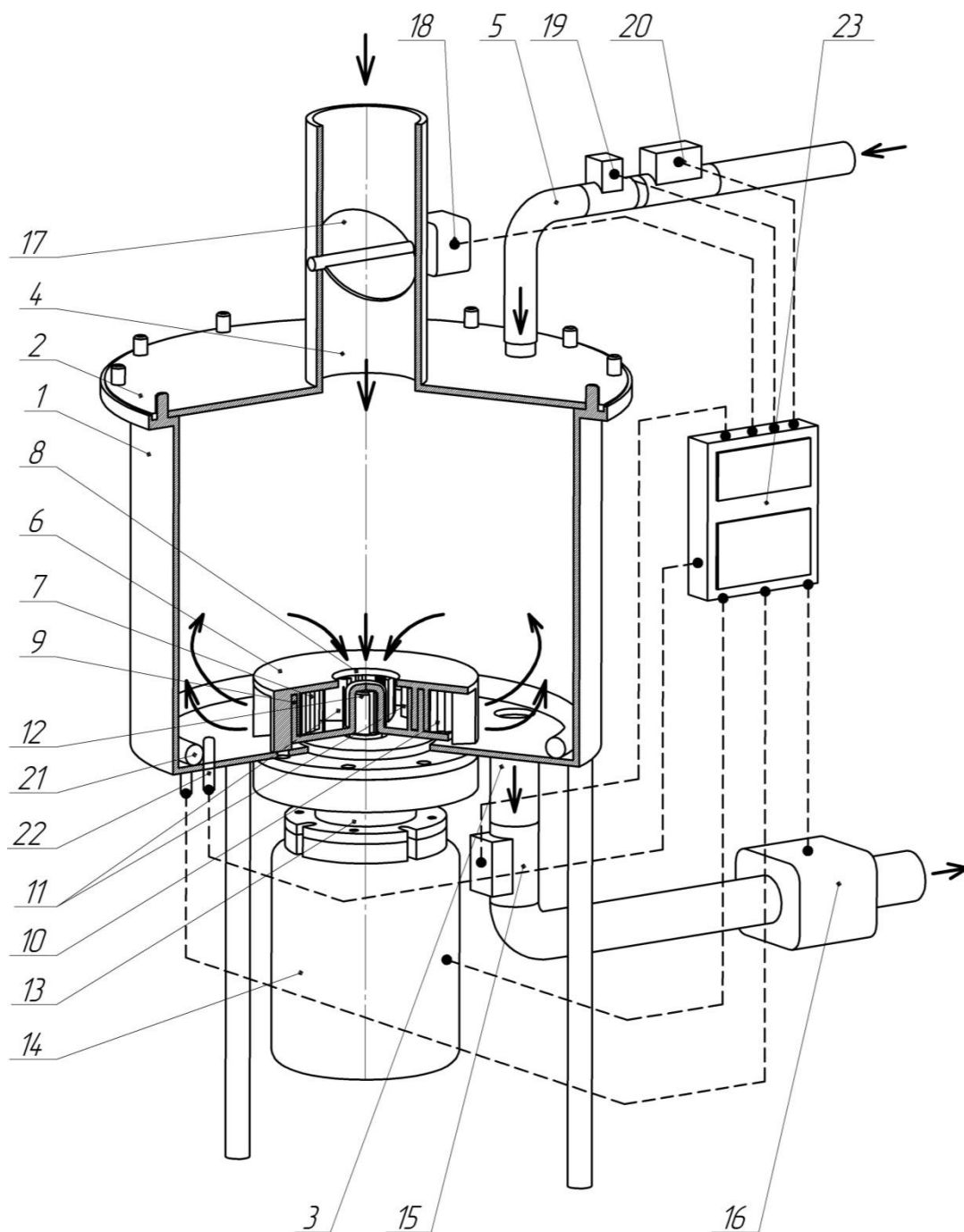


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

У вхідному патрубку для сипких компонентів 4 встановлена заслінка 17, вал якої приєднано до валу крокового двигуна 18. До вхідного патрубку для рідких

компонентів 5 послідовно приєднано датчик витрат рідини 19 і кран з електроприводом 20. Далі, кран з електроприводом 20 приєднаний патрубком до резервуару з рідиною (на рис. 2.1 не відмічено). На дні завантажувальної ємності 1 розміщено нагрівач 21 і датчик температури 22. Асинхронний електродвигун 14, кран з електроприводом 15, електричний насос 16, кроковий двигун 18, датчик витрат рідини 19, кран з електроприводом 20, нагрівач 21, датчик температури 22 по засобам електричних проводів приєднано до блоку керування 23, на якому встановлено відповідне програмне забезпечення, алгоритм якого представлено на рис. 2.4.

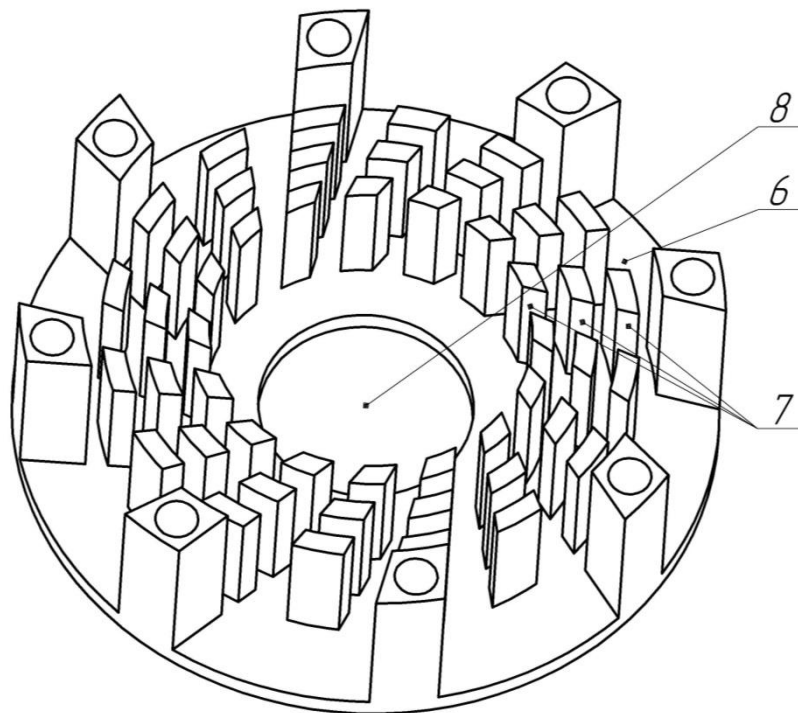


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Процес диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі на роторному кавітаційному диспергатор-гомогенізаторі відбувається в такий спосіб. Спочатку оператор роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора задає на блоці керування 23 вихідні дані

(співвідношення об'єму сипкого компонента до об'єму рідкого компонента η , об'єм необхідної суміші V , температура суміші T_c) і запускає процес.

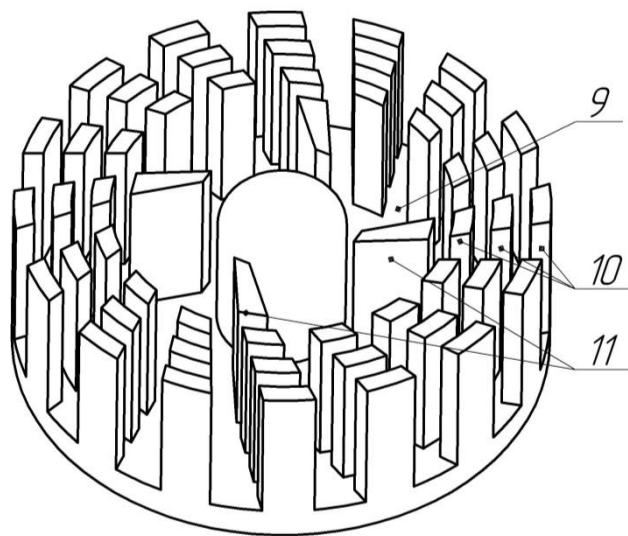


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд ротора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

В результаті чого блок керування 23 передає сигнал по засобам електричних проводів до крану з електроприводом 20. В результаті чого кран з електроприводом 20 відкривається і рідкий компонент починає переміщуватися через датчик витрат рідини 19 і вхідний патрубок для рідких компонентів 5 у завантажувальну ємність 1. Датчик витрат рідини 19 при цьому фіксує об'єм рідкого компонента V_p і передає його значення до блоку керування 23. В момент виконання умови $V_p = V_e / (\eta + 1)$, де V_e – об'єм завантажувальної ємності 1, блоку керування 23 передає сигнал по засобам електричних проводів до крану з електроприводом 20 і вимикає його. Далі, блок керування 23 передає сигнал по засобам електричних проводів до крокового двигуна 18, який відкриває заслінку 17 на кут нахилу α . Кут нахилу α заслінки 17 є відкалібрований до об'ємних витрат сипкого компонента $Q(\alpha)$. Сипкий компонент переміщується через заслінку 17 і вхідний патрубок для сипких компонентів 4, який розміщено в центрі кришки 2, до завантажувальної ємності 1. Через час $t_c = V_e \eta / ((\eta + 1) Q(\alpha))$

Після цього блок керування 23 передає електричний струм електромережі по засобам електричних проводів до асинхронного електродвигуна 14, в результаті чого він вмикається. Вал асинхронного електродвигуна 14 приводить в дію вал 12 підшипникового вузла 13 і відповідно до цього ротор 9 починає виконувати обертовий рух навколо власної вісі. Жорстко розташовані лопаті 11 на роторі 9 утворюють різниця тисків у наскрізному отворі 8 статора 6 та завантажувальній ємності 1, що призводить до втягування суміші у наскрізний отвір 8 статора 6. В результаті обертання ротора 9 резонатори 10 і дифузори 7 періодично співпадають один з одним, утворюючи при цьому наскрізні отвори, через які суміш починає переміщуватися під дією відцентрової сили до стінок завантажувальній ємності 1 (рух суміші на фіг. 1 показано стрілками). При перекритті резонаторів 10 і дифузоров 7 відбувається різке підвищення тиску – прямий гідравлічний удар. Таким чином суміш послідовно обробляється гідроударами. У момент суміщення резонаторів 10 і дифузоров 7 суміш отримує велику кінетичну енергію в отворах. При цьому відбувається різке падіння тиску з одночасним підвищенням швидкості руху суміші. Зменшення тиску викликає появу парових бульбашок. На вході в дифузори 7 утворюються кільцеві зони, в яких відбувається схлопування парових бульбашок суміші, що призводить до додаткового руйнування від знакозмінних навантажень. Окрім цього потік суміші насичений кавітаційними паровими бульбашками, з великою швидкістю вривається в стаціонарний шар суміші. Напроти кожного отвору утворюються коловоротні зони схлопуваних кавітаційних парових бульбашок. Велика сумарна кількість утворення кавітаційних бульбашок забезпечує інтенсивний дифузійний обмін між рідкою та газовою фазами, в результаті чого відбувається гомогенізація, розігрівання та знезараження оброблюваного середовища й прискорення активуючих реакцій. В результаті постійного руху компонентів суміші з центру завантажувальної ємності 1 через наскрізний отвір 8 статора 6, резонатори 10 і дифузори 7 до стінок завантажувальній ємності 1 відбувається постійне їх перемішування і поступове диспергування.

Процес нагрівання суміші до заданої температури T_c відбувається так. Блок керування 23 по засобам електричних проводів вмикає нагрівач 21. Датчик температури 22 визначає температуру суміші в завантажувальній ємності 1 і передає дані по засобам електричних проводів до блока керування 23. У разі досягнення заданої температури T_c блок керування 23 по засобам електричних проводів вимикає нагрівач 21.

Під час процесу диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі на роторному кавітаційному диспергатор-гомогенізаторі блок керування 23 вимірює динаміку потужності $P(t)$ асинхронного електродвигун 14, що споживається. На початку процесу, потужність має найбільше значення, так як відбувається інтенсивне диспергування сипкого компоненту суміші, що призводить до зменшення розмірів його частинок. Далі значення потужності починає зменшуватися і досягає стабільності $P = \text{const}$. Це пов'язано з тим, що весь сипких компонент подрібнився і рівномірно розподілився по всьому об'єму завантажувальної ємності 1, тобто суміш є однорідною. В момент коли $P = \text{const}$ і температура суміші досягає значенню T_c блок керування 23 вимикає асинхронний електродвигун 14.

Наступним етапом процесу є вивантаження суміші. Блок керування 23 по засобам електричних проводів передає сигнал до крану з електроприводом 15, тим самим відкриваючи його. Далі блок керування 23 по засобам електричних проводів вмикає електричний насос 16. При цьому готова суміш вивільняється з завантажувальної ємності 1 і перекачується по вихідному патрубку 3, через кран з електроприводом 15 і електричний насос 16 до наступного резервуару. Після вивільнення всієї суміші з завантажувальної ємності 1 блок керування 23 по засобам електричних проводів вимикає електричний насос 16 і закриває кран з електроприводом 15.

Після цього цикл повторюється $N = V / V_c$ разів з моменту завантаження компонентів у завантажувальну ємність 1.

Використання роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, в якому за рахунок встановлених краном з електроприводом і електричним насосом, які послідовно встановлені після вихідного патрубку; заслінкою з приводом крокового двигуна, яка встановлена у порожнині вхідного патрубку для сипких компонентів; датчиком витрат рідини і кран з електроприводом, які послідовно встановлені до вхідного патрубку для рідких компонентів; нагрівачем і датчиком температури, які розмішені на дні завантажувальної ємності; блоком керування, який по засобам електричних проводів приєднано до асинхронного електродвигуна, крана з електроприводом, електричного насоса, крокового двигуна, датчика витрат рідини, нагрівача, датчика температури, дозволяє одночасно виконувати технологічні процеси диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі з більш високою продуктивністю, якістю і меншими енерговитратами.

2.2 Розрахунок кількості отворів на статорі і роторі

На ефективну роботу кавітаційного диспергатор-гомогенізатора має вплив цілий ряд параметрів:

- число і розмір отворів в статорі і роторі;
- пропускна спроможність ступеня;
- частота обертання ротора;
- початковий розмір частинок, що поступають на доподрібнення;
- тиск гідроудару;
- інтенсивність дифузійного обміну між повітряним і рідким середовищами;
- достатність імпульсів для резонансного руйнування часток;
- частота на розрядження в статорі і стиснення в роторі.

В залежності від необхідного гранулометричного складу суспензії підбирається число ступенів пристрою і частотні характеристики кожної з них. Для створення ефективного процесу змішування і доподрібнення в пристрої

передбачається така послідовність конструктивного виконання, яка дозволяє отримувати високодисперсні, активовані однорідні системи.

З метою визначення конструктивних особливостей роторних пристроїв для забезпечення достатньої кавітаційної дії на перероблювану сировину виконуються попередні теоретичні розрахунки щодо кількості і розмірів отворів в статорі і роторі, відстані між отворами та залежні від них показники тиску і пропускної здатності.

Запропоновано методику розрахунку основних параметрів для кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.

З метою визначення відстані між суміжними отворами в статорі і роторі вводяться наступні позначення: i – довжина кола, по якому статор і ротор стикаються, м; z – ширина отвору в статорі і роторі, м; k_c – число отворів в статорі; k_p – число отворів в роторі.

Добуток параметрів $k_c \times z$ – пропускний лінійний розмір статора. Цей параметр так само характеризується, як сумарна ширина. Звідси різниця $1 - k_c \times z$ сума проміжків між отворами. Відстань між суміжними отворами в статорі визначається з виразу:

$$a_c = \frac{i - k_c z}{k_c} \quad (2.1)$$

Аналогічно добуток $k_p \times z$ – сумарна ширина отворів ротора, різниця $1 - k_p \times z$ – сума проміжків між отворами ротора. Відстань між суміжними отворами в роторі визначиться як

$$a_p = \frac{i - k_p z}{k_p} \quad (2.2)$$

Отвори в статорі і роторі співпадають формою і розмірам. Проте в статорі конструктивно виконано більше отворів, ніж в роторі. Неспівпадіння числа отворів пов'язане з необхідністю стабільної і рівномірної роботи пристрою. При не виконанні даної умови, виникає ефект суцільного гідроудару, який може привести до руйнування самого пристрою.

Хай один з отворів в статорі і роторі повністю співпали. Визначимо на яку загальну різницю не зійдуться отвори по наступному виразу:

$$\Delta = \frac{i - k_p z}{k_p} - \frac{i - k_c z}{k_c} = \frac{i}{k_p} - z - \frac{i}{k_c} + z = \frac{i}{k_p} - \frac{i}{k_c} \quad (2.3)$$

Внаслідок неспівпадіння отворів при обертанні ротора ширина щілини декілька менше ширини отвору z . Позначимо вираз $\frac{i}{k_p} - \frac{i}{k_c}$ як Δ , тоді ширина 1-ої щілини – z ; ширина 2-ої щілини – $z - \Delta$; ширина 3-ї щілини – $z - 2\Delta$ і так далі

Вираз,

$$z = j \Delta \quad (2.4)$$

означає, що якщо отвір з номером j перекриється повністю, то саме там відбудеться гідроудар. Звідси в отворах з номерами $j, 3j, 5j$ і так далі одночасно відбудуватиметься гідроудар, оскільки у цей момент вони будуть повністю закриті. Кількість повністю відкритих і повністю закритих отворів, у яких відбувається гідроудар, визначитися з виразу

$$N = \frac{k_{cr}}{2(j+1)} \quad (2.5)$$

Визначимо пропускну спроможність ступеня «статор-ротор». Пропускна спроможність з 0-го по j -отвір буде дорівнювати

$$n = \frac{z(j+1)}{2} \quad (2.6)$$

Тоді загальна прохідна ширина визначається з виразу:

$$\frac{k_c}{j+1} \frac{z(j+1)}{2} = \frac{z+k_c}{2} \quad (2.7)$$

Набуте значення так само буде сумарною прохідною здатністю.

Якщо зрушимо ротор на деяку величину $E < \Delta$, то всі отвори до j -го зменшаться на величину $E \times j$, а отвори від j до $2j$ збільшаться на цю ж величину. Сума отворів, тобто пропускна спроможність ступеня, змінюватися не буде.

Пропускна спроможність Δ визначається через параметри z і k .

З виразу $z = j \times \Delta$ отримаємо:

$$\Delta = \frac{z}{j} \quad (2.8)$$

Частота ступеня пов'язана з параметром k , а параметр z пов'язаний з первинними розмірами частинок, які є початковими значеннями. Чим більше величина Δ , тим менше j (номер повністю закритого отвору). Великою величиною Δ

регулюється кількість самих гідроударів. Чим більше закрилось отворів, тим сильніше гідроудар.

Підставляючи в вирази (2.1)-(2.8) числові значення отримуємо, що кількість отворів в роторі складає 24 шт, а в статорі 26 шт.

2.3 Розрахунок швидкості переміщення суміші

Для визначення середньої швидкості переміщення суміші обчислимо тиск за формулою Жуковського:

$$P = \rho (V_1 - V_0)^2 a \quad (2.9)$$

де ρ – щільність суспензії, кг/м³;

V_1, V_0 – швидкість руху потоку в отворі ротора до і після перекриття, м/с;

a – швидкість розповсюдження ударної хвилі в отворі ротора, рівна швидкості розповсюдження звуку в суспензії, м/с [30].

З точки зору ємкості всього пристрою частоти гідроударів можна класифікувати по двох основних групах: частота для отворів і частота для міжлопатевої частини пристрою. Причому частота для міжлопатевої частини пристрою буде в $j+1$ разів вище, ніж у отворів.

Силу гідроударного стиснення частинок p так само можна визначити по формулі Жуковського. Нехтуючи малими кінцевими швидкостями $V_0 = 0$ м/с. Тоді V_1 визначиться з виразу:

$$V_1 = \frac{2Q}{m z k_c} \quad (2.10)$$

де Q – витрата, м³/с;

m – довжина отвору, м

Якщо величина p перевищуватиме міцність частинки, то це приведе до її руйнування. При p меншому міцності частинки для досягнення необхідного результату частинка буде зруйнована тільки при багатократному повторенні процесу диспергації, або за умови проходження через декілька ступенів пристрою.

Позначимо товщину стінки ротора (глибина отвору) – h , м; швидкість суспензії V_1 , м/с; час руху частинки в отворі ротора – t , сек. Тоді час проходження частинки через отвір ротора визначиться:

$$t = \frac{h}{V_1} \quad (2.11)$$

Для розрахунку частоти гідроударних імпульсів в отворі ротора скористаємося наступною формулою:

$$f = n k_c \quad (2.12)$$

де n – частота обертання ротора, об./хв.;

k_c – кількість отворів в статорі.

Частота гідроударних імпульсів в отворі статора визначиться по аналогічній формулі

$$f = n k_p \quad (2.13)$$

де k_p – кількість отворів в роторі.

Тоді час між ударами в отворі визначиться як

$$t' = \frac{1}{j} \quad (2.14)$$

Якщо $t = t'$, то частинка випробує всього один гідроудар (один в роторі, другий в статорі). Якщо $t < t'$, то частинка випробує деяку кількість гідроударів. Якщо $t > t'$, то частина суспензії пройде наскрізь через отвори і щілини статора і ротора і взагалі не випробує гідроудару.

На ефективну роботу пристрою впливає параметр що характеризує хвилі збільшення і зменшення тиску. Хвиля збільшення тиску обумовлена явищем гідроудару. Хвиля зменшення тиску виникає внаслідок того, що в отворі ротора відбувається підвищення тиску, що у свою чергу приводить до пониження тиску в самому отворі статора. Причому частота на стиснення в роторі визначиться як $k_p \times n$, а частота на розрядку в статорі як $k_c \times n$. Пониження тиску більшою мірою сприяє позитивному ефекту руйнування часток, оскільки руйнуюча дія на розтягуванні ефективніше, ніж на стиснення [31].

На ефективне руйнування частинки так само робить впливи такий параметр, як резонансне руйнування частинки при декількох послідовних гідроударних

імпульсах. Такі імпульси співпадають з частотою власних коливань частинки, що приводить до виникнення ефекту резонансу, який позитивно впливає на процес руйнування частинки.

Перетворюючи рівняння (2.9) і (2.10) маємо:

$$Q = \frac{1}{2} \frac{P}{\rho \cdot a} m z k_c \pi r^2 \quad (2.15)$$

Потужність, яка необхідна для прокачування рідини крізь диспергатор визначається за формулою:

$$W = Q P \quad (2.16)$$

Підставляючи числові значення в вирази (2.15)–(2.16) отримуємо значення продуктивності і потужності кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, які складають відповідно 0,11 кг/с (398 кг/год) і 1,98 кВт.

2.4 Фізико-математична модель руху рідкої суміші в каналах диспергатора

В даний час найбільш дослідженими і експериментально підтвердженими математичними моделями руху рідини в каналах ротора і статора є моделі, отримані в результаті модифікації нестационарного рівняння Бернуллі. На основі таких рівнянь можна визначити швидкість, прискорення, витрата і тиск рідини в каналі статора [2].

З допущенням, що втрати енергії потоку рідини на тертя між перетинами I–I і II–II (рисунок 2.5) вкрай малі, нестационарне рівняння Бернуллі запишеться у вигляді [3]

$$\frac{p_p + p_w}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_0}{\rho} + \frac{u^2}{2} \left(1 + \zeta_M(l) + (l_p + l_c + \delta) \frac{du}{dt} \right) \quad (2.17)$$

де p_p – статичний тиск в порожнині ротора, Па;

p_0 – статичний тиск в робочій камері статора, Па;

p_w – приріст статичного тиску за рахунок дії на рідину відцентрової сили в каналі ротора, Па;

ρ – щільність рідини, кг/м³;

u_1, u – швидкість рідини на вході і виході з каналів, м / с;

ζ_M – узагальнений коефіцієнт місцевих опорів;

l_p, l_c – довжина каналів ротора і статора відповідно, м;

δ – радіальний зазор між ротором і статором, м.

Величина p_w може бути визначена з рівняння Ейлера [4] для робочого колеса відцентрового насоса з прямими лопатями

$$p_w = \frac{\rho l_p v_p^2 (2R_2 - l_p)}{2R_2^2} \quad (2.18)$$

де v_p – окружна швидкість вихідного отвору каналу ротора, м/с;

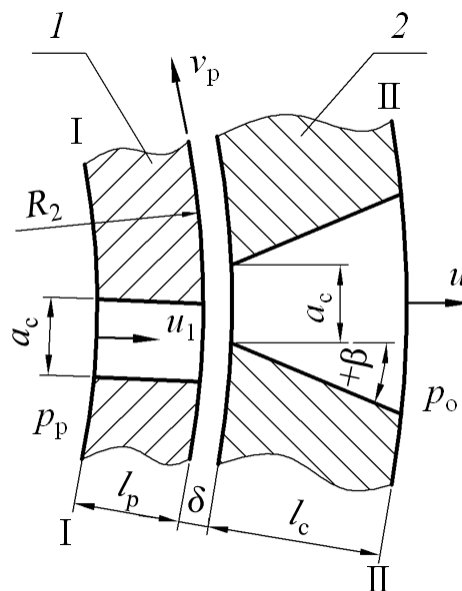
R_2 – радіус зовнішнього кола ротора, м.

Швидкість рідини на вході в канал ротора отримаємо з умови нерозривності струменя [5]:

$$u_1 = u \left(1 + \frac{2l_c \operatorname{tg} \beta}{a_c} \right) \quad (2.19)$$

де β – кут нахилу стінок каналу статора, рад;

a_c – ширина вхідного отвору каналу статора, м.



1 – ротор; 2 – статор

Рисунок 2.5 – Схема взаємного розташування каналів ротора і статора

У рівнянні (2.17), що описує рух рідини в каналах диспергатора, присутній параметр ζ_M – коефіцієнт гідравлічного опору системи «канал ротора – радіальний зазор – канал статора». В роботі [6] запропоновано визначати величину $\zeta_M t$ для каналу статора, що розширюється по залежності

$$\zeta_M t = 1.5 + \frac{4l_c^2 t g^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{nep} * e^{-9.6 \cdot 1 - \frac{a_c - v_p t}{a_c}} \quad (2.20)$$

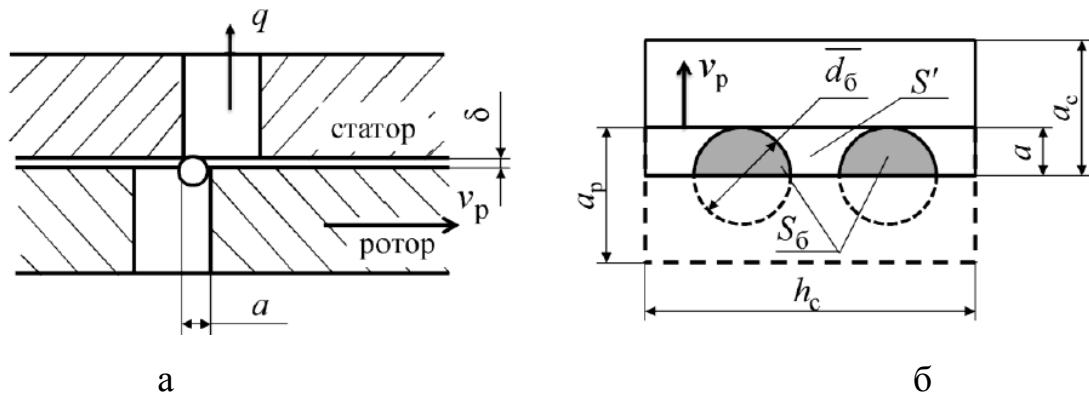
де ζ_{nep} – коефіцієнт гідравлічного опору повністю перекритих каналів диспергатора [3].

Перші два доданки виразу (2.20) відображають вплив геометричних параметрів каналу статора на його гідравлічний опір, третє – вплив взаємного розташування каналів ротора и статора. Залежність (2.20), отримана при допущенні, що частинки оброблюваного матеріалу не перешкоджають руху рідини в каналах ротора и статора, може бути використана для розрахунку значень коефіцієнта ζ_M при обробці в диспергаторі рідин або суспензій, дисперсність яких порівнянна з величиною радіального зазору δ між його робочими елементами. Однак при обробці кормової суспензії, розмір частинок зерна в якій значно перевищує зазор δ , похибка моделі (2.20) збільшується. Збільшення похибки пов'язано з тим, що на початку фази відкриття каналу статора і в завершенні фази його перекриття великі частки блокують частину площини прохідного перетину між каналами ротора и статора, збільшуючи при цьому їх гідравлічний опір (рисунки 2.6, а).

Ступінь впливу частинок зерна на гідравлічний опір каналів диспергатора пропонується врахувати коефіцієнтом k_s , рівним відношенню вільної площини S' прохідного перетину між каналами ротора и статора до загальної площини S даного перетину (рисунки 2.6, б)

$$k_s = \frac{S'(t)}{S(t)} = 1 - \frac{S_6(t)}{S(t)} \quad (2.21)$$

де $S_6(t)$ – площа прохідного перетину між каналами, заблокована частинками кормової суспензії, м².



a – положення частинки корму в каналах диспергатора; *б* – схема до розрахунку коефіцієнта k_s

Рисунок 2.6 – Блокування прохідного перетину між каналами ротора і статора частинками кормової суспензії

У загальному вигляді повна площа S прохідного перетину між сполученими каналами ротора і статора визначається по залежності

$$S t = h_c a t = h_c (a_c - a_c - v_p t^2 + \delta^2, t \in 0; \frac{2a_c}{v_p}, \quad (2.22)$$

де $a(t)$ – ширина прохідного перетину між каналами ротора і статора, м;

h_c – довжина вхідного отвору каналу статора, м.

Для сферичної форми частинок заблокована площа S_6 дорівнює сумарній площі їх поперечних перерізів:

$$S_6 t = \frac{3}{2} \frac{V_6 t}{d_6 t}, \quad (2.23)$$

де $d_6 t$ – середній діаметр частинок, здатних заблокувати прохідний перетин шириною a між каналами, м;

$V_6 t$ – загальний об'єм частинок, які блокують прохідний перетин, м.

Середній діаметр $d_6 t$ визначається в залежності від ширини a прохідного перетину і максимального розміру часток в суспензії за формулою

$$d_6 t = \frac{a t + d_{max}}{2}, \quad (2.24)$$

де d_{max} – максимальний діаметр частинок в кормовій суспензії, м.

При визначенні об'єму V_6 частинок кормової суспензії, здатних заблокувати прохідний перетин, слід враховувати тільки ті з них, які задовольняють таким умовам: по-перше, діаметр частинок повинен перевищувати величину радіального зазору δ між ротором і статором, так як в протилежному випадку вони перейдуть в нього. По-друге, частки повинні мати розмір більше поточної ширини а прохідного перетину між каналами (рисунок 2.6, б).

Оскільки процес суміщення і роз'єднання каналів ротора з каналами статора є циклічним, то частинки, які заблокували прохідний перетин в кінці фази закриття каналу статора, будуть також блокувати його і на початку фази відкриття наступного циклу. Беручи до уваги цю особливість, об'єм V_6 частинок зерна, здатних заблокувати прохідний перетин між каналами, може бути визначений за залежністю

$$V_6^{\text{закр}} + C_3 \int_0^t q(t) dt * 1 - F_3 a t, 0 \leq t \leq \frac{a_c}{v_p},$$

$$V_6 t = C_3 1 - F_3(a t) * \int_{t_3}^t q t dt, t_3 \leq t \leq \frac{2a_c}{v_p}, \quad (2.25)$$

$$0, \frac{a_c}{v_p} < t < t_3$$

де $V_6^{\text{закр}}$ – об'єм частинок, що скупчилися на вході в канал статора під час фази його перекриття, м³;

C_3 – об'ємна концентрація частинок зерна в суспензії;

$q t$ – функція витрати кормової суспензії через один канал статора, м³/с;

F_3 – значення інтегральної функції розподілу розмірів частинок зерна;

t_3 – момент часу, по досягненню якого можливе блокування частинками прохідного перетину в фазі перекриття каналу статора, с.

Значення часу t_3 і обсягу $V_6^{\text{закр}}$ визначаються виходячи з максимального розміру часток в суспензії за формулами

$$t_3 = \frac{2a_c - d_{\text{max}}}{v_p}, \quad (2.26)$$

$$V_6^{\text{закр}} = C_3 \int_{t_3}^t q t dt, \text{ при } t = \frac{2a_c}{v_p} \quad (2.27)$$

Витрата кормової суспензії через один канал статора дорівнює

$$q t = h_c a_c + 2l_c t g \beta u t, \quad (2.28)$$

де u t – швидкість кормової суміші у вихідному перерізі каналу статора (рисунок 2.5), м/с.

Функція швидкості u t може бути отримана шляхом апроксимації результатів рішення диференціального рівняння (2.17) методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Після отримання функції швидкості u t є можливим визначити за формулами (2.22)–(2.27) складові виразу (2.19) і розрахувати значення коефіцієнта k_s в першому наближенні.

Вищевказаний алгоритм розрахунку значень швидкості u і коефіцієнта k_s реалізований за допомогою пакета комп'ютерної алгебри Mathcad. Графічні залежності швидкості u і коефіцієнта k_s від часу t , отримані при значеннях параметрів диспергатора $p_p = 2,6 \cdot 10^5$ Па, $p_o = 2,0 \cdot 10^5$ Па, $l_c = 17 \cdot 10^{-3}$ м, $l_p = 18 \cdot 10^{-3}$ м, $a_c = 10 \cdot 10^{-3}$ м, $h_c = 28 \cdot 10^{-3}$ м, $\rho = 1070$ кг/м³, $\delta = 0,12 \cdot 10^{-3}$ м, $R_2 = 0,08$ м і допущенні про нормальний розподіл розмірів частинок зерна в кормовій суспензії з математичним очікуванням $d = 3 \cdot 10$ м і середньоквадратичним відхиленням $a = 1,0 \cdot 10$ м, які наведені на рисунку 2.7.

Як видно з рисунку 2.7, на початку і в кінці циклу значення коефіцієнта k_s прагне до нуля, тобто в цих тимчасових рамках частки кормової суспензії в значній мірі блокують прохідний перетин між каналами.

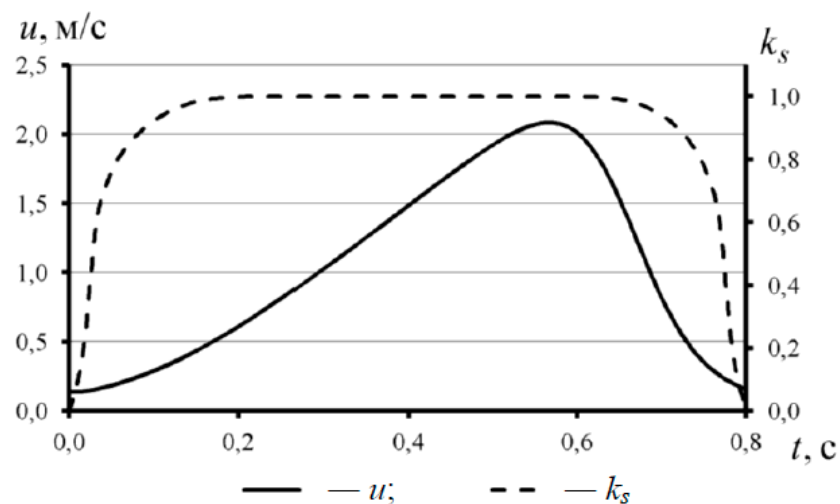


Рисунок 2.7 – Залежність швидкості u і коефіцієнта k_s від часу t

Для обліку ефекту блокування прохідного перетину частинками оброблюваного матеріалу пропонується доповнити залежність (2.20), що визначає гідравлічний опір ζ_M каналів ротора і статора, уточнюючим коефіцієнтом k_s . У зазначеній залежності (2.20) вираз в ступені експоненти $1 - \frac{a_c - v_p t}{a_c}$ враховує повноту суміщення каналів ротора і статора, яка пов'язана зі зміною площі прохідного перетину між ними. Оскільки коефіцієнт k_s також враховує зменшення площі прохідного перетину, доступною для руху рідини в даний момент часу, то залежність $\zeta_M(t)$ може бути уточнена в наступному вигляді:

$$\zeta'_M t = 1.5 + \frac{4l_c^2 t g^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{\text{пер}} e^{-9.6k_s(1 - \frac{a_c - v_p t}{a_c})}, \quad (2.29)$$

Чисельне рішення диференціального рівняння (2.17) методом Рунге-Кутта 4-го порядку, виконане з урахуванням скоригованих значень коефіцієнта $\zeta'_M t$, дозволило визначити об'єм V'_c кормової суспензії, що проходить за один цикл по каналу статора, і розрахувати теоретичну подачу Q_T диспергатора по залежності [3]

$$Q'_T = V'_c \frac{z_p z_c v_p}{2\pi R_2}, \quad (2.30)$$

де z_p, z_c – число каналів ротора і статора відповідно.

2.5 Висновки з розділу

1. Проведено обґрунтування конструктивно-технологічної схеми роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який містить робочу камеру, кришку, вихідний патрубок, вхідні патрубки для сипких і рідких компонентів, статор із дифузорами і наскрізним отвором, ротор із резонаторами, лопатками і валом, підшипниковий вузол та електродвигун. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса.

2. В результаті теоретичних досліджень запропоновано методику розрахунку основних параметрів для кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, а

саме довжини кола i , по якому статор і ротор стикаються, ширина отвору z в статорі і роторі, число отворів в статорі k_s , число отворів в роторі k_r . Встановлено, що кількість отворів в роторі складає 24 шт, а в статорі 26 шт.

3. На основі теорії Жуговського для гідравлічного удару приведено методику розрахунку швидкості переміщення суміші в отворах і каналах кавітаційного диспергатор-гомогенізатора і відповідно до цього значення його продуктивності. Встановлено продуктивність і потужність кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, які складають відповідно 0,11 кг/с (398 кг/год) і 1,98 кВт відповідно.

4. На основі нестационарного рівняння Бернуллі запропонована математична модель руху кормової суспензії в каналах кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, що враховує вплив частинок корму на гідравлічний опір переходу між каналами ротора і статора. Запропоновано алгоритм наближеного розрахунку значень коефіцієнта, що враховує ступінь блокування прохідного перетину між каналами частинками оброблюваного матеріалу. Обґрунтовано метод чисельного рішення нестационарного рівняння Бернуллі із застосуванням систем комп'ютерної алгебри Mathcad, що дозволяє визначати гідродинамічні параметри потоку кормової суспензії і подачу кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.

Чисельне моделювання проводилося з використанням моделі Ейлерової багатофазності, багатофазної взаємодії і метода об'ємної рідини (VOF). Рух рідинної фази підпорядковується k-ε моделі турбулентності. Для визначення течії рідинної фази і наявності явища кавітації суміш представлялася, як двофазне середовище рідина-газ, при цьому газом є газоподібна фаза рідини (пара). Прийнято, що рідинна фаза в процесі руху мала постійну щільність, а газ був реальним і підпорядковувався рівнянню Ван-дер-Ваальсу. Взаємодія між фазами рідина-газ підпорядковувалася моделі об'ємної рідини VOF-VOF і кавітації Schnerr-Sauer [Ошибка! Закладка не определена.].

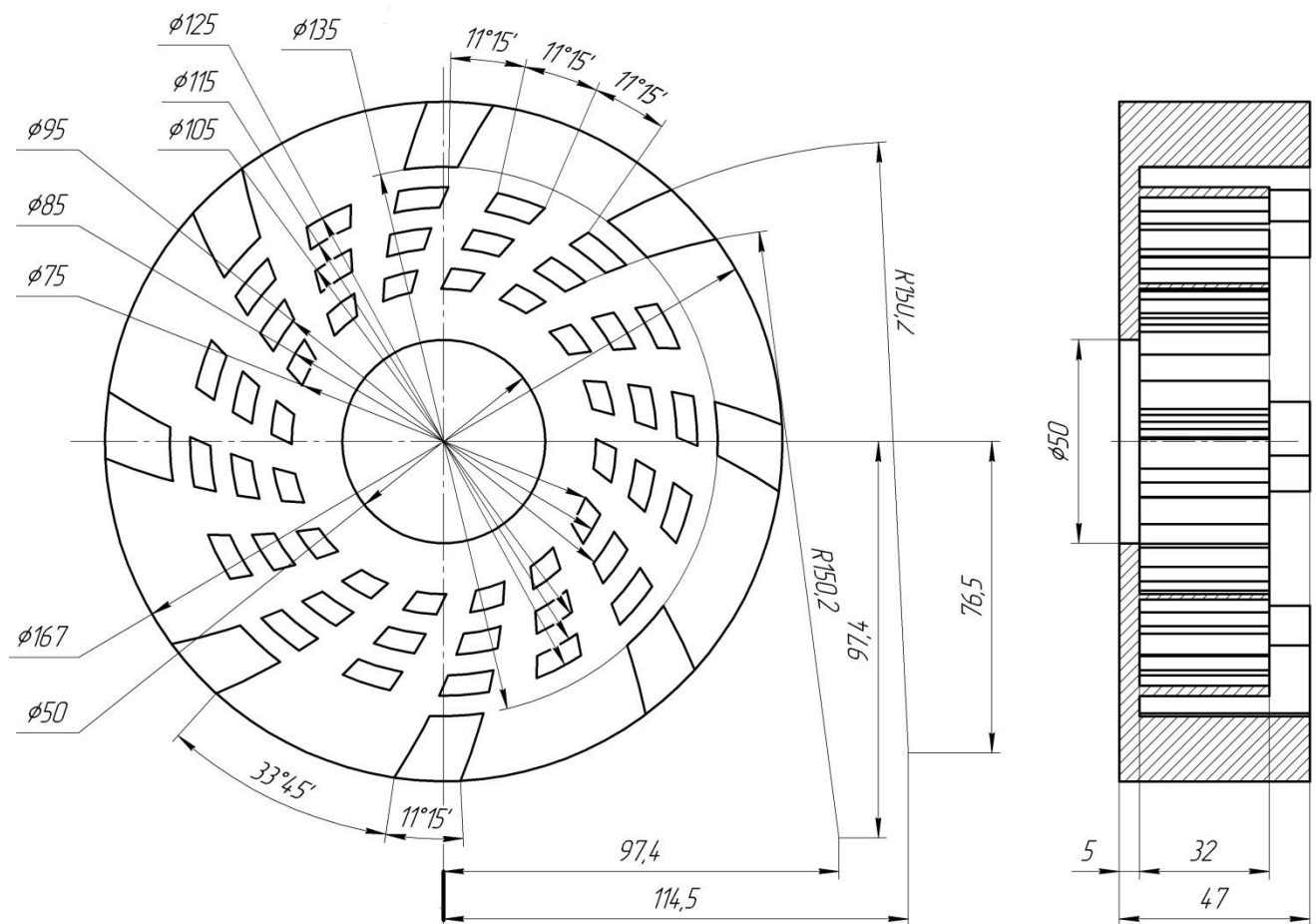


Рисунок 3.2 – Геометричні розміри статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Для даного чисельного моделювання частота обертання ротора була прийнятою 1500 об/хв. При цьому період ітерацій складав 0,001 мс.

В початковий момент часу область між статором і ротором була заповнена лише рідиною, тобто її вміст складав $\alpha_f = 1$. Температура в початковий момент часу складала 27°C , тиск – $101,3$ кПа. У якості вихідних даних було прийнято, що рідина має постійну густину $\rho_f = 997,6$ кг/м³, динамічна в'язкість становила $\mu_f = 8,88 \cdot 10^{-4}$ Па·с, тиск насичення складав $p_f = 2338$ Па, молекулярна маса $M_f = 18$ кг/кмоль, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_f = 0,62$ Вт/(м·К), питома теплоємність $C_f = 4181$ Дж/(кг·К). В свою чергу газоподібна фаза рідини має динамічну в'язкість $\mu_g = 1,267 \cdot 10^{-5}$ Па·с, молекулярну масу $M_g = 18$ кг/кмоль, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_g = 0,0253$ Вт/(м·К), питому теплоємність $C_g = 1938$ Дж/(кг·К).

Сітка частини 3D моделі області між робочими органами кавітаційного диспергатор-гомогенізатора в Star CCM представлена на рис. 2.14.

3.2 Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

За результатами чисельного моделювання отримано розподіл швидкостей переміщення рідкої фази суміші в робочій камері роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора (рис. 2.15). Дана візуалізація свідчить про те, що рідка фаза переміщується по всьому об'єму робочої камери із середньою швидкістю $2,4$ м/с. Тобто можна стверджувати про те, що вся суміш захоплюється ротором у наскрізному отворі статора і проходить крізь дифузори і резонатори в яких відбувається процес диспергування.

На рис. 3.4 представлено розподіл і динаміка тиску в дифузори роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора. Дана візуалізація свідчить про те, що середня різниця між максимальним і мінімальним значенням тиску в дифузори становить 90 кПа. При чому дана зміна тиску відбувається за $0,004$ с. Це дає змогу стверджувати про виникнення в дифузори явища гідравлічного удару, що сприяє процесу диспергування.

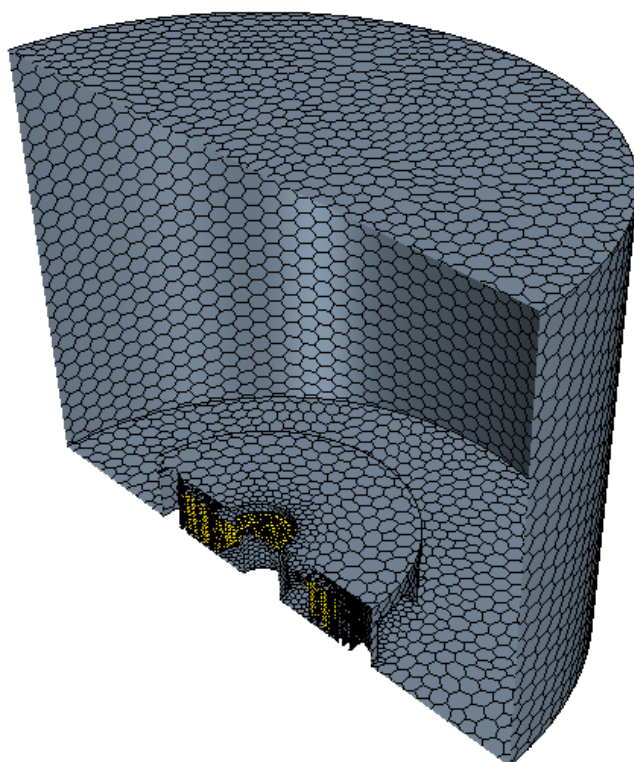


Рисунок 3.3 – Сітка частини 3D моделі області між робочими органами кавітаційного диспергатор-гомогенізатора в Star CCM+

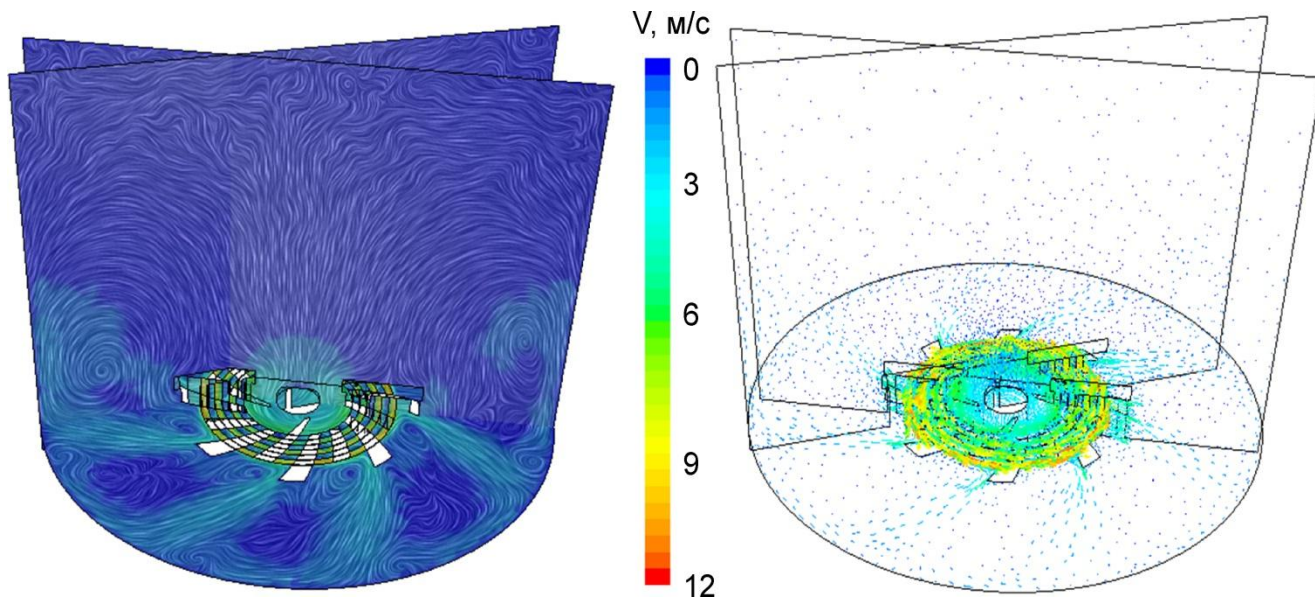


Рисунок 3.4 – Розподіл швидкостей переміщення рідкої фази суміші в робочій камері роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

На рис. 3.5 приведено розподіл і динаміка концентрації газоподібної фази рідини в дифузорі роторного кавітаційного диспергатора-гомогенізатора.

Максимальне значення концентрації газоподібної фази рідини в дифузорі коливається в діапазоні $3,6-4,7 \cdot 10^{-3}$. Це свідчить про постійну наявність в цій зоні бульбашок газоподібної фази рідини (пари), а коливання концентрації дозволяє стверджувати про їх постійне утворення і знищення, що як раз і визначає наявність явища кавітації.

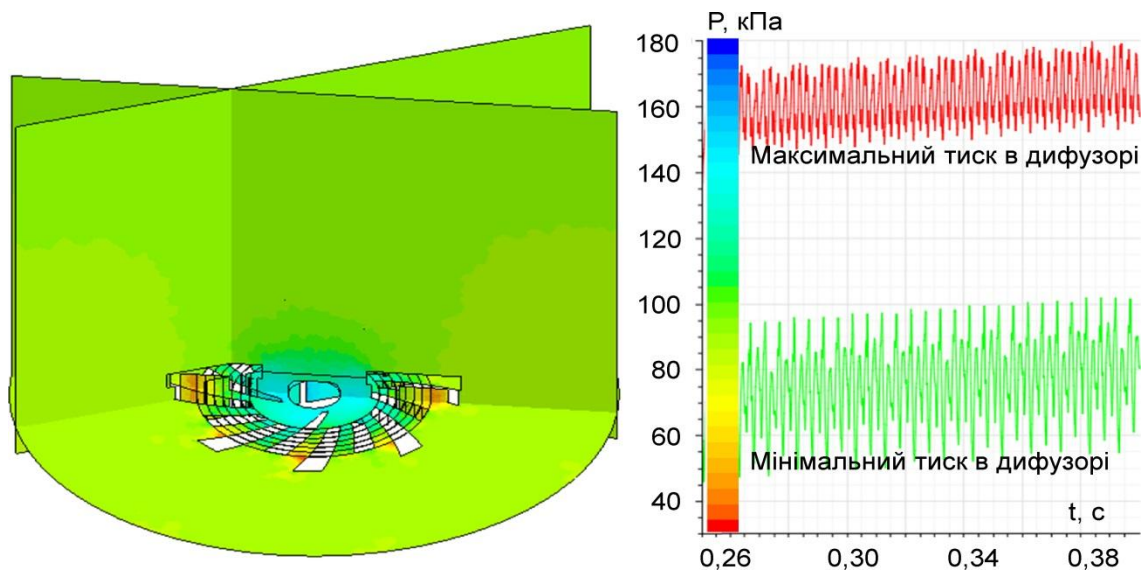


Рисунок 3.5 – Розподіл і динаміка тиску в дифузорі роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

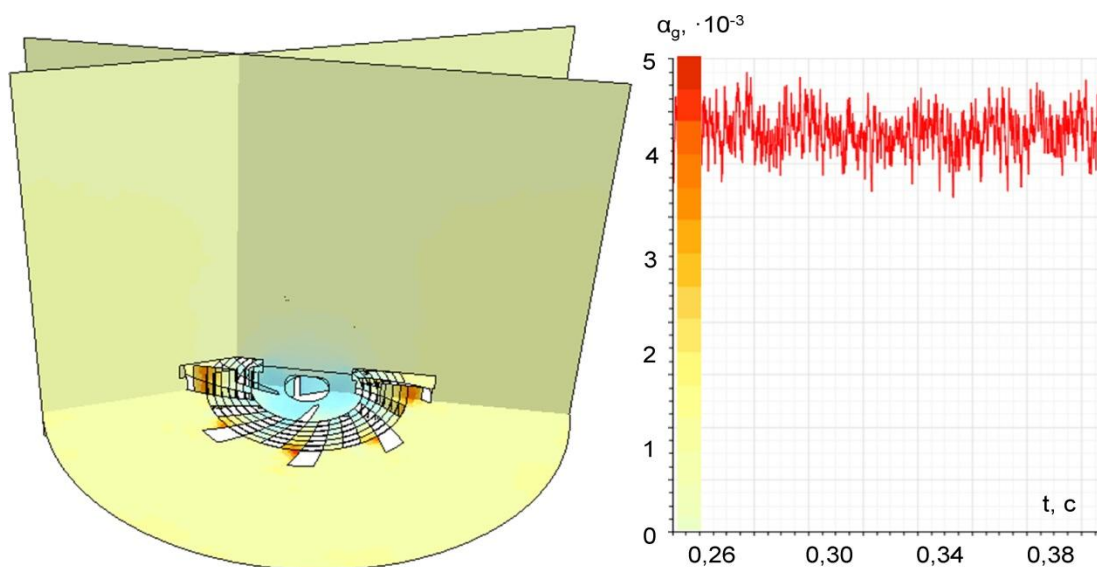


Рисунок 3.6 – Розподіл і динаміка концентрації газоподібної фази рідини в дифузорі роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

3.3 Обґрунтування параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

За фактори досліджень було обрано частоту обертання ротора n , діаметр вхідного отвору D_{in} і кількість резонаторів N_{hole} . Межі та інтервали факторів досліджень наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Межі та інтервали факторів чисельного моделювання

Рівень	Частота обертання ротора n , об/хв. (x_1)	Діаметр вхідного отвору D_{in} , м (x_2)	Кількість резонаторів N_{hole} (x_3)
Верхній (+1)	3000	0,06	48
Середній (0)	2250	0,05	32
Нижній (-1)	1500	0,04	16
Інтервал	750	0,01	16

У процесі чисельного моделювання для кожного дослідження було визначено:

– максимальну швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max}$;

– максимальну швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max}$;

– максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max}$;

– максимальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{rot\ max}$;

– мінімальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{rot\ min}$.

Якісним критерієм оцінки явища кавітації у розробленому обладнанні є максимальне і мінімальне число кавітації X_{max} і X_{min} , яке розраховується за формулами:

$$X_{max} = \frac{2 P_{rotmax} - P_s}{\rho V_{rotmax}}, \quad (3.1)$$

$$X_{min} = \frac{2 P_{rotmin} - P_s}{\rho V_{rotmin}}, \quad (3.2)$$

де P_{rot} – гідростатичний тиск набігаючого потоку в дифузорі, Па;
 P_s – тиск насичених парів рідини при певній температурі навколишнього середовища, для водяного пару $P_s = 2314,4$ Па;
 ρ – щільність середовища, для води $\rho = 997$ кг/м³;
 V_{rot} – швидкість потоку в дифузорі, м/с.

Відомо, що кавітація виникає при досягненні потоком граничної швидкості, коли тиск в потоці стає рівним тиску пароутворення (насичених парів). Цієї швидкості відповідає граничне значення критерію кавітації.

Залежно від величини X можна розрізнити чотири види потоків:

- докавітаційний – суцільний (однофазний) потік при $X > 1$;
- кавітаційний – (двофазний) потік при $X \approx 1$;
- плівковий – зі стійким відділенням кавітаційної порожнини від решти суцільного потоку (плівкова кавітація) при $X < 1$;
- суперкавітаційний – при $X \ll 1$.

Критерієм продуктивності процесу диспергування є величина масового потоку суміші, яку будемо розраховувати за формулою:

$$Q = V_{in\ max} \rho S_{in} = V_{in\ max} \rho \pi D_{in}^2, \quad (3.3)$$

де S_{in} – площа вхідного отвору, м².

Чим більше значення Q , тим більша маса суміші за одиницю часу піддається диспергуванню.

Раціональні конструктивно-режимні параметри кавітаційного диспергатор-гомогенізатора можна досягти за умови максимізація продуктивності процесу диспергування при мінімізації значення числа кавітації.

Моделювання проводилося шляхом почергового перебору всіх рівнів факторів із загальною кількістю $3^3 = 27$ дослідів, матриця плану дослідів приведена в табл. 3.2.

Далі з використанням програмного пакету Mathematica визначалася модель регресії другого порядку для кожного із запропонованих критеріїв.

Таблиця 3.2 – Матриця плану чисельного моделювання

№	n, об/хв.	D _{in} , м	N _{hole}	x ₁	x ₂	x ₃
1	1500	0,04	16	-1	-1	-1
2	1500	0,04	32	-1	-1	0
3	1500	0,04	48	-1	-1	1
4	1500	0,05	16	-1	0	-1
5	1500	0,05	32	-1	0	0
6	1500	0,05	48	-1	0	1
7	1500	0,06	16	-1	1	-1
8	1500	0,06	32	-1	1	0
9	1500	0,06	48	-1	1	1
10	2250	0,04	16	0	-1	-1
11	2250	0,04	32	0	-1	0
12	2250	0,04	48	0	-1	1
13	2250	0,05	16	0	0	-1
14	2250	0,05	32	0	0	0
15	2250	0,05	48	0	0	1
16	2250	0,06	16	0	1	-1
17	2250	0,06	32	0	1	0
18	2250	0,06	48	0	1	1
19	3000	0,04	16	1	-1	-1
20	3000	0,04	32	1	-1	0
21	3000	0,04	48	1	-1	1
22	3000	0,05	16	1	0	-1
23	3000	0,05	32	1	0	0
24	3000	0,05	48	1	0	1
25	3000	0,06	16	1	1	-1
26	3000	0,06	32	1	1	0
27	3000	0,06	48	1	1	1

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$\begin{aligned}
 V_{inmax} = & 4,72 + 1,00333 x_1 - 3,03551 \cdot 10^{-15} x_1^2 + 1,09667 x_2 - \\
 & - 5,2384 \cdot 10^{-16} x_1 x_2 + 0,1 x_2^2 - 0,271667 x_3 - 0,01 x_1 x_3 - \\
 & - 0,0275 x_2 x_3 + 0,085 x_3^2
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Статистичну обробку рівняння (3.4) подано в табл. 3.3.

У результаті аналізу табл. 3.3, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента і розкодування рівняння (3.4) остаточно маємо залежність зміни максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі від факторів досліджень

$$V_{in\ max} = -0,665 + 15,1667 D_{in} + 1000 D_{in}^2 + 0,00133778 n - 0,0296354 N_{hole} - 0,171875 D_{in} N_{hole} + 0,000332031 N_{hole}^2. \quad (3.5)$$

Таблиця 3.3 – Статистична обробка рівняння (3.4)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	4,72	0,0193396	244,059	1,41494·10 ⁻³¹
a ₁₀	1,00333	0,00895249	112,073	7,81436·10 ⁻²⁶
a ₂₀	1,09667	0,00895249	122,499	1,7257·10 ⁻²⁶
a ₃₀	-0,271667	0,00895249	-30,3454	3,01715·10 ⁻¹⁶
a ₁₂	-5,2384·10 ⁻¹⁶	0,0109645	-4,7776·10 ⁻¹⁴	1
a ₁₃	-0,01	0,0109645	-0,912033	0,374504
a ₂₃	-0,0275	0,0109645	-2,50809	0,0225708
a ₁₁	-3,03551·10 ⁻¹⁵	0,0155062	-1,95762·10 ⁻¹³	1
a ₂₂	0,1	0,0155062	6,44905	5,99957·10 ⁻⁶
a ₃₃	0,085	0,0155062	5,48169	0,00004052

Максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max} = 7,3$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 16$. Фіксуючи почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (3.5) побудовано на рис. 3.7.

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у дифузорі від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$V_{rot\ max} = 17,2533 + 6,31667 x_1 - 2,34467 \cdot 10^{-14} x_1^2 + 0,178333 x_2 - 4,13185 \cdot 10^{-15} x_1 x_2 + 0,135 x_2^2 + 2,33333 x_3 + 1,11 x_1 x_3 - 0,1525 x_2 x_3 + 0,36 x_3^2. \quad (3.6)$$

Статистичну обробку рівняння (3.6) подано в табл. 3.4.

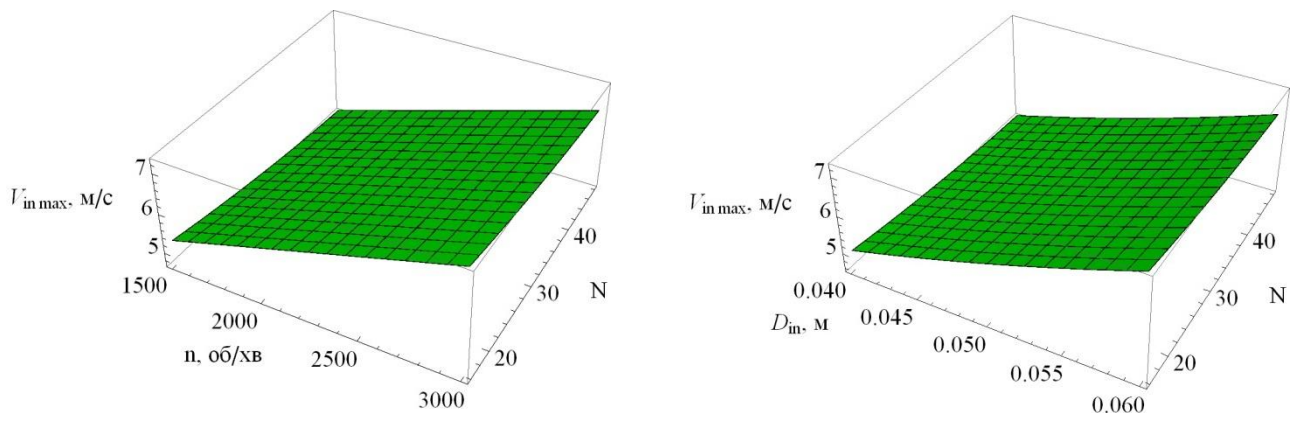


Рисунок 3.7 – Залежність максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

У результаті аналізу табл. 3.4, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента і розкодування рівняння (3.6) остаточно маємо залежність зміни максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у дифузори від факторів досліджень

$$V_{rot\ max} = 0,845 + 17,8333 D_{in} + 0,00546222 n - 0,152292 N_{hole} + 0,0000925 n N_{hole} + 0,00140625 N_{hole}^2 \quad (3.7)$$

Таблиця 3.4 – Статистична обробка рівняння (3.6)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a_{00}	17,2533	0,164711	104,749	$2,46127 \cdot 10^{-25}$
a_{10}	6,31667	0,0762462	82,8457	$1,31798 \cdot 10^{-23}$
a_{20}	0,178333	0,0762462	2,33891	0,0318103
a_{30}	2,33333	0,0762462	30,6026	$2,6202 \cdot 10^{-16}$
a_{12}	$-4,13185 \cdot 10^{-15}$	0,0933821	$-4,42467 \cdot 10^{-14}$	1
a_{13}	1,11	0,0933821	11,8866	$1,16332 \cdot 10^{-9}$
a_{23}	-0,1525	0,0933821	-1,63307	0,120836
a_{11}	$-2,34467 \cdot 10^{-14}$	0,132062	$-1,77543 \cdot 10^{-13}$	1
a_{22}	0,135	0,132062	1,02225	0,320993
a_{33}	0,36	0,132062	2,72599	0,0143729

Максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max} = 27,5$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$. Фіксуючи

почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (3.7) побудовано на рис. 3.8.

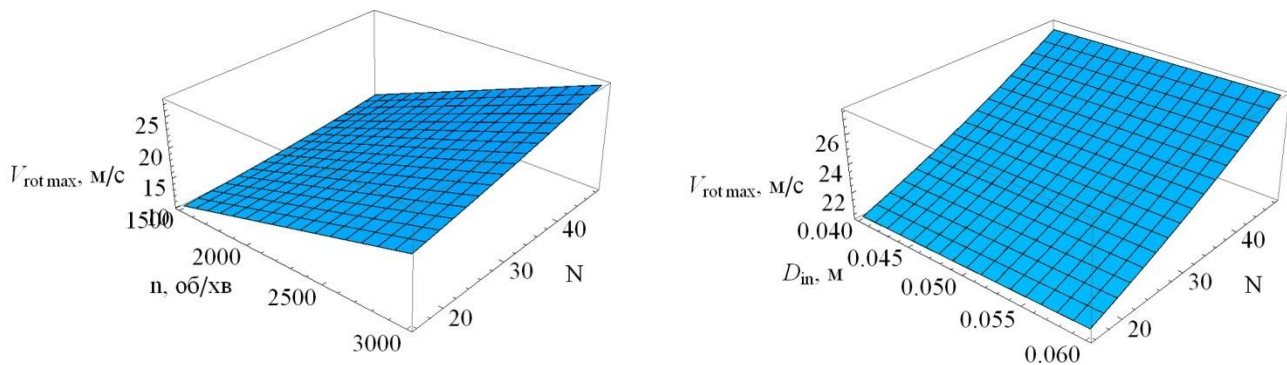


Рисунок 3.8 – Залежність максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у дифузорі $V_{rot\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення максимального тиску рідкої фази суміші у вхідному отворі від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$\begin{aligned}
 P_{in\ max} = & 124,551 + 15,6894 x_1 - 1,81164 x_1^2 + 5,46905 x_2 + \\
 & + 0,524858 x_1 x_2 - 0,323984 x_2^2 + 5,3878 x_3 + 0,04055 x_1 x_3 + \\
 & + 1,21828 x_2 x_3 + 3,88243 x_3^2.
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

Статистичну обробку рівняння (3.8) подано в табл. 3.5.

У результаті аналізу табл. 3.5, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента і розкодування рівняння (3.8) остаточно маємо залежність зміни максимального тиску рідкої фази суміші у вхідному отворі від факторів досліджень

$$\begin{aligned}
 P_{in\ max} = & 50,7694 + 303,249 D_{in} + 0,0354123 n - 3,22069 \cdot 10^{-6} n^2 - \\
 & - 1,01458 N_{hole} + 7,61425 D_{in} N_{hole} + 0,0151657 N_{hole}^2.
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max} = 154,4$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$. Фіксуючи почергово

фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (3.9) побудовано на рис. 3.9.

Таблиця 3.5 – Статистична обробка рівняння (3.8)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a_{00}	124,551	0,666684	186,821	$1,328 \cdot 10^{-29}$
a_{10}	15,6894	0,308615	50,8382	$5,14025 \cdot 10^{-20}$
a_{20}	5,46905	0,308615	17,7213	$2,13958 \cdot 10^{-12}$
a_{30}	5,3878	0,308615	17,458	$2,72515 \cdot 10^{-12}$
a_{12}	0,524858	0,377974	1,38861	0,182879
a_{13}	0,04055	0,377974	0,107282	0,915821
a_{23}	1,21828	0,377974	3,22318	0,0049921
a_{11}	-1,81164	0,534536	-3,38918	0,00348852
a_{22}	-0,323984	0,534536	-0,606104	0,552454
a_{33}	3,88243	0,534536	7,26317	$1,3255 \cdot 10^{-6}$

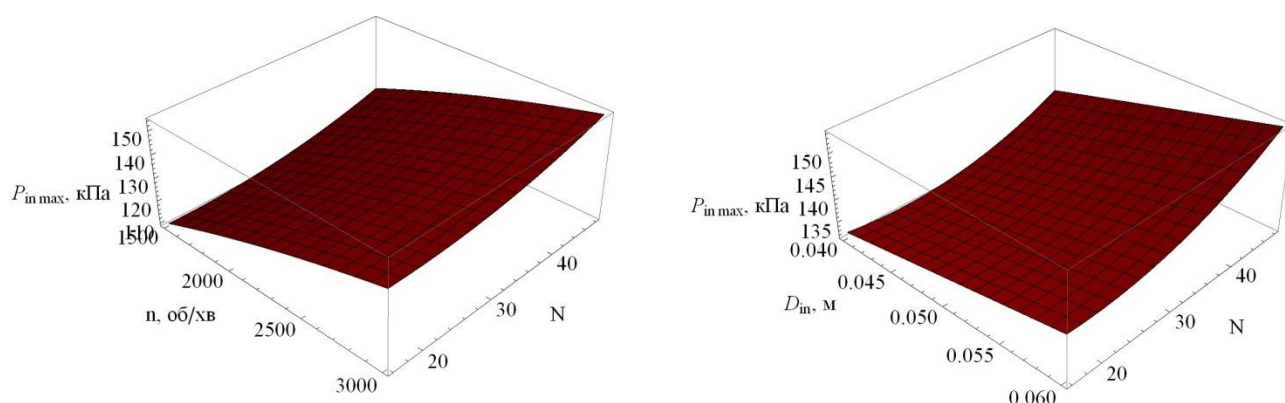


Рисунок 3.9 – Залежність максимального тиску рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення максимального тиску переміщення рідкої фази суміші у дифузорі від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$\begin{aligned}
 P_{rot\ max} = & 171,763 + 19,3513 x_1 - 3,90839 x_1^2 + 3,98246 x_2 - \\
 & - 0,357417 x_1 x_2 - 0,0684029 x_2^2 + 6,15596 x_3 + 0,0130833 x_1 x_3 -
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

$$- 1,56583 x_2 x_3 + 2,63001 x_3^2.$$

Статистичну обробку рівняння (3.10) подано в табл. 3.6.

У результаті аналізу табл. 3.6, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента і розкодування рівняння (3.10) остаточно маємо залежність зміни максимального тиску переміщення рідкої фази суміші у дифузори від факторів досліджень

$$P_{rot\ max} = 41,1716 + 711,412 D_{in} + 0,0570688 n - 6,94825 \cdot 10^{-6} n^2 + \\ + 0,216568 N_{hole} - 9,78644 D_{in} N_{hole} + 0,0102735 N_{hole}^2. \quad (3.11)$$

Таблиця 3.6 – Статистична обробка рівняння (3.10)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	171,763	0,780301	220,125	8,17623·10 ⁻³¹
a ₁₀	19,3513	0,361209	53,5736	2,11995·10 ⁻²⁰
a ₂₀	3,98246	0,361209	11,0254	3,63528·10 ⁻⁹
a ₃₀	6,15596	0,361209	17,0427	4,01849·10 ⁻¹²
a ₁₂	-0,357417	0,442389	-0,807924	0,430295
a ₁₃	0,0130833	0,442389	0,0295743	0,976751
a ₂₃	-1,56583	0,442389	-3,53949	0,00251884
a ₁₁	-3,90839	0,625632	-6,2471	8,84795·10 ⁻⁶
a ₂₂	-0,0684029	0,625632	-0,109334	0,914218
a ₃₃	2,63001	0,625632	4,20376	0,000596762

Максимальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{rot\ max} = 154,4$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$. Фіксуючи почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (3.11) побудовано на рис. 3.10.

У результаті чисельного моделювання і подальшої обробки отриманих даних у програмному пакеті Mathematica отримано залежність зміни значення мінімального тиску переміщення рідкої фази суміші у дифузори від факторів досліджень у закодованому вигляді

$$P_{rot\ min} = 54,5321 - 19,3513 x_1 + 3,90839 x_1^2 + 2,097 x_2 + 0,357417 x_1 x_2 + \\ + 0,47866 x_2^2 - 2,45528 x_3 - 0,0130833 x_1 x_3 - 0,401844 x_2 x_3 - 2,22782 x_3^2. \quad (3.12)$$

Статистичну обробку рівняння (3.12) подано в табл. 3.7.

У результаті аналізу табл. 3.6, відповідного скорочення незначущих коефіцієнтів за критерієм Стюдента і розкодування рівняння (3.12) остаточно маємо залежність зміни мінімального тиску переміщення рідкої фази суміші у дифузори від факторів досліджень

$$P_{\text{rot min}} = 133,276 + 209,7 D_{\text{in}} - 0,0570688 n + 6,94825 \cdot 10^{-6} n^2 + 0,403501 N_{\text{hole}} - 0,00870244 N_{\text{hole}}^2. \quad (3.13)$$

Таблиця 3.7 – Статистична обробка рівняння (3.12)

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта регресії	Стандартна похибка	t-statistic	P-Value
a ₀₀	54,5321	0,641455	85,0131	8,50496·10 ⁻²⁴
a ₁₀	-19,3513	0,296936	-65,1699	7,69801·10 ⁻²²
a ₂₀	2,097	0,296936	7,06212	1,90842·10 ⁻⁶
a ₃₀	-2,45528	0,296936	-8,26873	2,32092·10 ⁻⁷
a ₁₂	0,357417	0,363671	0,982803	0,339486
a ₁₃	-0,0130833	0,363671	-0,0359758	0,971721
a ₂₃	-0,401844	0,363671	-1,10497	0,284567
a ₁₁	3,90839	0,514308	7,59932	7,29443·10 ⁻⁷
a ₂₂	0,47866	0,514308	0,930687	0,365044
a ₃₃	-2,22782	0,514308	-4,33169	0,000453011

Мінімальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{\text{rot min}} = 37,2$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{\text{in}} = 0,06$ м, $N_{\text{hole}} = 16$. Фіксуючи по чергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежності (3.13) побудовано на рис. 3.10.

В результаті розрахунку максимального і мінімального числа кавітації за формулами (3.1) і (3.2) отримані відповідні рівняння регресії:

$$X_{\text{max}} = 8,85738 - 0,0046054 n + 6,90585 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0626404 N_{\text{hole}} + 0,0000113792 n N_{\text{hole}} + 0,000297945 N_{\text{hole}}^2. \quad (3.14)$$

$$X_{\text{min}} = 6,00697 - 0,00363865 n + 5,73414 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0385963 N_{\text{hole}} + 0,0000106933 n N_{\text{hole}} + 0,0000802344 N_{\text{hole}}^2. \quad (3.15)$$

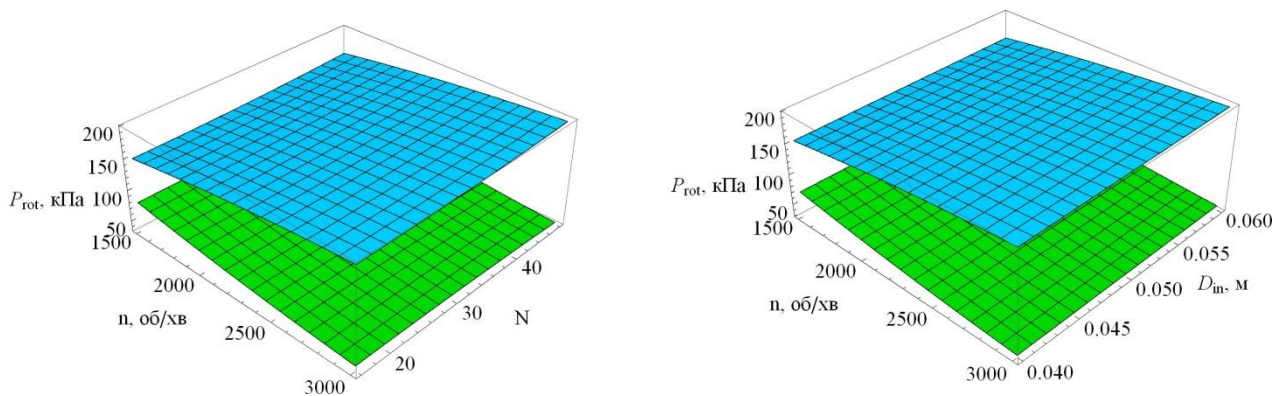


Рисунок 3.10 – Залежність максимального і мінімального тисків рідкої фази суміші у дифузорі $P_{in\ max}$, $P_{in\ min}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

Мінімальне значення числа кавітації і $X_{min} = 0,08$ $X_{max} = 0,57$ досягається при $n = 2725$ об/хв., $D_{in} = 0,049$ м, $N_{hole} = 48$. Фіксуючи почергово фактори досліджень на зазначеному рівні, графічні інтерпретації залежностей (3.14)–(3.15) побудовано на рис. 3.11.

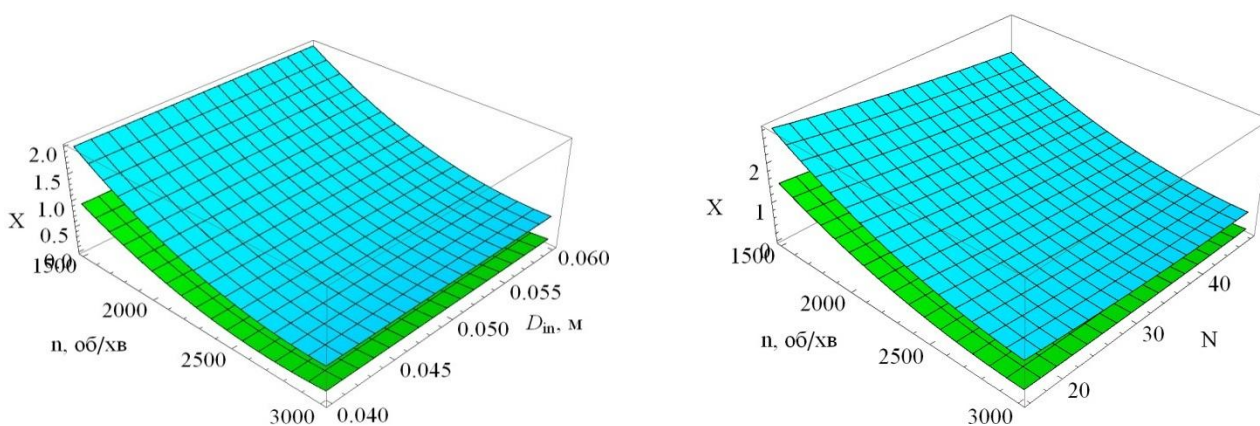


Рисунок 3.11 – Залежність максимального і мінімального числа кавітації X_{min} , X_{max} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

3.4 Висновки з розділу

1. Приведені результати чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+ пропонованого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

дозволяють стверджувати про наявність процесу кавітаційного диспергування і гомогенізації на основі отриманих розподілів і динаміки швидкостей переміщення рідкої фази суміші, тиску і концентрації газоподібної фази рідини в дифузори. Це підтверджує працездатність конструктивно-технологічної схеми розробленого технічного засобу для приготування рідких кормів та свідчить про доцільність подальших його досліджень з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів.

2. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимальної (max) і мінімальної (min) швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі V_{in} і у дифузори V_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max} = 7,3$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 16$. В свою чергу максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max} = 27,5$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.

3. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимального (max) і мінімального (min) тисків рідкої фази суміші у вхідному отворі P_{in} і у дифузори P_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max} = 154,4$ кПа і у дифузори $P_{rot\ max} = 154,4$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.

4. Якісним критерієм оцінки явища кавітації у розробленому обладнанні є максимальне і мінімальне число кавітації X_{max} і X_{min} , яке залежить від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Мінімальне значення числа кавітації і $X_{min} = 0,08$ $X_{max} = 0,57$ досягається при $n = 2725$ об/хв., $D_{in} = 0,049$ м, $N_{hole} = 48$, що відповідає плівковому потоку рідини зі стійким відділенням кавітаційної порожнини від решти суцільного потоку (плівкова кавітація).

4 ВИПРОБУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОР-ГОМОГЕНІЗАТОРА

4.1 Методика розрахунку параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Для кавітаційної обробки кормосуміші найбільш значущими параметрами є: робочий тиск (p_o , кПа); тиск, що розвивається ротором (p_p , кПа), який визначається кутовою швидкістю (ω , s^{-1}), зовнішнім радіусом (R_2 , м) і початковим радіусом установки лопаток (R_1 , м); довжина каналу ротора (l_p , м) і статора (l_c , м); кут нахилу бічних стінок каналу статора (β , °). На ефективність подрібнення більшою мірою впливають такі параметри: ширина каналу статора (a_c , м), окружна швидкість ротора (v_p , м/с), зазор між ротором і статором (δ , м).

Глибина каналу статора (h_c , м), кількість каналів ротора (z_p) і статора (z_c) впливають на подачу диспергатора і визначаються виходячи з необхідної продуктивності установки.

Для забезпечення оптимального режиму кавітації і механічної обробки кормової суміші з гарантованою якістю одержуваного продукту необхідно мати можливість визначати оптимальні значення вищевказаних параметрів в залежності від продуктивності лінії диспергування, а також фізико-механічних властивостей зернової сировини і кінцевого продукту. В результаті рішення поставленої задачі була розроблена методика і алгоритм розрахунку параметрів диспергатора (рис. 4.1).

На першому етапі розрахунку визначають значення параметрів, що впливають на інтенсивність кавітаційної обробки кормосуміші: робочий тиск (p_o , кПа), кутову швидкість (ω , s^{-1}), зовнішній (R_2 , м) і внутрішній (R_1 , м) радіуси ротора, довжину каналів статора (l_c , м) і кут нахилу до бічних стінок (β , °). Оптимальні значення параметрів p_o , l_c і β були отримані в результаті чисельного моделювання.

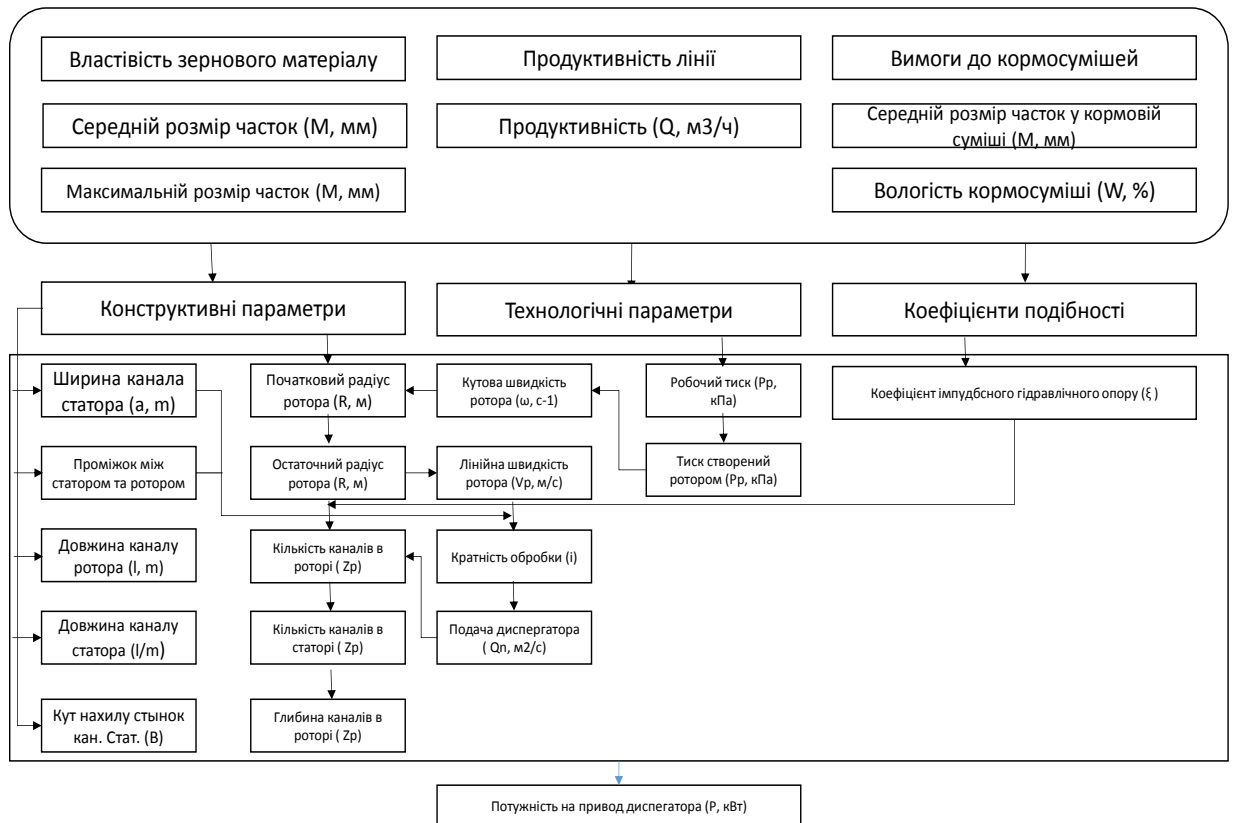


Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку диспергатора

Було встановлено, що максимальна інтенсивності кавітації досягається при мінімальних значеннях p_p , в зв'язку з чим при розрахунку диспергатора доцільно прийняти мінімально можливе значення довжини каналу ротора, обмежується його міцністю. Параметри R_1 , R_2 и ω впливають на величину тиску p_p , створюваного ротором, яке, в свою чергу, утворює перепад тисків $\Delta p = p_p - p_0$ між порожниною ротора і відведенням диспергатора. Беручи до уваги результати попередніх досліджень, оптимальні значення p_p складуть 250-270 кПа. З іншого боку, значення p_p може бути отримано за формулою Ейлера для робочого колеса відцентрового насоса, після перетворення якої можливо визначення взаємопов'язаних параметрів R_1 , R_2 и ω :

$$R_2 = \sqrt{\frac{2(p_p - p_n)}{\rho \omega^2 \eta_r k_d}} + R_1^2, \text{ м}, \quad (4.1)$$

де p_n – статичний тиск в підводі диспергатора, Па;

ρ – щільність кормо суміші, кг/м^3 ;

η_r – гідравлічний к.к.д., $\eta_r = 0,80\text{--}0,96$;

k_d – поправочний коефіцієнт, $k_d \approx 0,8$.

Величина статичного тиску в підводі варіюється в межах 80-110 кПа і залежить від вертикального розташування диспергатора по відношенню до кормоприготувального баку.

Розрахункове значення щільності ρ в раціональних діапазонах варіювання вологості кормо суміші 65–75 % і плющеного зерна 30–40 % знаходиться в межах 1060–1080 кг/м^3 .

З урахуванням вищезазначеного параметра R_2 може бути визначений шляхом підстановки в формулу (4.1) фіксованих значень R_1 .

Продуктивність лінії диспергування Q визначається співвідношенням [12]:

$$Q = \frac{3600 \cdot Q_d}{i_d}, \text{м}^3/\text{ч}, \quad (4.2)$$

де Q_d – подача диспергатора, $\text{м}^3/\text{с}$;

i_d – кратність обробки кормової суміші.

Відповідно до формули (4.2), для забезпечення заданої продуктивності лінії диспергування подача диспергатора повинна дорівнювати:

$$Q_d = \frac{Q i_d}{3600}, \text{м}^3/\text{с}. \quad (3)$$

Кратність обробки i_d приймається виходячи з динаміки зміни середньозваженого діаметра частинок кормосуміші M . Теоретичні дослідження залежності M від конструктивно-технологічних параметрів диспергатора описані в роботі [10], згідно з якими найбільший вплив на ефективність подрібнення частинок зерна в кормо суміші роблять наступні фактори: ширина каналу статора a_c , окружна швидкість ротора v_p і зазор між ротором і статором δ .

Для підвищення ефективності подрібнення плющеного зерна [10] ширину каналу статора a_c доцільно приймати найменшою, дотримуючись при цьому умова його незабиваемості частинками кормової суміші [17]:

$$a_c \geq 0,002m_0^{\max}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

де m_0^{\max} – максимальній розмір часток в сировині, мм.

Наприклад, для диспергування плющеного зерна с $m_0^{\max} = 9$ мм значення $a_c = 0,018$ м.

Величина окружної швидкості v_p після вибора значень ω и R_2 визначається за формулою:

$$v_p = \omega R_2, \text{ м/с.} \quad (4.4)$$

В ході досліджень впливу величини зазору δ на якісні показники роботи диспергатора було встановлено, що найбільша інтенсивність кавітації і кращу якість подрібнення частинок зерна в кормо суміші досягаються при значеннях δ близьких до нуля [10]. У зв'язку з чим при розрахунку диспергатора величина δ приймається мінімально можливою, виходячи з точності виготовлення робочих органів і їх опор. Також слід враховувати, що при диспергування кормо суміші механічного руйнування підлягають тільки ті частинки, розміри яких більше δ , так як в протилежному випадку вони проскочать в зазор між робочими органами без руйнування, тому недоцільно приймати значення δ більше необхідного середньозваженого діаметра частинок в кормо суміші, тобто не більше 0,001 м [9]. Для подальших розрахунків прийнято значення $\delta = 0,0008$ м.

Після визначення значень a_c , v_p и δ проводиться моделювання процесу подрібнення зернового матеріалу з початковим середньозваженими діаметром частинок M_0 за розробленою методикою [10], потім за графіком зміни M визначається необхідна кратність диспергирования i_d .

З іншого боку, подача Q_d може бути визначена з теоретичної залежності [19]:

$$Q_d = \frac{\rho_p - \rho_o \cdot h_c^3 a_c^3 z_p z_c}{2\pi R_2 \rho (1 + \delta) + \zeta_m \zeta_{\text{имп}} v_p} + v_{\text{min}} h_c a_c z_c, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.4)$$

де ρ_o – робочій тиск, Па;

h_c – глибина каналу статора, м;

ρ – щільність кормо суміші, кг/м³;

ζ_m – коефіцієнт гідравлічного опору модулятора [19];

$\zeta_{\text{имп}}$ – коефіцієнт імпульсного гідравлічного опору;

v_{min} – швидкість руху рідини по перекритому каналу статора [19], м/с;

z_p, z_c – відповідно кількість каналів в роторі і статорі;

l_p, l_c – відповідно довжина каналу ротора і статора, м.

В залежність (6) входить три конструктивних параметра z_c, z_p и h_c :

$$h_c = \frac{Q_d}{2\pi R_2 \rho (z_c + l_p + \delta) + \zeta_m \zeta_{\text{имп}} v_p + v_{\text{min}} a_c} \frac{(p_p - p_o) a_c^3 z_p}{}, \text{ м.} \quad (4.5)$$

Значення емпіричного коефіцієнта $\zeta_{\text{имп}}$, що входить до складу формули (4.5), були визначені в ході експериментальних досліджень, з результатів яких випливає, що $\zeta_{\text{имп}}$ знаходиться в залежності від робочого тиску p_o і вологості оброблюваної кормо суміші W .

Виконавши підстановку значень $\zeta_{\text{имп}}$, ζ_m і v_{min} [19] в формулу (4.5), можна визначити параметр $(z_c h_c)$ при різних значеннях z_p . Наступним кроком є визначення глибини каналу статора по співвідношенню $h_c = \frac{z_c h_c}{z_c}$ шляхом підстановки значень z_c .

Потужність на привід подрібнювача-диспергатора може бути представлена у вигляді трьох складових [20]:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{изм}} + P_{\text{вн.тр}} + P_Q, \text{ кВт}, \quad (4.6)$$

де $P_{\text{изм}}$ – потужність на подрібнення частинок зерна в кормо суміші, кВт;

$P_{\text{вн.тр}}$ – потужність на подолання сил в'язкого тертя в зазорі між ротором і статором, кВт;

P_Q – потужність на створення потоку кормо суміші, кВт.

Проведені дослідження [20] складових формули (4.6) показали, що значення $P_{\text{изм}}$ визначаються фізико-механічними властивостями плющеного зерна і кормосуміші, на які, в свою чергу, впливають багато випадкових і неконтрольовані фактори: властивості зернової сировини для плющення (вологість, гранулометричний склад, біологічна стиглість, сорт зерна і т.п.); технологія плющення і консервування (режим роботи плющильного апарату,

застосований консервант); спосіб зберігання плющеного зерна. Таким чином, плющене зерно являє собою вкрай неоднорідне середовище, частинки якої, внаслідок випадкового впливу вищевказаних факторів, мають різні механічні дефекти і, як наслідок, міцність. Даний факт робить нераціональним визначення витрат енергії на подрібнення плющеного зерна з використанням існуючих теорій подрібнення [21].

Потужність на подолання сил в'язкого тертя в зазорі між ротором і статором $P_{\text{вн.тр}}$ може бути визначена за формулою для внутрішнього тертя в паралельно-струмінєвому потоці рідини [20]. До цієї формули входить динамічний коефіцієнт в'язкості, який при диспергуванні кормо суміші буде змінною величиною, так як в зазорі між ротором і статором знаходиться не тільки рідину, а й дрібні частинки зерна, концентрація яких в кормо суміші, а отже, і в зазорі буде збільшуватися по міру руйнування більших частинок.

Підсумувавши вищезазначене, пропонуємо врахувати вплив невідомих $P_{\text{изм}}$ і $P_{\text{вн.тр}}$ емпіричним коефіцієнтом $k_p = \frac{P_{\Sigma}}{P_Q}$, характеризує відношення повної потужності P_{Σ} до потужності потоку P_Q , яка визначається за формулою [22]:

$$P_Q = p_o Q_d / 1000, \text{ кВт}, \quad (4.7)$$

де p_o – робочий тиск диспергатора, Па; Q_d – подача диспергатора, м³/с.

Вищеописана методика і алгоритм розрахунку параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора реалізована в комп'ютерній моделі, що дозволяє значно спростити і автоматизувати роботу конструктора-машинобудівника при проектуванні подібних пристроїв.

4.2 Експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Кавітаційний диспергатор-гомогенізатор призначений для виробництва гомогенних, біологічно активних напіврідких кормосумішей (кормових добавок) підвищеної засвоюваності.

Конструкція кавітаційного диспергатор-гомогенізатора забезпечує якісне приготування напіврідкої кормосуміші з подрібненням та змішуванням кормових компонентів.

Розробка експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора було проведено на основі результатів попередніх теоретичних досліджень результатів чисельного моделювання процесів кавітаційно-диспергаційної обробки кормових компонентів в рідкому середовищі.

Експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора повинен виконувати наступні технологічні операції:

- приймання компонентів кормосуміші;
- грубе (попереднє) подрібнення компонентів кормосуміші;
- тонке подрібнення (диспергацію) компонентів кормосуміші;
- підігрівання і знезаражування компонентів кормосуміші;
- вивантаження готового рідкого корму.

За представленими задачами було виготовлено конструкторську документацію на експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора. Робочі креслення елементів і вузлів експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора приведено в додатку А. В свою чергу його 3D модель наведено на рис. 4.2.

Зборка ротора, статора і вала приведена на рис. 4.3.

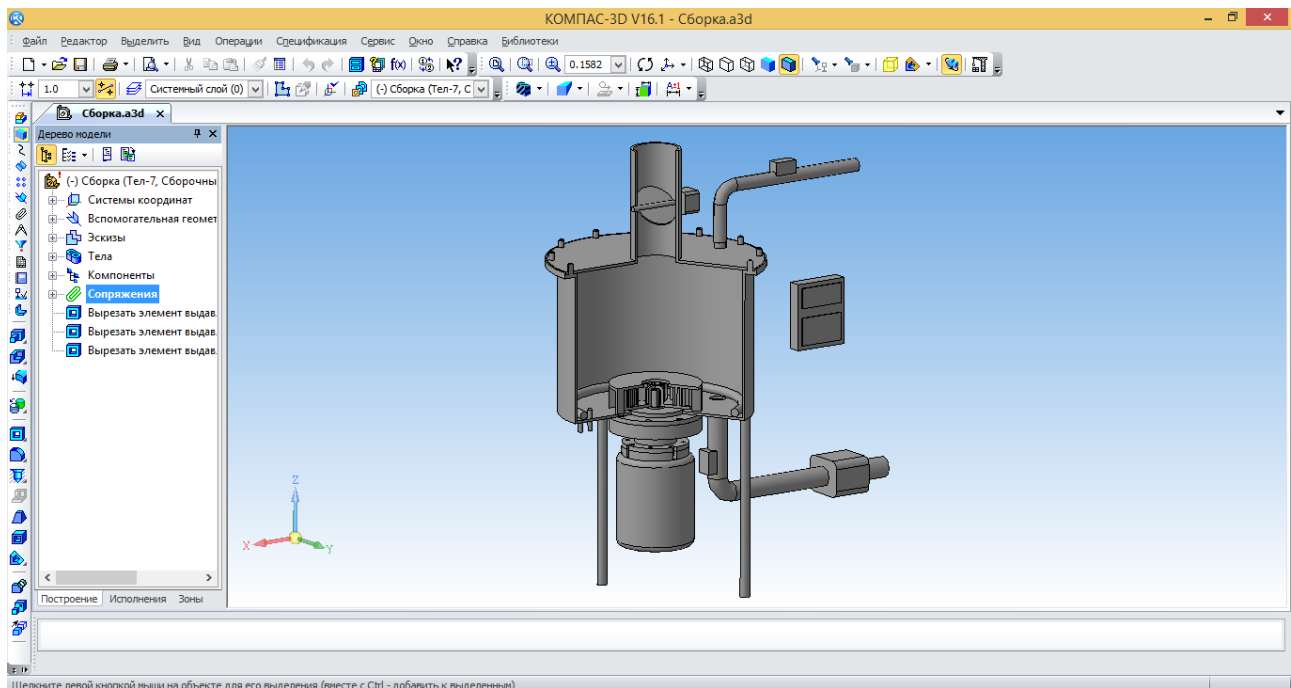


Рисунок 4.2 – 3D модель экспериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, розроблена з використанням програмного забезпечення КОМПАС-3D

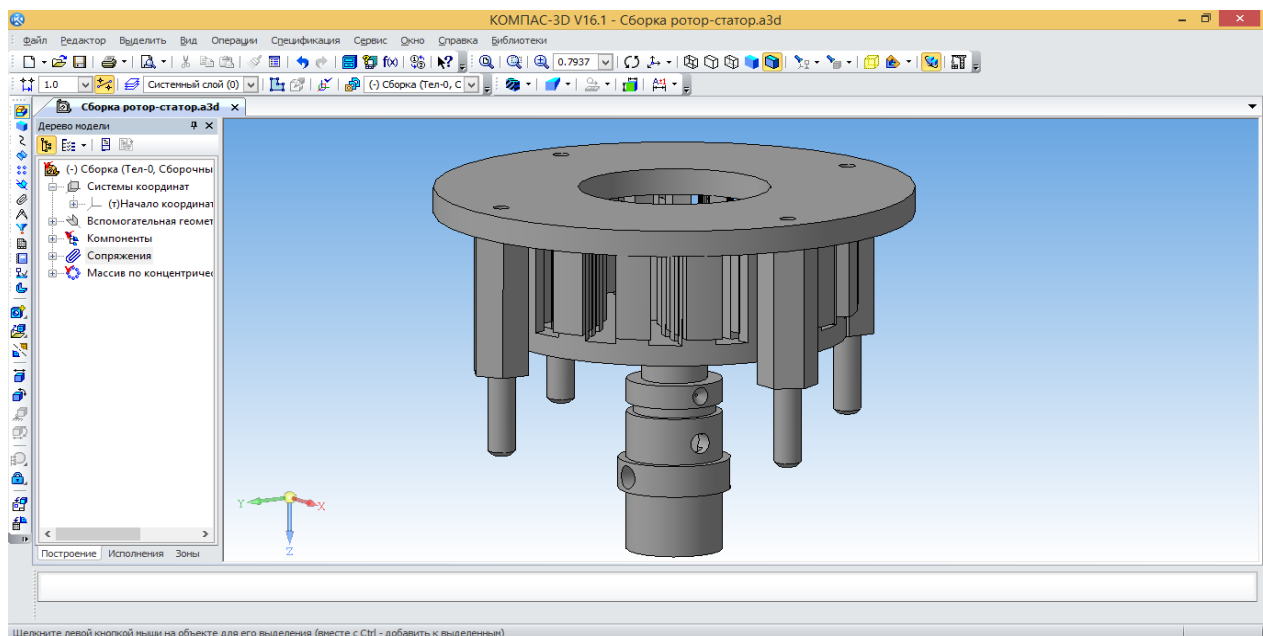


Рисунок 4.3 – 3D модель зборки ротора, статора і вала кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, розроблена з використанням програмного забезпечення КОМПАС-3D

Кавітаційний диспергатор-гомогенізатора повинен мати наступні технічні характеристики які представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

№ п/п	Показники	Одиниця виміру	Значення ТД дослідні
1	Тип виробу	-	стаціонарний
2	Габаритні розміри: - довжина - ширина - висота	мм	400 500 830
3	Маса	кг	70,0
4	Ємність робочого резервуару	м ³	0,025
5	Встановлена потужність приводу	кВт	2,2
6	Частота обертів робочого органу	об/хв	3000
7	Продуктивність	кг/год	до 50
8	Живлення	В	380

Для проведення випробувань було виготовлено експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора. Процес виготовлення ротора і статора на фрезерному станку з числовим програмним керуванням представлений на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Процес виготовлення ротора і статора експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора на фрезерному станку з числовим програмним керуванням

В зібраному вигляді експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора представлено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

4.3 Висновки з розділу

1. Запропонована методика та алгоритм розрахунку конструктивно-технологічних параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, яка базується на результатах попередніх досліджень технології диспергування плющеного зерна і робочого процесу кавітації. При визначенні конструктивно-технологічних параметрів обладнання в якості вихідних даних приймається продуктивність лінії диспергування і фізико-механічні властивості сировини і

кінцевого продукту, що розширює сферу застосування розробленої методики, а її реалізація у вигляді комп'ютерної моделі спрощує весь процес розрахунку.

2. Розроблена конструкторська і технічна документація на експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який призначений для виробництва гомогенних, біологічно активних напіврідких кормосумішей (кормових добавок) підвищеної засвоюваності.

3. Згідно технічних даних приведених в попередніх розділах розроблено і виготовлено експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.

5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА РІДКИХ КОРМІВ

5.1 Визначення шкідливих факторів під час виробництва рідких кормів

Під час виробництва рідких кормів виникають такі шкідливі фактори: запиленість робочого приміщення, підвищеній рівень вібрацій, який виникає внаслідок використання механічних приладів, можливість ураження струмом працівників.

5.2 Шляхи запобігання ураженням

Для запобігання дії шкідливих факторів на організм людини потрібну дотримуватись певних правил. Так для зменшення дії запилення потрібно обладнувати приміщення повноцінним і задовольняючими умовами системами вентиляції. Для зменшення рівня шкідливих вібрацій прийнято встановлювати механічні пристрої на спеціальні резинові віброопори і слідкувати за їх зносом. Для запобігання ураження людей струмом необхідно встановлювати заземлення за стандартами і слідкувати за його працездатністю, а також обмежувати доступ до місць з підвищеною небезпекою ураження струмом [67].

5.3 Вимоги безпеки праці при роботі з диспергатором рідких кормів

До роботи в кормоцеху для термічної обробки кормів допускаються особи, що не мають медичних протипоказань, пройшли виробниче навчання вступний і первинний на, робочому місці інструктаж по охороні праці і мають першу кваліфікаційну групу по електробезпеці [68].

До самостійної роботи працюючі допускаються після проходження протягом двох-п'яти змін стажування під керівництвом керівника робіт або

досвідченого працівника і оволодіння навиками безпечного виконання технологічних операцій.

Необхідно дотримуватись правил внутрішнього розпорядку. Не допускається присутність в робочій зоні сторонніх, розлиття спиртних на-поїв, куріння, робота в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння, в хворобливому чи стомленому стані. Працюючий повинен виконувати ту роботу, по якій пройшов інструктаж, на яку видане завдання, не передоручати свою роботу іншим особам. При виконанні роботи кількома особамизначається старший [65].

В кормоцехах до основних травмуючих і шкідливих виробничих факторів по відношенню до яких слід дотримуватись обережності, відносяться:

- рухомі транспортні засоби, переміщувані вантажі, падіння корму і предметів, включаючи відлетівши осколки; електрострум;
- нагріті частини обладнання, гаряча вода, пар і інші термічні фактори;
- хімічні і токсичні речовини, що можуть викликати опіки і отруєння.

При роботі з аміачною водою слід користуватися шланговим протигазом або респіратором з патроном марки "КД". На цементній підлозі біля робочих місць повинні бути дерев'яні підніжні решітки. При змінній роботі прийняти робоче місце. Упевнитись в справності; машин, інструментів, обладнання. Ручки інструменту, корзин, відер і т.д. повинні бути цілими, без заусенців і гострих частин. Не допускається використання тари з виступаючими гвіздками, кінцями дроту, зломами дощок. Перевірити відсутність в штуцерах, кранах, вентилях, люках. Перевірити роботу вентиляції в приміщеннях [64].

Вимоги безпеки під час роботи

Перед пуском в роботу обладнання кормоцеху необхідно впевнитися в тому що на ньому не проводяться роботи, подати сигнал і запустити машини на холостому ході.

подавати корм в машину слід рівномірно. Слідкувати, щоб з кормом в машину не потрапили сторонні предмети.

Проштовхувати корм в горловину прийомного бункера і т.д. працюючої машини можна тільки з допомогою проштовхувача з ручкою не менше їм.

Під час роботи кормодробарки не можна стояти проти люка викидання маси.

При забиванні кормодробарки кормом слід зупинити її, відключити електроенергію, повісити на пускач табличку "Не включати! Працюють люди!" і провести очищення.

Регулярно оглядати резервуари і арматуру (клапани, вентиля, водомірні труби) і візуально перевіряти їх герметичність.

Розлиті на підлозі вода, масло, горючі та інші продукти повинні негайно прибиратись або посипатись піском чи тирсою і прибиратись.

Прибирання розлитих кислот, лугів, приготування дезінфікуючих розчинів виконувати в фільтруючих протигазах з коробкою марки "В".

Слідкувати за справністю вантажопідйомних машин при наявності 10% обірваних дротин на одному кроці витка або при зношенні більше 20% первинного діаметра ланцюга слід провести їх заміну.

Вантажні роботи проводити під керівництвом старшого (того, хто керує механізмом). При цьому не можна знаходитись під піднятим вантажем та в місцях можливого падіння предметів.

Перед відкриванням бортів кузова транспортних засобів, впевнитись в безпечному розміщенні вантажу.

Тяжкі довгі і небезпечні вантажі при відсутності засобів механізації або неможливості їх застосування необхідно переміщувати вдвох, а при необхідності і більшою кількістю працюючих.

Скляну тару з агресивними рідинами переміщувати в міцних корзинах з двома ручками.

При роботі транспортерів, запарників-змішувачів не допускати їх перевантаження, а також потрапляння на них сторонніх предметів чи інструменту.

Перевірити щільність закриття заслінки вивантажувача шнека.

Після завантаження кормом місткості змішувача (варочного котла) щільно закрити завантажувальний люк.

Подачу пару проводити при щільно закритих кришках горловин люків при постійному контролі тиску і герметичності.

Не залишати працюючі запарники-змішувачі, варочні котли, транспортери без нагляду і не передоручати нагляд за ними будь-кому без дозволу керівника робіт.

Перед відкриванням кришки запарника-змішувача (варочного котла) закрити паровий вентиль на вході в місткість і знизити тиск до атмосферного. Надіти окуляри, рукавиці і фартух. Прочистити отвір для злиття конденсату і впевнитись, що конденсат і пар виходять з нього без тиску. Відкривати кришку слід обережно, стоячи збоку.

При зливанні конденсату з запарника-змішувача стежити, щоб проти зливного отвору не було людей.

Стежити, щоб кормова суміш не падала на підлогу чи настил робочої площадки змішувача. Впавший корм негайно прибрати, а слизьку підлогу посипати піском чи тирсою і потім очистити.

При сильному пароутворюванні під час вивантаження кормів із змішувачів-запарників і нарочних котлів забезпечити інтенсивну вентиляцію приміщення.

Роботи всередині місткостей змішувачів (варочних котлів) проводяться тільки з дозволу керівника робіт по наряду-допуску. Перед початком роботи проводяться заходи для недопущення пуску змішувача: знімаються запобіжники, приводний пас (ланцюг), виключається муфта змішувача.

При розбиранні гарячої води, агресивних рідин необхідно стежити, щоб не було їх розбризкування, переносити в тарі закритій кришкою, користуватися засобами захисту (окуляри, рукавиці, фартух, чоботи, протигаз).

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

При виникненні аварійних ситуацій обслуговуючий персонал повинен негайно вжити заходів по зупинці обладнання кормоцеху в порядку передбаченому правилами експлуатації, в першу черг1}' відключивши подачу електроенергії, пару, води.

При відсутності небезпеки для здоров'я і життя, персонал повинен вжити заходів для відокремлення і усунення можливості розвитку аварійної ситуації. При наявності небезпеки, залишити небезпечну зону, попередивши працюючих, що знаходяться поблизу.

Забороняється проводити ремонт і усунення несправності обладнання в аварійній ситуації без зупинки обладнання.

При нещасних випадках в першу чергу слід усунути небезпечний фактор (перекривається подача пару, відключається електроенергія, зупиняють рухомі механізми обладнання і т.д.), потім слід подати потерпілому долікарську допомогу і направити його в медпункт. По можливості зберегти до розслідування стан на робочому місці таким, яким він був в момент пригоди (якщо це не загрожує життю і здоров'ю працюючих і не порушує безперервності технологічного процесу).

В місцях роботи з зрідженим аміаком і аміачною водою повинна бути медаптечка в комплекті якої обов'язково повніші бути дві кисневі подушки, вазелін і вазелінова або оливкова олія, 0,5-1 % розчин квасців, 5 % розчин борної, оцтової чи соляної кислоти, бинт, вата, питна вода, сода, грілки і йодна настойка.

Ремонт, огляд і очищення зсередини закритих місткостей, а також зварні роботи в кормоцеху проводяться спеціально навченим персоналом з видачею наряда-допуску.

Ремонт електрифікованого обладнання проводиться після відключення його від джерел живлення, закриття трубопроводів, заглушок, засувки, а на засобах керування вивішують таблички "Не включати! Працюють люди!"

Ремонт і огляд пустої місткості, трубопроводу і арматури для аміачних розчинів проводять спеціалісти, що знають правила поводження з аміаком, аміачною водою і атестовані.

Перед виконанням робіт по внутрішньому огляду і ремонту резервуара і арматури з-під аміачної води необхідно:

– відключити (зняти або заглушити) всі трубопроводи, в яких може бути аміачна вода або пари аміаку;

- резервуар спорожнити, бруд і інші домішки ретельно змити;
- залишки парів аміаку з резервуарів видалити продувкою водяним паром чи повітрям, подаючи його в нижню частину резервуару при відкритому верхньому люку;
- після продування люк залишити відкритим до повного видалення парів аміаку;
- відсутність парів аміаку перевірити газоаналізатором.

Для освітлення при роботах всередині апаратів застосовувати тільки вибухозахищені світильники напругою не більше 12 В.

Слюсарний і такелажний інструмент, що використовується при ремонті обладнання і трубопроводів повинен виключати іскроутворення.

До робіт всередині місткостей, контролюємих органами Держгіртехнагляду, допускаються лише зварники, що мають посвідчення на право зварювання посудин, що працюють під тиском.

Всередині місткості електрозварник повинен працювати по наряду-допуску в відповідних засобах захисту, в діелектричних рукавицях, калошах а також в підлокітниках і наколінниках та в шланговому протигазі, одягти рятувальний пояс і страховочну мотузку. Страховку здійснюють керівник робіт і ще один працюючий, що знаходиться біля люка місткості, тримаючи в руках кінець рятувальної мотузки, стежачи за працюючим.

Відремонтване обладнання повинно бути випробуване. Дозвіл на його експлуатацію дається відповідальною особою з записом в журналі обліку роботи.

При виявленні пожежі чи загорання, слід негайно повідомити в ПСО і керівника виробничої дільниці; подати звуковий сигнал тривоги і приступити до гасіння підручними засобами. При необхідності, організувати евакуацію з небезпечної зони людей, тварин, цінностей.

При гасінні пожежі слід стежити, щоб не проявлялись інші фактори (вибухи, обвали, замикання електромережі). При горінні скерт, тюків (вибухи, обвали, замикання електромережі). При горінні скерт, тюків і т.д. їх розтягують і гасять по частинах.

Легкозаймісті рідини (бензин, гас і т.д.) гасять вогнегасником, направляючи струмінь під основу полум'я або закидають палаючу поверхню піском, землю чи накривають мокрим брезентом.

Сіно, солом'я і т.д. гасять водою, накривають кошмою, мокрим брезентом, закидають піском чи землею.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

По закінченню роботи в кормоцеху виключити електроживлення, перекрити подачу палива. Впевнитись у відсутності вогню і високих температур на частинах обладнання.

Провести прибирання приміщення.

Зробити запис в журналі обліку роботи про стан обладнання і передачі зміни.

5.4 Висновки з розділу

Для забезпечення виконання вимог охорони праці на виробництві під час використання диспергатора рідких кормів, необхідно дотримуватись установлених правил експлуатації обладнання сільського господарства, а також правил використання електроустановок. При цьому новий персонал повинен проходити початковий інструктаж, черговий інструктаж, та позаплановий інструктаж в раз виникання надзвичайних ситуацій та зміни обладнання.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРГАТОРА РІДКИХ КОРМІВ

6.1 Вихідні дані

Економічна ефективність від використання розробленого роторно-кавітаційного диспергатора була розрахована у порівнянні з АКГСМ «Мрія-04». Продуктивність АКГСМ «Мрія-04» складала 110 кг/год, а розробленого роторно-кавітаційного диспергатора – 120 кг/год. При цьому питома енергоємність процесу кавітаційної обробки складала: АКГСМ «Мрія-04» – 32 Вт·год/кг, розроблений роторно-кавітаційний диспергатор – 27,5 Вт·год/кг.

Розрахунок показників економічної ефективності використання розробленого роторно-кавітаційного диспергатора проводився відповідно до галузевого стандарту України ДСТУ 4397-2005 на основі результатів експериментальних досліджень [, , , ,].

За критерій ефективності були прийняті приведені витрати на одиницю напрацювання, як оціночні показники – прямі експлуатаційні витрати, річний економічний ефект за термін служби техніки, витрати праці й енергоресурсів на одиницю напрацювання.

Для 1 свині при відгодівлі необхідно в середньому 2,5 кг/добу кормів. Для ферми 4000 голів із замкненим циклом виробництва на 1 рік необхідно $4000 \text{ (голів)} \cdot 2,5 \text{ (кг/добу)} \cdot 365 \text{ (діб)} = 3650000 \text{ кг кормів}$.

Враховуючи встановлену продуктивність загальний час роботи АКГСМ «Мрія-04» складає 33181 год, а розробленого роторно-кавітаційного диспергатора – 30417 год.

Для технічного обслуговування розробленого і базового диспергаторів необхідно 1 людина, які працюють один раз в місяць, тобто 96 год.

Враховуючи металоємність диспергаторів і складність їх виготовлення преїскурантна (відпускна) ціна розробленого складає 190000 грн., а базового гравітаційного дозатора – 100000 грн.

Якість кормів отриманих від розробленого і базового варіантів є однаковою відповідно до проведених випробувань.

6.2 Питомі експлуатаційні витрати

Прямі експлуатаційні витрати розрахуємо за виразом:

$$Z = Z_o + Z_a + Z_r + Z_e, \quad (6.1)$$

де Z_o – оплата праці працівників зайнятих обслуговуванням машини, грн.;

Z_a – амортизаційні відрахування на капітальний ремонт, грн.;

Z_r – відрахування на ТО і ремонт, грн.;

Z_e – витрати на електроенергію та паливо-мастильні матеріали, грн.,

Експлуатаційні витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$Z_o = n \cdot f \cdot \delta \cdot D, \quad \text{грн}; \quad (6.2)$$

де $n = 1$ – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн/год. Приймаємо $f = 35$ грн/год;

$\delta = 1,372$ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

D – тривалість виконання певних робіт з обладнанням протягом періоду відгодівлі, год.

Тоді оплата праці становитиме

для базового варіанту:

$$Z_o = 1 \cdot 35 \cdot 1,372 \cdot 96 = 4099,2 \text{ грн.}$$

для проектного варіанту:

$$Z_o = 1 \cdot 35 \cdot 1,372 \cdot 96 = 4099,2 \text{ грн.}$$

Балансова вартість визначається за виразом:

$$C = n \cdot C_{\text{прс}} \cdot (1 + \varepsilon + \mu), \quad \text{грн.} \quad (6.3)$$

де n – кількість машин чи обладнання, шт;

$C_{\text{прс}}$ – прејскурантна (відпускна) ціна машини, грн.;

ε і μ – коефіцієнти, що враховують частку витрат від вартості обладнання на його транспортування та монтаж, відповідно. $\varepsilon = 0,13$, $\mu = 0,12$.

Для базового варіанту:

$$C = 1 \cdot 100000 \cdot (1 + 0,13 + 0,12) = 125000 \text{ грн.}$$

Для проектного варіанту:

$$C = 1 \cdot 190000 \cdot (1 + 0,13 + 0,12) = 237500 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на капітальний ремонт підраховуємо за формулою

$$Z_a = \frac{C \cdot A}{100}, \text{ грн;} \quad (6.4)$$

де C – балансова вартість машини, грн.;

A – нормований коефіцієнт відрахувань на амортизацію машин та обладнання, %. На даний час $A = 15\%$.

Для базового варіанту:

$$Z_a = 125000 \cdot 0,15 = 18750 \text{ грн.}$$

Для проектного варіанту:

$$Z_a = 237500 \cdot 0,15 = 35625 \text{ грн.}$$

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом:

$$Z_r = \frac{C \cdot \beta}{100}, \text{ грн;} \quad (6.5)$$

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт обладнання та машин, $\beta = 15\%$.

Для базового варіанту:

$$Z_a = 125000 \cdot 0,15 = 18750 \text{ грн.}$$

Для проектного варіанту:

$$Z_a = 237500 \cdot 0,15 = 35625 \text{ грн.}$$

Витрати електроенергії для дозаторів розраховуємо за формулою:

$$Z_e = N \cdot n \cdot D \cdot C_e, \text{ грн;} \quad (6.7)$$

де N – потужність, що споживається диспергатором, кВт;

$n = 1$ – кількість технічних засобів, шт;

C_e – ціна 1 кВт електроенергії, грн.

D – тривалість роботи протягом року.

Для базового варіанту:

$$Z_E = 32 \cdot 1 \cdot 2,7 \cdot 33181 = 2866838,4 \text{ грн.}$$

Для проектного варіанту:

$$Z_E = 27,5 \cdot 1 \cdot 2,7 \cdot 30417 = 2258462,25 \text{ грн.}$$

Прямі загальні експлуатаційні витрати для базового варіанту складуть:

$$Z = 4099,2 + 18750 + 18750 + 2866838,4 = 2908437,6 \text{ грн.}$$

Прямі загальні експлуатаційні витрати для проектного варіанту складуть:

$$Z = 4099,2 + 35625 + 35625 + 2258462,25 = 2333811,45 \text{ грн.}$$

Питомі експлуатаційні витрати на 1 голову складуть

для базового варіанту: $Z_{\text{п}} = 2908437,6 / 4000 = 727,1 \text{ грн./голову}$

для проектного варіанту: $Z_{\text{п}} = 2333811,45 / 4000 = 583,45 \text{ грн./голову}$

6.3 Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності додаткових капіталовкладень

Так як якість одержаної кормової суміші однакова, то додаткового економічного ефекту немає.

Провівши розрахунки експлуатаційних витрат для розробленого диспергатора можна визначити економічний ефект від його впровадження за 1 рік, який становить:

$$E_{\text{е.п}} = D - (Z_{\text{п}} - Z_{\text{б}}) = 0 - (2333811,45 - 2908437,6) = 574626,15 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

Строк окупності капітальних вкладень за прийнятим нами варіантом при його впровадженні становить

$$T = (C_{\text{п}} - C_{\text{б}}) / E_{\text{е.п}} = (237500 - 125000) / 574626,15 = 0,195 \text{ року.} \quad (6.10)$$

Усі показники економічної ефективності, розраховані за 1 рік зведемо в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Показники економічної ефективності роторно-кавітаційного диспергатора

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
1	2	3
1. Поголів'я, голів	4000	4000
2. Річні витрати кормів, кг	3650000	3650000
3. Обслуговуючий персонал дозатора, люд	1	1
4. Капітальні вкладення, грн.	100000	190000
5. Прямі експлуатаційні витрати, грн.	2908437,6	2333811,45
в тому числі:		
заробітна плата працівників	4099,2	4099,2
амортизаційні відрахування	18750,00	35625,00
відрахування на ремонт і т.о.	18750,00	35625,00
витрати на електроенергію	2866838,4	2258462,25
6. Річний економічний ефект, грн.	–	574626,15
7. Строк окупності додаткових капітальних вкладень, роки	–	0,195

6.4 Висновки з розділу

В результаті розрахунку додаткового економічного ефекту та загальних експлуатаційних витрат розробленого роторно-кавітаційного диспергатора, встановлено строк окупності додаткових капітальних вкладень – 0,195 року, та річний економічний ефект від удосконалень – 574626,15 грн.

ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу літературних джерел і публікацій встановлено, що: виробництво рідких кормів і кормових добавок на основі кавітаційної диспергації є ефективним, з точки зору економіки, передовим методом, що забезпечує покращення біологічних і хімічних якостей кормів; метод дозволяє застосовувати весь спектр компонентів рослинної сировини; отримати гомогенну рідку кормову суміш з добрими органолептичними якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини тощо); кавітаційна обробка надає м'яку дію на протеїновий комплекс рослинної сировини, що забезпечує високий ступінь емульгації жирів, який призводить до збільшення його перетравлюваність тваринами (на 6,3 %); збільшується екстракція біологічно активних речовин та розчинних білків; можна стверджувати про високу ефективність кормів, які біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.

2. В результаті патентного пошуку поставлено задачу створення такого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який дозволяє одночасно виконувати технологічні процеси диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі з більш високою продуктивністю, якістю і меншими енерговитратами. Проведено обґрунтування конструктивно-технологічної схеми роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який містить робочу камеру, кришку, вихідний патрубок, вхідні патрубки для сипких і рідких компонентів, статор із дифузорами і наскрізним отвором, ротор із резонаторами, лопатками і валом, підшипниковий вузол та електродвигун. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса.

3. На основі нестационарного рівняння Бернуллі запропонована математична модель руху кормової суспензії в каналах кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, що враховує вплив частинок корму на гідравлічний

опір переходу між каналами ротора і статора. Запропоновано алгоритм наближеного розрахунку значень коефіцієнта, що враховує ступінь блокування прохідного перетину між каналами частинками оброблюваного матеріалу. Обґрунтовано метод чисельного рішення нестационарного рівняння Бернуллі із застосуванням систем комп'ютерної алгебри Mathcad, що дозволяє визначати гідродинамічні параметри потоку кормової суспензії і подачу кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.

4. Приведені результати чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+ пропонованого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора дозволяють стверджувати про наявність процесу кавітаційного диспергування і гомогенізації на основі отриманих розподілів і динаміки швидкостей переміщення рідкої фази суміші, тиску і концентрації газоподібної фази рідини в дифузори. Це підтверджує працездатність конструктивно-технологічної схеми розробленого технічного засобу для приготування рідких кормів та свідчить про доцільність подальших його досліджень з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів.

5. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимальної (max) і мінімальної (min) швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі V_{in} і у дифузори V_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max} = 7,3$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 16$. В свою чергу максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max} = 27,5$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.

6. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимального (max) і мінімального (min) тисків рідкої фази суміші у вхідному отворі P_{in} і у дифузори P_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному

отворі $P_{in\ max} = 154,4$ кПа і у дифузорі $P_{rot\ max} = 154,4$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.

7. Якісним критерієм оцінки явища кавітації у розробленому обладнанні є максимальне і мінімальне число кавітації X_{max} і X_{min} , яке залежить від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Мінімальне значення числа кавітації і $X_{min} = 0,08$ $X_{max} = 0,57$ досягається при $n = 2725$ об/хв., $D_{in} = 0,049$ м, $N_{hole} = 48$, що відповідає плівковому потоку рідини зі стійким відділенням кавітаційної порожнини від решти суцільного потоку (плівкова кавітація).

8. Розроблена конструкторська і технічна документація на експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який призначений для виробництва гомогенних, біологічно активних напіврідких кормосумішей (кормових добавок) підвищеної засвоюваності. Згідно технічних даних приведених в попередніх розділах розроблено і виготовлено експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.

9. В результаті розрахунку додаткового економічного ефекту та загальних експлуатаційних витрат розробленого роторно-кавітаційного диспергатора, встановлено строк окупності додаткових капітальних вкладень – 0,195 року, та річний економічний ефект від удосконалень – 574626,15 грн.

Список використаної літератури

1. Резнікова Н.В., Панченко В.Г. Цілі сталого розвитку: Дніпро-2030. Регіональна доповідь [Електронний ресурс]. 2018. 154 с. Режим доступу: <http://dda.dp.ua>.
2. Шацкий В. В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов. Запорожье: 1998. 139 с. ISBN 966-05291-3-1.
3. Черновол М., Свірень М., Кісільов Р. Приготування кормових сумішей комбінованим змішувачем. Вісник аграрної науки. 2018. № 2 (779). С. 54-59. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201802-09>.
4. Зайцев В.В., Константинов В.А., Корнилова В.А. Эффективность использования экструдированных комбикормов-концентратов в кормлении коров. Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 10 (41). Часть 3. С. 28-31. DOI: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.097>.
5. Olga Chalaya, Alexander Nanka, Andriy Paliy, Sergey Nagornij, Oleksandr Chalyi. Study of quality indicators for meat raw materials and the effectiveness of a protective technological method under conditions of different content of heavy metals in a pig diet. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol 4, No 11 (100). P. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174154.
6. Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури) / [І. А. Шевченко, О. І. Поляков, К. В. Ведмедєва, І. Б. Комарова] ; Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя : СТАТУС, 2017. 40 с. ISBN 978-617-7353-53-УШ.
7. Льон олійний, гірчиця. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури) / [І.А. Шевченко, В.О. Лях, О.І. Поляков, А.І. Сорока, К.В. Ведмедєва, В.М. Журавель, Ю.О. Махно, Т.Г. Товстановська, Г.І. Буділка]; Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя : СТАТУС, 2017. 44 с. ISBN 978-617-7353-73-VI.

8. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива: Науково-методичні рекомендації. Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя: СТАТУС. 2017. ISBN 978-617-7353-59-0.

9. Скрыль И. И., Ковальчук А. Н. Кавитационная технология и оборудование для производства жидких кормов. Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», 15 октября 2011 г. Красноярск. КГАУ, 2011.

10. Vykov A.V., Kvan O.V., Sizentsov A.N., Mezhueva L.V., Rusyaeva M.L., Sizentsov Y.A. Development of the technology of receiving fodder products on the basis of ultrasonic impact on cellulose containing and fatty waste. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. 80(3).P. 236-242. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-236-242.

11. Шевченко І. А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва високозасвоєваних кормів. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». Вип. 43. Ч.1. Кіровоград: КНТУ, 2013. С.179-184.

12. Павліченко В. М., Троїцька О. О., Лиходід В. В. Обґрунтування техніко-технологічних основ енергоощадного виробництва кормової добавки на основі рослинної сировини. Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць. Ін-т мех тваринництва НААН. Запоріжжя, 2012. Вип. 1 (9). С. 10-21.

13. Павліченко В. М., Лиходід В. В., Луц П. М., Січкарь А. В., Доруда С. О. Обґрунтування оптимальних режимів роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора при подрібненні рослинних кормів. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ

«Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». Вип. 44. Ч.1. Кіровоград: КНТУ, 2014. С.252-258.

14. Братишко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбікормів гвинтовими грануляторами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2017. 397 с.

15. Шевченко І., Шацький В., Махмудов І. Сучасні технології забезпечення тваринництва екологічно чистими кормами. Агро перспектива. 2009. № 11(107). С. 74-78.

16. Адамчук В. В., Братишко В. В., Кудринецкий Р. Б. и др. Механизация и автоматизация производства молока. Под общ. ред. В. В. Адамчука, А. И. Фененко. Нежин: ЧП Лысенко Н.М. 2013. 324 с.

17. Система технологій та машин для виробництва молока і яловичини. За ред. М. В. Присяжнюка, В. Ф. Петриченка. К.: Аграрна наука, 2013. 336 с.

18. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М.Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: «Вебер», 2008. 758 с. ISBN 978-966-335-206-0.

19. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 678 с.

20. Тимофеев Н. П. Растительный белок и регуляция его уровня в кормопроизводстве [Интернет ресурс]. Агенство научно-технической информации. Научно-техническая библиотека: статьи и публикации. Источник: SciTecLibrary.ru, 2003. Режим доступа: <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6494.html>.

21. Производство белковых кормов и добавок к ним на основе кавитационного измельчителя [Интернет ресурс] / Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Внешнеэкономическое Объединение. Сайт ФГУП “Лицензинторг”, 2012 Режим доступа: http://www.licenz.ru/protein_feed.html.

22. Алієв Е. Б., Луц П. М., Верета В. В. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми роторно-кавітаційного диспергатора кормосумішей.

Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України». 21 листопада 2019 року. м. Ніжин. С.15-23.

23. Минзанова С. Т., Миронов В. Ф., Соснина Н. А., Выштакалюк А. Б. Технологические аспекты получения кормовых добавок из амаранта. Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова. КазНЦ РАН. 2000-2012. Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com/docs/index-66067.html>.

24. Антонюк А. П. Технология производства белково-витаминных минеральных кормовых добавок из отходов пищевой и перерабатывающей промышленности. Материалы международной конференции "Инновационные пути развития свиноводства в России" ("Свиноводство – 2011"). Международная промышленная академия, 14-16 ноября 2011 г., Пищепромиздат, 2011.

25. Ковалёв А. В. Технология влажного гомогенного кормления сви-ней, как инструмент повышения рентабельности и конкурентоспособности промышленных свинокомплексов. Материалы международной конференции "Инновационные пути развития свиноводства в России" ("Свиноводство – 2011"). Международная промышленная академия, 14-16 ноября 2011 г. Пищепромиздат, 2011.

26. Мещеряков И.В., Анушенков А.Н. Некоторые принципы изучения многоступенчатого проточного устройства гидроударно-кавитационного – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s008/s008-014.pdf>.

27. Патент на винахід 65406 UA, МПК В01F 7/00 (2006), В01F 13/06 (2006.01). Роторний гомогенізатор. Вин.: Долінський А. А., Басок Б. І., Кравченко Ю. С., Гартвіг А. П., Коба А. Р., Піроженко І. А. Заяв.: Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України. № 2003087330. Заявл. 04.08.2003. Опубл. 16.01.2006. Бюл. № 1.

28. Патент на корисну модель 97802 UA, МПК (2015.01) В01F 7/00. Роторний кавітаційний диспергатор. Вин.: Лиходід В. В., Забудченко В. М., Луц П. М., Доруда С. О., Лисенко Д. М. Заяв.: Запорізький науково-дослідний центр з

механізації тваринництва національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" НААН України. № у 2014 10048. Заявл. 12.09.2014. Опубл. 10.04.2015. Бюл. № 7.

29. Деклараційний патент на винахід 57304 UA, МПК 7 A01J11/16. Насос-гомогенізатор. Вин.: Гвоздев О. В., Кокоулін Е. П. Заяв.: Таврійська державна агротехнічна академія. № 2002076305. Заявл. 29.07.2002. Опубл. 16.06.2003. Бюл. № 6.

30. Червяков, А.В. Повышение качества обработки плющеного зерна при производстве жидких кормовых смесей / А.В. Червяков, П.Ю. Крупенин // Наука. Образование. Технологии-2009: материалы II Междунар. научно-практической конф., Барановичи, 10—11 сентября 2009 г. / УО "БарГУ". – Барановичи: РИО БарГУ, 2009. - Ч. 1. - С. 237-239.

31. Промтов М.А. Апарати пульсацій роторного типу: теорія і практика. М.: Машинобудування, 2001. З. 76-134.

32. Червяков, А. В. Оптимізація параметрів роторно-імпульсного кавітаційного апарату для інтенсифікації диспергування кормових сумішей / А. В. Червяков, П. Ю. Крупенін // Укр. Білорус. держ. с.-г. акад. - 2014. - № 2. - С. 194-198.

33. промт, М. А. Методи розрахунку характеристик роторного імпульсного апарату: монографія / М. А. промт, А. Ю. Степанов, А. В. Альошин. - Тамбов: ТДТУ, 2015. - 148 с.

34. Червяков, А. В. Вплив конструктивно-технологічних параметрів на подачу роторно-імпульсного кавітаційного диспергатора кормів / А. В. Червяков, С. В. Курзенков, П. Ю. Крупенін // Укр. Білорус. держ. с.-г. акад. - 2016. - № 1. - С. 102-106.

35. Черкаський, В. М. Насоси, вентилятори, компресори / В. М. Черкаський. - М.: Вища школа, 1984. - 416 с.

36. Чугаєв, Р. Р. Гідравліка / Р. Р. Чугаєв. - Л.: Енергія, 1975. - 600 с.

37. Крупенін, П. Ю. гідроімпульсні підготовка консервованого

плющеного зерна кукурудзи на корм свиням кавітаційним диспергаторів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П. Ю. Крупенін. - Гірки, 2017. - 24 с.2.5
Висновки з розділу

38. Боков В. А. Основы экологической безопасности / В. А. Боков, А. В. Лущик // Учебное пособие. – Симферополь: СОНАТ, 1998. – 224 с.

39. Дегодюк Е. Г. Еколого-техногенна безпека України / Е. Г. Дегодюк, С. Е. Дегодюк. – К.: ЕКМО, 2006. – 306 с.

40. Иванов Ю.А., Скоркин В.К. Тенденции развития технологий и технических средств в молочном скотоводстве // Техника и оборудование для села. – 2006.– № 4. – С. 22 – 24.

41. Машини для тваринництва та птахівництва // За редакцією В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, Дослідницьке, УкрНДІВПТ ім. Погорілого – 2009, - 207 с.

42. Шацький В. В. Підвищення якості функціонування механізованих процесів приготування кормів на молочних фермах: дис. д-ра техн. наук: 05.05.11 / УААН; Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»; – Глеваха.- 2004.- 407 с.

43. Дурст Л. Кормление сельскохозяйственных животных./Л.Дурст. М.Виттман.-под ред. Ибатуллина И.И., Проваторова Г.В. - Винница: Нова книга, 2003.-384с.

44. Рекомендації з механізованих технологій кормозабезпечення скотарства, адаптованих до міжнародної системи якості ISO-9001. Шацький В.В., Воронін Л.С. та інш. Інститут механізації тваринництва НААН України.- Запоріжжя: ІМТ НААН, 2010.-31с.

45. Артиш В.І. Порівняльна оцінка інтенсивного та екологічно чистого ведення сільського господарства / В. І. Артиш // Економіка АПК. – 2005. – № 10, С. 20-23.

46. Шлапак В. О. Створення інфраструктури виробництва та маркетингу екологічно чистої овочевої продукції в Україні / В. О. Шлапак, В. М. Чопенко //

Економіка АПК. – 2004. – № 1, С. 135-137.

47. Скрыль И. И. Кавитационная технология и оборудование для производства жидких кормов [Интернет ресурс] / И. И. Скрыль, А. Н. Ковальчук // Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», 15 октября 2011 г. / Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск. – КГАУ, 2011.

48. Инновационные технологии кормления на животноводческих комплексах / Животноводство // Журнал "АПК Эксперт", 2011. – № 3 (24). – С. 82-85.

49. Способ кавитационного приготовления жидких кормов и установка для его осуществления» Технология приготовления кормов XXI века : инновационный проект [Интернет ресурс] / База данных «Инновационные и инвестиционные проекты» // Официальный сайт регионального информационно-инновационного центра бизнес-инноваций. – 2007–2012 © Инновации - Бизнесу. Инновации и инвестиции в прорывные технологии. – Россия. – Алтайский край.

50. Использование технологий гидродинамического кавитационного диспергирования для производства пастообразных питательных кормов для животных : инновационный проект [Интернет ресурс] / ООО «НПП ЭКО-БИОН», ООО «БАСМ». – Воронеж, 2012.

51. Информационные материалы к комплексной оценке конкурентоспособности техники и технологий для животноводства. Справочник, издание 3-е переработанное и дополненное / Сичкарь В.Ф., Шацкий В.В., Сичкарь А.В.; под ред.. В.Ф. Сичкаря/. – Запорожье: ПЦ «ЧАС». 2006.-226 с.

52. Ковалёв А. В. Технология влажного гомогенного кормления сви-ней, как инструмент повышения рентабельности и конкурентоспособности промышленных свинокомплексов / А. В. Ковалёв // Материалы международной конференции "Инновационные пути развития свиноводства в России" ("Свиноводство - 2011"). – Международная промышленная академия, 14-16 ноября 2011 г. – Пищепромиздат, 2011.

53. Тимофеев Н. П. Растительный белок и регуляция его уровня в кормопроизводстве [Интернет ресурс] / Н. П. Тимофеев // Агенство научнотехнической информации. – Научно-техническая библиотека: статьи и публикации. – Источник: SciTecLibrary.ru, 2003. – Режим доступа: <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6494.html>.

54. Производство белковых кормов и добавок к ним на основе кавитационного измельчителя [Интернет ресурс] / Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Внешнеэкономическое Объединение. – Сайт ФГУП “Лицензинторг”, 2012 - Режим доступа: http://www.licenz.ru/protein_feed.html.

55. Пат. 74084 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Кавитационный гидроударный диспергатор [Текст] / Мозговой В. Г., Алтухов А. М. ; заявитель и патентообладатель Мозговой В. Г., Алтухов А. М. – № 2008107489/22; заявл. 26.02.08 ; опубл. 20.06.08, Бюл. № 17. – 3 с.

56. Минзанова С. Т. Технологические аспекты получения кормовых добавок из амаранта [Интернет ресурс] / С. Т. Минзанова, В. Ф. Миронов, Н. А. Соснина, Выштакалюк А. Б. и др. // Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН. – ©exdat 2000-2012. – Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com/docs/index-66067.html>.

57. Открытие завода кормовых добавок «Кавикорм-Лебяжье» [Интернет ресурс] / Раздел «Репортажи» // Научно-производственный журнал Моло-чное и мясное скотоводство. – Режим доступа : <http://www.skotovodstvo.com/Reportage/Cavikorm-2011.html>.

58. Антонюк А. П. Технология производства белково-витаминных минеральных кормовых добавок из отходов пищевой и перерабатывающей промышленности / А. П. Антонюк // Материалы международной конференции "Инновационные пути развития свиноводства в России" ("Свиноводство - 2011"). – Международная промышленная академия, 14-16 ноября 2011 г., Пищепромиздат, 2011.

59. Ковалёв А. В. Технология влажного гомогенного кормления свиней,

как инструмент повышения рентабельности и конкурентоспособности промышленных свинокомплексов / А. В. Ковалёв // Материалы международной конференции "Инновационные пути развития свиноводства в России" ("Свиноводство - 2011"). – Международная промышленная академия, 14-16 ноября 2011 г. – Пищепромиздат, 2011.

60. Кормоприготовительные агрегаты серии «Мрия» [Интернет ресурс] / Общество с ограниченной ответственностью Научно-Производственный Внедренческий Центр Академии Инженер-ных Наук Украины // Официальный сайт ООО НПЦ АИНУ. – Режим доступа : <http://agrokorm.info/ru/kormoagregat/1/>.

61. Мещеряков И.В., Анушенков А.Н. Некоторые принципы изучения многоступенчатого проточного устройства гидроударно-кавитационного – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s008/s008-014.pdf>.

62. Пат. 49020 України, МПК (2006) В01F 7/00. Кавітаційний енергетичний апарат / Бисько Р. М., Зайченко Л. М., Паскалов В. П., Яхно О. М.; завник і патентовласник: Яхно О. М. – № 98126605; заявл. 16.09.2002; опубл. 15.08.2000, бюл. № 3.

63. Закон України про охорону праці (2002р.) зі змінами на 2009р.

64. Закон України про захист прав споживачів

65. НПАОП 0.00-1.11-98. Правила безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води.

66. ДНАОП 15.1-1.06-99. Правила з ОП для працівників м'ясопереробних цехів.

67. НПАОП 01.0-1.02-18 Правила ОП в сільськогосподарському виробництві.

68. НПАОП 01.2-1.09-05. Правила ОП в тваринництві. Свинарництво.

Додатки

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, УКРАЇНА
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ШТАТУ ПЕНСІЛЬВАНІЯ, США
УНІВЕРСИТЕТ ВІТОВТА ВЕЛИКОГО, ЛИТВА
НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ ДОСЛІДНИЦЬКО-ІННОВАЦІЙНИЙ ЦЕНТР
ІНСТИТУТУ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, УГОРЩИНА
ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ІНСТИТУТ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, ЧЕСЬКА РЕСПУБЛІКА
ІНСТИТУТ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НАН УКРАЇНИ
БІОЕНЕРГЕТИЧНА АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНИ
НАУКОВО-ІННОВАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

IV МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «Біоенергетичні системи» МАТЕРІАЛИ



29 травня 2020
Житомир, Україна

УДК 620.91:338.439.02

Б63

Рекомендовано до друку Вченою радою Житомирського національного агроекологічного університету, протокол № 10 від 27 травня 2020 р.

ISBN 978-617-7684-36-6

Б63. Біоенергетичні системи: Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. – 242 с.

Bio-energy Systems: Proceedings IV International Scientific and Practical Conference, May 29, 2020. – Zhytomyr (Ukraine): Polissia National University, 2020. – 242 p.

До збірника увійшли матеріали доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». Висвітлено результати наукових досліджень та практичний досвід щодо вирішення актуальних програм розвитку біоенергетичних систем та комплексів.

Матеріали рекомендовано для науковців, викладачів, фахівців підприємств, аспірантів та студентів.

Відповідальність за зміст поданих матеріалів, точність наведених даних та відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори. Зміст даної книги є виключно відповідальністю авторів.

Передрук, тиражування, розповсюдження інформації без дозволу Поліського національного університету забороняється.

Відповідальні за випуск:

Савелій Кухарець – директор НІІ інженерії агропромислового виробництва та енергоефективності Поліського національного університету, д.т.н., професор;

Олександр Медведський – секретар НІІ інженерії агропромислового виробництва та енергоефективності Поліського національного університету, к.т.н., ст. викл.

ISBN 978-617-7684-36-6

© Колектив авторів, 2020

© Вид-во «Поліського університету», 2020

<i>Абдулін М.З., Кільницька К.О.</i>	Проблеми та тенденції розвитку енергоспоживання на основі відновлюваних джерел енергії в Україні	56
<i>Климчук О.В.</i>	Управлінські засади формування сучасної політики енергетичної безпеки держави	61
<i>Грабар І.Г., Грабар О.І., Крилов А.В., Кіриєнко М.О.,</i>	Сучасні ІТ-інструменти в моделюванні процесів живої і неживої природи	67
<i>Грабар І.Г., Солом'яний О.С., Павлишин О.О.</i>	Система альтернативного постачання електроенергії родової садиби (САПЕРС)	70
<i>Е.Б. Алієв, О.Ю. Алієва, Р.Д. Малєгін</i>	Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження	76
<i>Теслюк В.В., Ікальчик М.І., Мироненко І.Г.</i>	Мікобіопреарати в технологіях захисту культурних рослин від хвороб	81
<i>Барановський В.М., Теслюк В.В., Вечера О.М., Долюк В.М.</i>	Аналіз та удосконалення копіра апарата водіння коренезбиральної машини	83
<i>Лімонт А.С.</i>	Про відродження льонарства в Україні та попередники як фактор і складова технології виробництва льону-довгунця	85
<i>Ярош Я.Д., Самчик Р.В.</i>	Структура автономного аграрного виробництва	89
<i>Грабар І.Г., Андросович І.С., Казанцев М.С.</i>	Шляхи підвищення надійності модернізованих машин	92
<i>Ємець Б.В., Мандра В.В.</i>	Оптимізація параметрів та обґрунтування конструкцій пристроїв фільтрування гідравлічної системи коробки передач трактора	95
<i>Краснолуцький П.П., Романишин О.Ю.</i>	До обґрунтування орієнтації лопаті низькооборотної мішалки метантенка	99
<i>Яненко Є.О., Савченко В.М.</i>	Визначення показників надійності відцентрового насоса	104
<i>Волоха М.П.</i>	Напрями розробки і удосконалення сучасної збиральної техніки щодо покращення якості бурякоцукрової сировини	108
<i>Морговський С.М., Савченко Л.Г.</i>	Порівняльна характеристика впливу різних джерел асиміляційного освітлення на вегетацію рослин в захищеного ґрунту	112
<i>Полєвода Ю.А.</i>	Гліцериномісткі поверхнево-активні речовини в харчовому виробництві	114

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНІЗАТОРА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Е. Б. Алієв, канд. техн. наук, старший дослідник, доцент

О. Ю. Алієва, науковий співробітник

Р. Д. Малєгін, магістрант

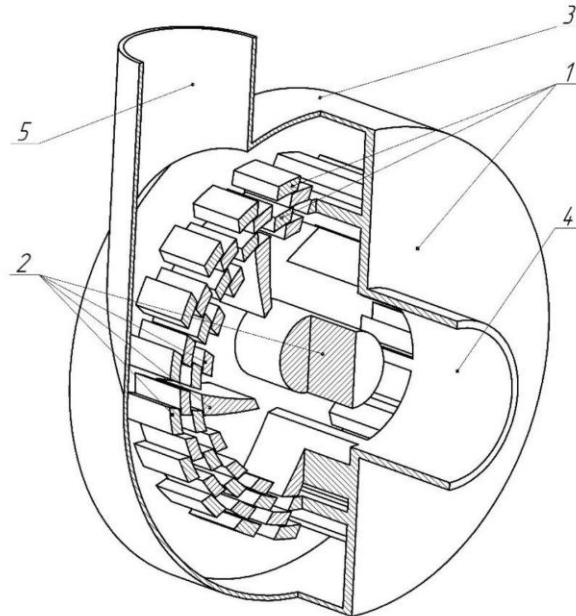
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Метою досліджень є обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження на кормові цілі шляхом чисельного моделювання.

Для досягнення поставленої мети запропоновано наступну конструкцію робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора, яка представлена на рис. 1. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса. Це дає можливість забезпечити необхідний потік рідини за рахунок утворення різниці тисків на вхідному і вихідному патрубках.

Запропонований кавітаційний диспергатор-гомогенізатор працює наступним чином. Вхідний і вихідний патрубки підключені до ємності із компонентами кормової суміші. Ротор кавітаційного диспергатора-гомогенізатора виконує обертання навколо власної вісі. В результаті чого створюється різниця тисків між вхідним та вихідним патрубками і рідина із компонентами кормової суміші починає проходити через отвори, які періодично утворюються між статором і ротором. При перекритті отворів статора і ротора відбувається різке підвищення тиску – прямий гідравлічний удар. Таким чином суміш послідовно обробляється гідроударами. У момент суміщення отворів статора і ротора суміш отримує велику кінетичну енергію в отворах. При цьому відбувається різке падіння тиску з одночасним падінням швидкості руху суміші. На вході в отвір утворюються кільцеві зони, в яких відбувається схлопування бульбашок рідини суміші, що призводить до додаткового руйнування від знакоперемінних навантажень. Окрім цього потік суміші насичений кавітаційними бульбашками, з великою швидкістю вривається в стаціонарний шар суміші. Напроти кожного отвору утворюються коловоротні зони схлопуваних кавітаційних бульбашок. Велика сумарна

кількість утворення кавітаційних бульбашок забезпечує інтенсивний дифузійний обмін між рідкою та газовою фазами, в результаті чого відбувається гомогенізація, розігрівання та знезараження оброблюваного середовища й прискореного активуючих реакцій.



1 – статор; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок

Рисунок 1 – Розроблена конструкція робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

Для перевірки роботи пропонованих робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора проведемо чисельне моделювання з використанням програмного пакету Star CCM+ [1-2]. Для проведення моделювання була побудована сітка 3D моделі області між ротором і статором кавітаційного диспергатора-гомогенізатора із базовим розміром комірки – 0,001 м. Моделювання проводилися з використанням моделі багатофазної взаємодії, Ейлерової багатофазності, метода об'ємної рідини (VOF). Рух фаз підпорядковується к-ε моделі турбулентності. При першому наближенні суміш представлялася як двофазне середовище рідина-газ, при цьому газом є газоподібна фаза рідини. Термодинамічний стан суміші припускався як роздільна багатофазна температура. Було прийнято, що рідина в процесі руху мала постійну щільність, а газ був ідеальним. Взаємодія між фазами рідина-газ підпорядковувалася моделі об'ємної рідини VOF-VOF і кавітації Schnerr-Sauer.

Для даного попереднього чисельного моделювання частота обертання ротора була прийнятою 3000 об/хв. При цьому період ітерацій складав 0,01 мс.

В результаті чисельного моделювання отримано розподіл тиску по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора, який приведено на рис. 2, а.

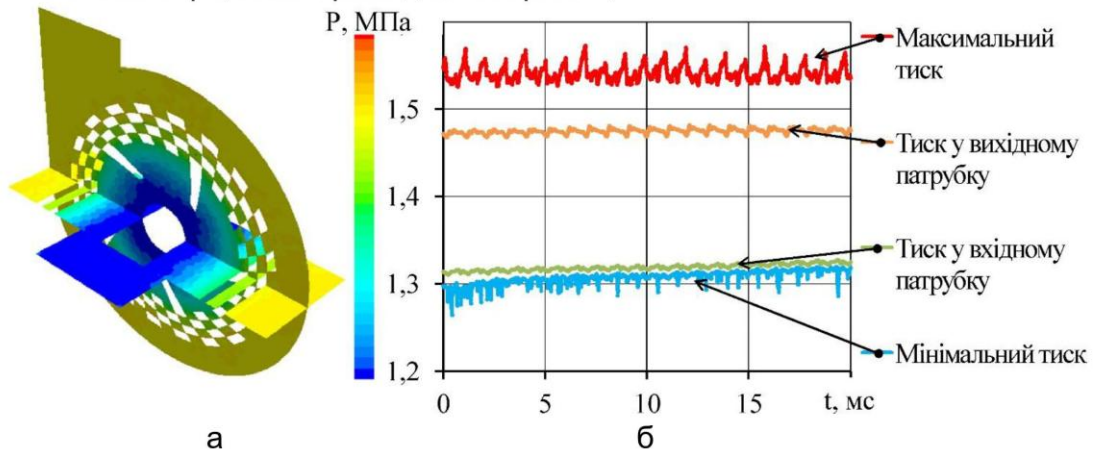


Рисунок 2 – Розподіл (а) і динаміка (б) тиску по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

На рис. 2 видно різницю тиску між вхідним і вихідним патрубками кавітаційного диспергатора-гомогенізатора (0,15 МПа), що свідчить про створення відповідного напору і руху рідини, що підтверджується рис. 3.

Динаміка зміни тиску представлена на рис. 2, б в діапазоні часу 20 мс, що відповідає одному оберту ротора. З рисунку видно коливання максимального тиску в межах від 1,52 МПа до 1,57 МПа, що обумовлено періодичністю перекриття резонаторів та конфузурів і перетіканню рідини крізь отвори, які утворюються.

Також на рис. 2 зазначені області мінімального і максимального тиску між резонаторами і конфузорами, що призводить до утворення і схлопування бульбашок газоподібної фази рідини. Це явище видно на рис. 4, що ілюструють розподіл концентрації газоподібної фази рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора відповідно.

Накладаючи розподіл і динаміку зміни (рис. 5) температури в області між робочими органами і корпусом із областями утворення газоподібної фази рідини можна стверджувати про виникнення явища кавітації, що може бути позитивно використана при подрібненні компонентів кормової суміші.

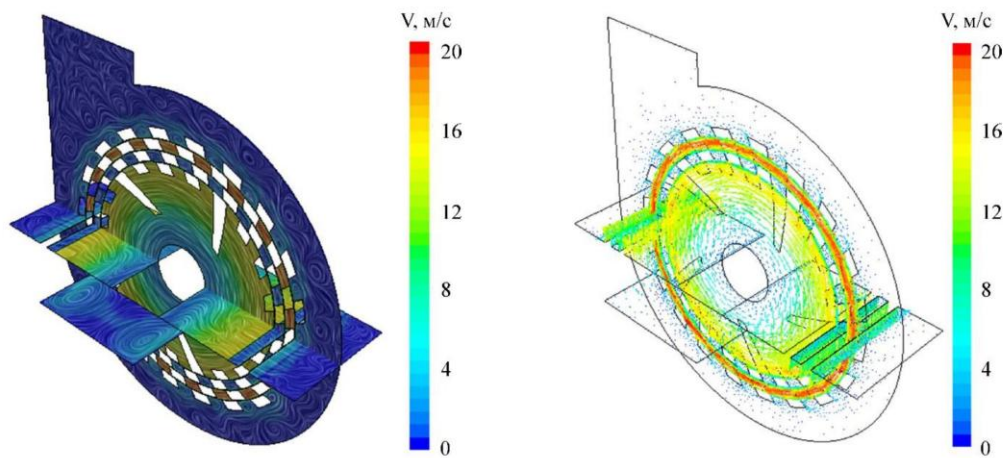


Рисунок 3 – Розподіл швидкості руху рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

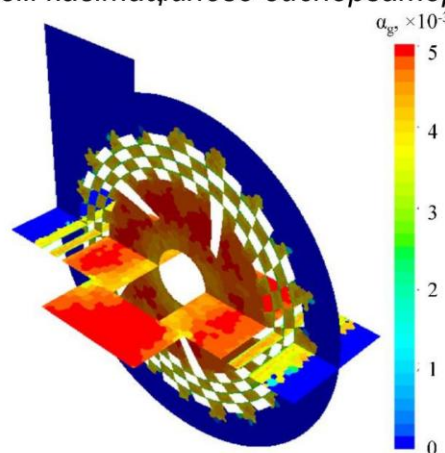


Рисунок 4 – Розподіл концентрації газоподібної фази рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора відповідно

Окрім зазначеного векторне поле швидкостей по всій області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора (рис. 5) доводить факт виникнення сильного турбулентного потоку рідини і газоподібної фази, що позитивно вплине на якість перемішування компонентів кормової суміші.

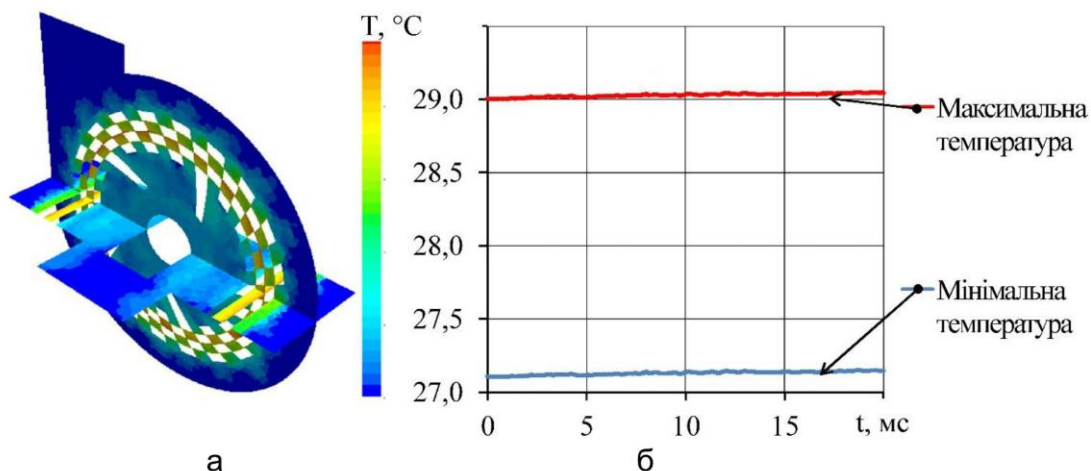


Рисунок 5 – Розподіл (а) і динаміка (б) температури рідини в області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

В результаті досліджень запропонована і обґрунтована конструкцію робочих органів (ротор і статор) кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса.

В результаті чисельного моделювання процесу кавітаційної диспергації на розробленій конструкції доведено її ефективність в якості насоса для покачування рідини із компонентами кормової суміші, а також в якості подрібнювача використовуючи гідравлічний удар, який утворюється в наслідок явища кавітації в резонаторах статора і конфузорах ротора.

Список літератури

1. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – CUPRINS. Vol. 54, Nr. 1. 2018. P. 95-104.*
2. Алієв Е. Б., Лабатюк Ю. М. Чисельне моделювання механіко-технологічних процесів агропромислового виробництва. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: *Вісник Харківського Національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. Харків, 2017. Вип. 180. С. 67-71.*

Додаток Б

**МАТЕРИАЛИ
XVI МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**НАЙНОВИТЕ НАУЧНИ
ПОСТИЖЕНИЯ - 2020**

15 - 22 март 2020 г.

Volume 3
Икономики

София
«Бял ГРАД-БГ ОДД»
2020

То публикува «Бял ГРАД-БГ» ООД, Република България,
гр.София, район «Триадица», бул.« Витоша» №4, ет.5

Редактор: Милко Тодоров Петков

Мениджър: Надя Атанасова Александрова

Технически работник: Татяна Стефанова Тодорова

Материали за XVI международна научна практическа конференция,
Найновите научни постижения - 2020, 15 - 22 март 2020 г. Икономика. :
София. « Бял ГРАД-БГ » - 92 с.

За ученици, работници на проучвания.

Цена 10 BGLV

ISBN 978-966-8736-05-6

© Колектив на автори, 2020

© «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2020

К.т.н. Алієв Е.Б., магістрант Малєгін Р.Д.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГОДІВЛІ ТВАРИН КОРМАМИ ПІСЛЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ

Ефективність використання гомогенізованих-диспергованих і кавітаційно оброблених кормів полягає в наступному:

- виробництво кормів і кормових добавок на основі гомогенізації-диспергації-кавітації є економічно ефективним сучасним методом, що забезпечує поліпшення біохімічних якостей кормів;
- метод дозволяє використовувати всю гаму компонентів польового кормовиробництва;
- отримати гомогенну вологу кормову суміш з хорошими нюховими і смаковими якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини і ін.);
- кавітаційна обробка надає м'яку дію на білковий комплекс рослинної сировини, забезпечує високу ступінь емульгації жирів, що призводить до підвищення на 6,3 % його перетравлюваності тваринами;
- нівелюється ефект важкоперетравності клітковини, за рахунок чого підвищується доступність його мономірних елементів і підвищується перетравність;
- підвищується екстракція розчинних білків і біологічно активних речовин;
- підвищується загальна біологічна цінність і засвоюваність трав'яного корму;
- спрощується технологічний процес виробництва білково-вітамінного трав'яного корму;
- зменшуються втрати поживних речовин;
- знижуються енерговитрати при виробництві білково-вітамінного

трав'яного корму;

- підвищується вміст протеїну за рахунок білків жомової частини (до 70 %);
- на відміну від технології виробництва ПЗК вологим фракціонуванням, технологія кавітаційної обробки всієї маси рослинної сировини забезпечує позбавлення від жому і необхідності його переробки;
- диспергування зеленої маси з кавітаційним ефектом забезпечує максимальне екстрагування компонентів із зруйнованої рослинної клітини;
- кавітаційна обробка доцільна, як для зеленої маси кормових рослин, так і для білоквмісних компонентів – відходів переробної промисловості (пивна дробина, меляса, відходи спиртопереробної промисловості і т. ін.), що розширює можливості виробництва широкого асортименту білково-вітамінних кормових добавок за рахунок їх компонування;
- на основі вже існуючих систем виробництва кормів із застосуванням кавітаційного методу, можна зробити висновки щодо високої ефективності таких кормів, які є біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.

На підставі аналізу ефективності процесу диспергації – кавітації, фізико-хімічного стану сировини і можливості компонування трьох видів сировини для одержання повноцінної кормової білково-вуглеводно-вітамінної добавки розроблено технологічну модель процесу енергоощадного виробництва кормової добавки для модульної установки продуктивністю 100 кг. Розроблена модель ураховує всі позитивні якості сировини й техніки для виконання технологічного процесу і базується на принципах:

- залучення до виробництва білково-вітамінної добавки найбільш доступної сировини, в т.ч. вторинної;
- зелена маса кормових трав є джерелом натурального білка, вітамінів (особливо каротину) і комплексу біологічно активних речовин;
- пивна дробина служить джерелом білка, комплексу важливих для

розвитку і відтворювальних здібностей тварин вітамінів групи В, мікро і макроелементів;

- зерно, як високовуглеводний компонент, забезпечує корми, а через них тварин енергетичною складовою;

- попередня обробка зеленої маси розчином хлориду натрію сприяє підвищенню вмісту перетравного білка за рахунок вилучення його з жомової частини рослин;

- зниження вмісту в кормосуміші зернової складової, як компонента високої вартості, забезпечує здешевлення процесу годівлі тварин;

- диспергаційно-кавітаційна обробка суміші зеленої маси, пивної дробини і зерна до дрібнодисперсного пульпоподібного стану сприяє поліпшенню смакових якостей і перетравності компонентів суміші;

- індуковане кавітацією підвищення температури до 60- 70 °С сприяє пастеризації суміші;

- часткове зневоднення кормосуміші пресуванням забезпечує умови зберігання із схоронністю натуральних якостей продукції;

- зберігання в рулонах або мішках з вже внесеним екологічно чистим консервантом – хлоридом натрію скорочує витрати і підвищує строк схоронності кормової добавки;

- згодовування тваринам кормосуміші в найбільш доступній формі мономірних сполук;

- надання кормосуміші найбільш оптимальної для травлення гомогенно-вологої форми за рахунок гідратійної води, утвореної в процесі кавітації.

CONTENTS

ИКОНОМИКИ

Икономиката на предприетието

Khomenko O.M., Malykhina O.M. REENGINEERING AS A METHOD OF INNOVATIVE TRANSFORMATION OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM: MODERN APPROACHES AND APPLIED TOOLS.....	3
Мехеда Н.Г., Мальцевич О.Л. УПРАВЛІННЯ БАНКІВСЬКИМИ ПОТЕНЦІАЛОМ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ІНСТРУМЕНТИ.....	6
Мехеда Н.Г., Скібіцька А.А. ПОНЯТТЯ ПІДПРИЄМНИЦЬКОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПІДПРИЄМСТВА ТА ФАКТОРИ ЙОГО РОЗВИТКУ.....	9
Борисевич Є.Г., Маслова К.Г. ОСОБЛИВОСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ В СФЕРІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ.....	12
Біляєва А.С. Іванова Д.В. Коваль С.Д. ТИПИ ВИРОБНИЦТВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	15
Елпанова М.А., Басыраева Б.А. КОМПАНИЯНЫ; ТРАДУЫН БА; АЛАЙТЫН К; РСЕТКІШТЕР Ж; ЙЕСІ.....	18
Шайнуров А.С., Казбекова М.Ж. АЙМА; ЭКОНОМИКАСЫНЫ; ДАМУЫН БАС; АРУДА КЛАСТЕРЛІК Ж; ЙЕЛЕРДІ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ....	25

Аграрна икономика

Жандосова К., Мухамбетова З.С. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	30
Алієв Е.Б., Білоус І.М. ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ.....	36
Алієв Е.Б., Малєгін Р.Д. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГОДІВЛІ ТВАРИН КОРМАМИ ПІСЛЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ.....	39

Регионална икономика

Утегенова К.А., Ерматов Ж.Г. ПОШТА; ЫЗМЕТІН; СЫНУДЫ; САПАСЫН ЖА; САРТУ Ж; НЕ ОНЫ ДАМЫТУ.....	42
---	----

Икономическата теория

Кан А. МЕТОДОЛОГИЯ ОРГАНИЗАЦИИ АУТСОРСИНГА.....	45
--	----

Правителството регулиране на икономиката

Сейтхожина Д.А., Арапов Д.К. СУЩНОСТЬ И МЕХАНИЗМ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН.....	50
--	----

Банките и банковата система

Dudchenko V. FINANCIAL STABILITY: SWISS NATIONAL BANK'S EXPERIENCE.....	58
Соляник Л.Г., Коваленко Т.Е., СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КРЕДИТНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ.....	61

Външноикономическата дейност

Залесский Б.Л. БЕЛАРУСЬ - КЫРГЫЗСТАН: ТОРГОВЛЯ, КООПЕРАЦИЯ, СОТРУДНИЧЕСТВО РЕГИОНОВ.....	64
---	----

Додаток В



№ 2 (109) / 2020

Vol. 109, No 2 / 2020

Техніка, енергетика,
транспорт АПК

УДК 631.363.2

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-1

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНІЗАТОРА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА КОРМОВІ ЦІЛІ

Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник, доцент
Миколенко Світлана Юрїївна, к.т.н., доцент
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Яропуд Віталій Миколайович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет
Малєгін Роман Дмитрович, магістрант
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Yelchin Aliyev, Ph.D., senior researcher, associate professor
Svitlana Mykolenko, Ph.D., associate professor
Dnipro State Agrarian and Economic University
Vitaliy Yaropud, Ph.D., associate professor
Vinnytsia National Agrarian University
Roman Malegin, undergraduate
Dnipro State Agrarian and Economic University

Актуальною задачею є підвищення ефективності приготування якісних кормів за рахунок застосування технологічних процесів диспергування і гомогенізації із кавітаційною обробкою кормових компонентів. Метою досліджень є обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження на кормові цілі. В результаті досліджень запропонована і обґрунтована конструкцію робочих органів (ротор і статор) кавітаційного диспергатора-гомогенізатора. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса. Для перевірки роботи запропонованих робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора проведено чисельне моделювання з використанням програмного пакету Star CCM+. Моделювання проводилося з використанням моделі багатозазної взаємодії, Ейлерової багатозазності, метода об'ємної рідини (VOF). Рух фаз підпорядковується $k-\epsilon$ моделі турбулентності. При першому наближенні суміш представлялася як двофазне середовище рідина-газ, при цьому газом є газоподібна фаза рідини. Термодинамічний стан суміші припускався, як роздільна багатозазна температура. Було прийнято, що рідина в процесі руху мала постійну щільність, а газ був ідеальним. Взаємодія між фазами рідина-газ підпорядковувалася моделі об'ємної рідини VOF-VOF і кавітації Schnerr-Sauer. В результаті чисельного моделювання процесу кавітаційної диспергації на розробленій конструкції доведено її ефективність в якості насоса для прокачування рідини із компонентами кормової суміші, а також в якості подрібнювача використовуючи гідравлічний удар, який утворюється в наслідок явища кавітації у резонаторах статора і конфузорах ротора.

Ключові слова: тваринництво, кормозабезпечення, переробка, диспергатор, кавітація.

Рис. 8. Літ. 17.

1. Постановка проблеми

Ефективне функціонування тваринництва неможливе без забезпечення тварин якісними збалансованими кормами за конкурентною ціною та у потрібній кількості [1]. Основними з негативних чинників, що стримують розвиток тваринництва в Україні, є низький рівень забезпеченості тварин кормами високої якості [2].

Якість кормів основним чином визначається технологічними операціями при їх приготуванні. По-перше корми повинні бути однорідними за фракційним складом. Тобто процес подрібнення повинен забезпечувати однаковий фракційний склад за кожним з компонентів рослинної сировини, що входить до складу корму. По-друге корми повинні бути однорідними по розподілу компонентів в



суміші. Тобто процес змішування повинен забезпечувати високий коефіцієнт варіації розподілу компонентів рослинної сировини у всьому об'ємі (або масі) суміші. По-третє корми повинні зберігати всі поживні речовини і вітамінні комплекси, не містити шкідливих речовин, забезпечуючи вимоги безвідходності трансформації рослинної сировини вздовж харчового ланцюга. Тобто приготування кормів повинно містити такі технологічні процеси, що задовольняють зазначеним умовам [3-6].

Вищезазначені вимоги відповідають процесу диспергування і гомогенізації кормових компонентів із застосуванням кавітаційної обробки. Згідно з [7] диспергування (dispersion) – технологічний процес тонкого подрібнення та розподілу в об'ємі твердого матеріалу, рідини або газу, в результаті якого виникають дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії, аерозолі. В свою чергу гомогенізація (homogenization) – технологічний процес, в ході якого зменшується ступінь неоднорідності розподілу компонентів і фаз в об'ємі гетерофазної системи [7]. Кавітація (cavitation) – фізичний процес утворення бульбашок (каверн) в рідких середовищах, з подальшим їх спаданням і вивільненням великої кількості енергії (ударна хвиля), що виникає в результаті зовнішніх фізичних впливів [8]. Тобто кавітаційна обробка компонентів кормів дозволяє їх подрібнювати за рахунок дії ударної хвилі.

Тому актуальною задачею є підвищення ефективності приготування якісних кормів за рахунок застосування технологічних процесів диспергування і гомогенізації із кавітаційною обробкою кормових компонентів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні існує багато диспергаторів і гомогенізаторів, працюючих на використанні ефекту кавітації, в тому числі і для переробки кормових компонентів в корми підвищеної засвоюваності. В основному ці гідродинамічні установки призначені для приготування вологих кормових паст із зернових, олійних і бобових культур, кормів тваринного походження для молодняка і дорослих сільськогосподарських тварин з одночасним їх знезараженням і руйнуванням токсичних речовин (мікотоксинів і алкалоїдів) у вигляді суспензій і емульсій [9].

Відомі наступні типи устаткування для диспергування [10]:

- подрібнення робочими органами, що мелють (кульові, бісерні, вібраційні, дезінтегратори);
- пристрої самоподрібнення (барабанні, відцентрові, струменеві);
- вибухові подрібнювачі (із скиданням тиску, з використанням вибухових речовин).

Недоліки цих типів пристроїв: знос робочих органів, що мелють; забруднення продуктами зносу подрібнюваного матеріалу; велика енергоємність диспергування; низький ККД, агрегація (злипання) частинок при збільшенні дисперсності матеріалу.

Останніми роками з'явилося устаткування для диспергування з одночасною гомогенізацією [11]:

- ультразвукові пристрої;
- ультразвукові пристрої кавітацій;
- електрогідролічні пристрої;
- пристрої роторних пульсацій;
- гідроударні установки.

Ультразвукові пристрої застосовуються рідко і в специфічних умовах (наприклад, для гомогенізації майонезу), а електрогідролічні пристрої поки не знайшли застосування. Найбільшого поширення за кордоном набули пристрої роторних пульсацій і ті, що приходять їм на зміну – гідроударні установки.

Відбувається закономірний перехід до способу диспергування компонентів в двофазному (компонент + рідина) середовищі, що дозволяє сумістити процеси диспергування і гомогенізації в одному апараті. Рідиною може бути вода або будь-яка інша рідина, наприклад, олія, що виділяється при подрібненні олійних культур, сік при переробці помідорів, гороху тощо. Це дає можливість використовувати фізичні властивості другої фази (нестисливість, закони Паскаля і Бернуллі) і застосувати нові фізичні ефекти (гідролічний удар, кавітацію, імпульси високого тиску, турбулентність).

Обробка кавітацією дозволяє провести подрібнення сировини і подальшу гомогенізацію кормосумішей, що дає можливість проводити їх транспортування по стандартних системах рідкої кормороздачі.



Спосіб диспергування матеріалу в двофазному середовищі позбавлений недоліків сухого способу диспергування оскільки рідина не так сильно зношує матеріал робочих органів, не забруднює кормову суміш, запобігає агрегації за рахунок зменшення поверхневої енергії твердої фази (цей ефект посилюється додаванням поверхнево-активних речовин) [12-14].

Основними елементами найпоширеніших конструкцій кавітаційних гідроударних диспергаторів є ротор і статор (рис. 1) [15].



Рис. 1. Робочі органи кавітаційних гідроударних диспергаторів

У роторі по колу розташовані резонансні камери (резонатори). У статорі отвори – конфузори. При обертанні ротора відбувається періодичне перекриття вихідних отворів резонаторів. Частота обертання ротора зазвичай знаходиться в межах 3000-4000 об/хв. Подрібнення відбувається за рахунок дії на частинку кавітації, а також подвійного (прямого і зворотного) гідравлічного удару при перериванні потоку пульпи із заданою частотою.

Частота спеціально підбирається рівній власній частоті ротора. Дія гідравлічного удару носить пульсуючий характер. Руйновані частинки піддаються гідравлічному удару в резонансних камерах (резонаторах). За рахунок збігу власної частоти резонаторів з частотою проходження імпульсів тиску в камерах відбувається багаторазове (у 10 разів в порівнянні з апаратами роторних пульсацій) збільшення амплітуди значення тиску. Гідродинамічні процеси в установці супроводжуються розвиненою турбулентністю. Це сприяє хорошему ступеню гомогенізації оброблюваного матеріалу.

3. Мета досліджень

Метою досліджень є обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження на кормові цілі¹.

Для досягнення поставленої мети було поставлені наступні завдання досліджень: розробити конструкцію кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження та провести чисельне моделювання процесу кавітаційної диспергації на розробленій конструкції.

4. Методика досліджень

Для вирішення поставленої задачі запропоновано наступну конструкцію робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора, яка представлена на рис. 2. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює

¹ Дослідження проводились у рамках виконання науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини у біологічно цінні харчові продукти і кормові добавки» (№ ДР 0120U100322)



кривизну робочого колеса відцентрового насоса. Це дає можливість забезпечити необхідний потік рідини за рахунок утворення різниці тисків на вхідному і вихідному патрубках.

Запропонований кавітаційний диспергатор-гомогенізатор працює наступним чином. Вхідний і вихідний патрубки підключені до ємності із компонентами кормової суміші. Ротор кавітаційного диспергатора-гомогенізатора виконує обертання навколо власної вісі. В результаті чого створюється різниця тисків між вхідним та вихідним патрубками і рідина із компонентами кормової суміші починає проходити через отвори, які періодично утворюються між статором і ротором. При перекритті отворів статора і ротора відбувається різке підвищення тиску – прямий гідравлічний удар. Таким чином суміш послідовно обробляється гідроударами. У момент суміщення отворів статора і ротора суміш отримує велику кінетичну енергію в отворах. При цьому відбувається різке падіння тиску з одночасним падінням швидкості руху суміші. На вході в отвори утворюються кільцеві зони, в яких відбувається схлопування бульбашок рідини суміші, що призводить до додаткового руйнування від знакоперемінних навантажень. Окрім цього потік суміші насичений кавітаційними бульбашками, з великою швидкістю врізається в стаціонарний шар суміші. Напроти кожного отвору утворюються коловоротні зони схлопуваних кавітаційних бульбашок. Велика сумарна кількість утворення кавітаційних бульбашок забезпечує інтенсивний дифузійний обмін між рідкою та газовою фазами, в результаті чого відбувається гомогенізація, розігрівання та знезараження оброблюваного середовища й прискореного активуючих реакцій.

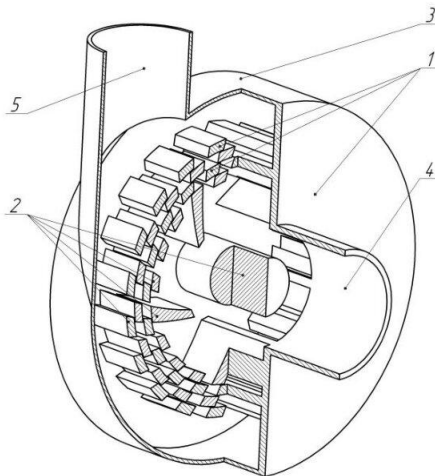


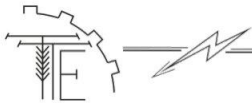
Рис. 2. Розроблена конструкція робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора:
1 – статор; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок

Для перевірки роботи запропонованих робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора проведемо чисельне моделювання з використанням програмного пакету Star CCM+ [16-17]. Для проведення моделювання була побудована сітка 3D моделі області між ротором і статором кавітаційного диспергатора-гомогенізатора із базовим розміром комірки – 0,001 м (рис. 3).

Для попереднього моделювання були прийняті наступні геометричні розміри робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора, які приведені на рис. 4. Поверхня ротора і статора мала абсолютну шорсткість $\epsilon = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м.

Моделювання проводилося з використанням моделі багатофазної взаємодії, Ейлерової багатофазності, метода об'ємної рідини (VOF). Рух фаз підпорядковується k- ϵ моделі турбулентності. При першому наближенні суміш представлялася як двофазне середовище рідина-газ, при цьому газом є газоподібна фаза рідини. Термодинамічний стан суміші припускався як роздільна багатофазна температура. Було прийнято, що рідина в процесі руху мала постійну щільність, а газ був ідеальним. Взаємодія між фазами рідина-газ підпорядковувалася моделі об'ємної рідини VOF-VOF і кавітації Schnerr-Sauer.

В початковий момент часу область між статором і ротором була заповнена тільки рідиною, тобто її вміст складав $\alpha_f = 1$. Температура в початковий момент часу складала 27°C, тиск – 101,3 кПа.



У якості вихідних даних було прийнято, що рідина має постійну густину $\rho_f = 997,6 \text{ кг/м}^3$, динамічна в'язкість становила $\mu_f = 8,88 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$, тиск насичення складає $p_f = 2338 \text{ Па}$, молекулярна маса $M_f = 18 \text{ кг/кмоль}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_f = 0,62 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, питома теплоємність $C_f = 4181 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$. В свою чергу газоподібна фаза рідини має динамічну в'язкість $\mu_g = 1,267 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$, молекулярну масу $M_g = 18 \text{ кг/кмоль}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_g = 0,0253 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, питому теплоємність $C_g = 1938 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

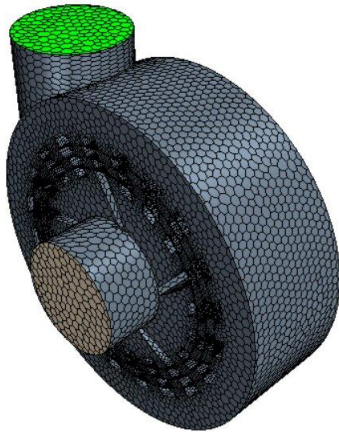


Рис. 3. Сітка частини 3D моделі області між робочими органами кавітаційного диспергатора-гомогенізатора в Star CCM+

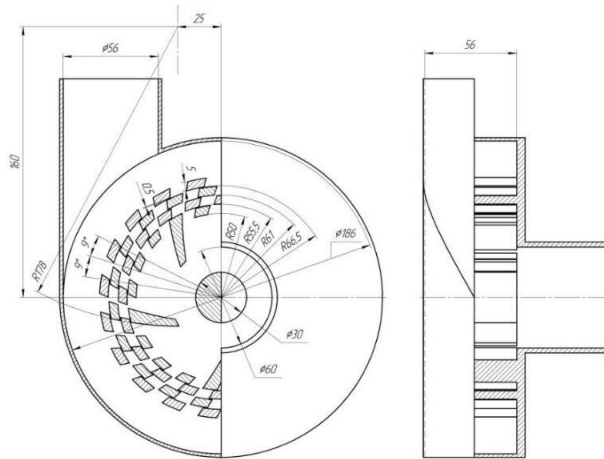


Рис. 4. Геометричні розміри робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

Для даного попереднього чисельного моделювання частота обертання ротора була прийнятою 3000 об/хв. При цьому період ітерацій складає 0,01 мс. В якості критеріїв досліджень визначалися динаміка і розподіл тиску, швидкості, температури і вмісту газоподібна фаза рідини.

5. Результати дослідження

В результаті чисельного моделювання отримано розподіл тиску по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора, який приведено на рис. 5, а. На рис. 5 видно різницю тиску між вхідним і вихідним патрубками кавітаційного диспергатора-гомогенізатора (0,15 МПа), що свідчить про створення відповідного напору і руху рідини, що підтверджується рис. 6.

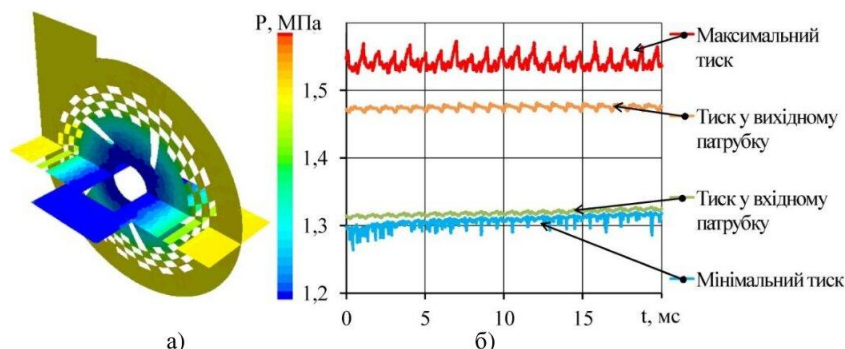


Рис. 5. Розподіл (а) і динаміка (б) тиску по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора



Динаміка зміни тиску представлена на рис. 5, б в діапазоні часу 20 мс, що відповідає одному оберту ротора. З рисунку видно коливання максимального тиску в межах від 1,52 МПа до 1,57 МПа, що обумовлено періодичністю перекриття резонаторів та конфузурів і перетіканню рідини крізь отвори, які утворюються.

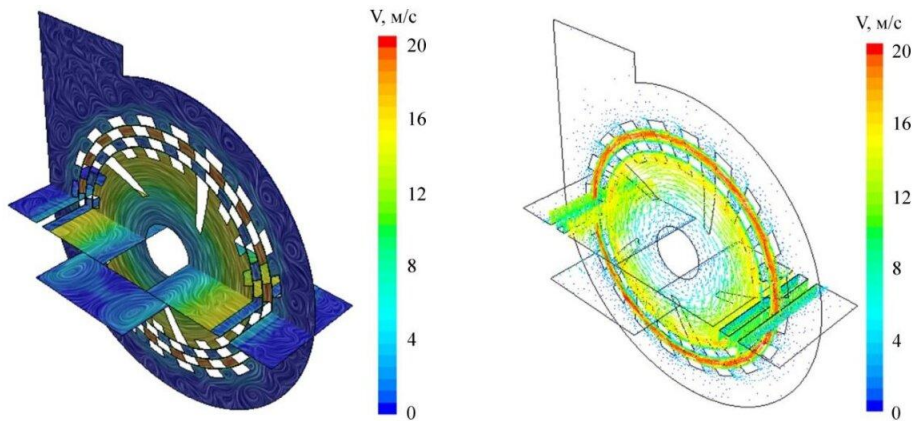


Рис. 6. Розподіл швидкості руху рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

Також на рис. 5 зазначені області мінімального і максимального тиску між резонаторами і конфузурями, що призводить до утворення і схлопування бульбашок газоподібної фази рідини. Це явище видно на рис. 7, що ілюструють розподіл концентрації газоподібної фази рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора відповідно.

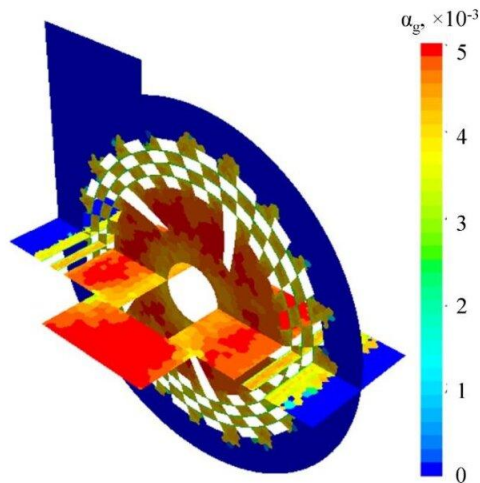


Рис. 7. Розподіл концентрації газоподібної фази рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора відповідно

Накладаючи розподіл і динаміку зміни (рис. 8) температури в області між робочими органами і корпусом із областями утворення газоподібної фази рідини можна стверджувати про виникнення явища кавітації, що може бути позитивно використана при подрібненні компонентів кормової суміші.

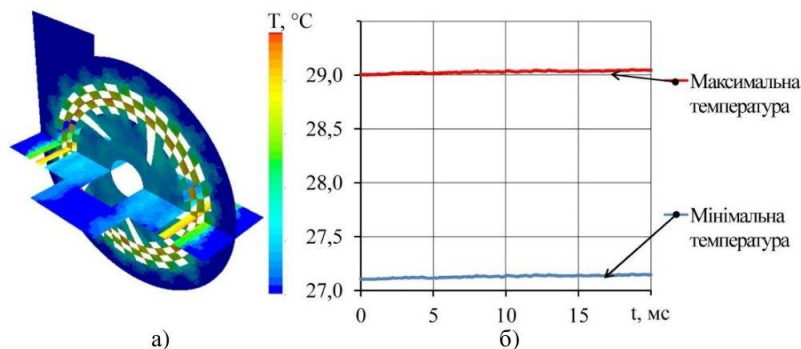


Рис. 8. Розподіл (а) і динаміка (б) температури рідини в області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

Окрім зазначеного векторне поле швидкостей по всій області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора (рис. 6) доводить факт виникнення сильного турбулентного потоку рідини і газоподібної фази, що позитивно вплине на якість перемішування компонентів кормової суміші.

5. Висновки

В результаті досліджень запропонована і обґрунтована конструкцію робочих органів (ротор і статор) кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження. Конструктивно резонатори статора і конфузори ротора в момент їх співставлення утворюють лопаті, кривизна яких повторює кривизну робочого колеса відцентрового насоса.

В результаті чисельного моделювання процесу кавітаційної диспергації на розробленій конструкції доведено її ефективність в якості насоса для прокачування рідини із компонентами кормової суміші, а також в якості подрібнювача використовуючи гідравлічний удар, який утворюється в наслідок явища кавітації в резонаторах статора і конфузорах ротора.

Список використаних джерел

1. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбікормів гвинтовими грануляторами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2017. 397 с.
2. Шацький В. В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов. Запорожье: 1998. 139 с. ISBN 966-05291-3-1.
3. Шевченко І., Шацький В., Махмудов І. Сучасні технології забезпечення тваринництва екологічно чистими кормами. Агро перспектива. 2009. № 11(107). С. 74-78.
4. Адамчук В. В., Братішко В. В., Кудринський Р. Б. и др. Механизация и автоматизация производства молока. Под общ. ред. В. В. Адамчука, А. И. Фененко. Нежин: ЧП Лысенко Н.М. 2013. 324 с.
5. Система технологій та машин для виробництва молока і яловичини. За ред. М. В. Присяжнюка, В. Ф. Петриченка. К.: Аграрна наука, 2013. 336 с.
6. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива : Науково-методичні рекомендації. Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя: СТАТУС. 2017. ISBN 978-617-7353-59-0
7. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М.Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: «Вебер», 2008. 758 с. ISBN 978-966-335-206-0.
8. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 678 с.
9. Тимофеев Н. П. Растительный белок и регуляция его уровня в кор-мопроизводстве. Агентство научно-технической информации. Научно-техническая библиотека: статьи и публикации. Источник: SciTecLibrary.ru, 2003. URL: <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/ 6494.html>.



10. Производство белковых кормов и добавок к ним на основе кавитационного измельчителя. Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Внешнеэкономическое Объединение. Сайт ФГУП “Лицензинторг”, 2012 URL: http://www.licenz.ru/protein_feed.html.
11. Скрыль И. И., Ковальчук А. Н. Кавитационная технология и оборудование для производства жидких кормов. Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», 15 октября 2011 г. Красноярск. КГАУ, 2011.
12. Шевченко І. А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва вискозасвоюваних кормів. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». Вип. 43. Ч.1. Кіровоград: КНТУ, 2013. С.179-184.
13. Павліченко В. М., Троїцька О. О., Лиходід В. В. Обґрунтування техніко-технологічних основ енергоощадного виробництва кормової добавки на основі рослинної сировини. Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць. Ін-т мех тваринництва НААН. Запоріжжя, 2012. Вип. 1 (9). С. 10-21.
14. Павліченко В. М., Лиходід В. В., Луц П. М., Січкарь А. В., Доруда С. О. Обґрунтування оптимальних режимів роботи удосконаленого зразка роторно-кавітаційного диспергатора при подрібненні рослинних кормів. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». Вип. 44. Ч.1. Кіровоград: КНТУ, 2014. С.252-258.
15. Алієв Е. Б., Луц П. М., Верета В. В. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми роторно-кавітаційного диспергатора кормосумішей. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України»*. 21 листопада 2019 року. м. Ніжин. С.15-23.
16. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – CUPRINS*. Vol. 54, Nr. 1. 2018. P. 95-104.
17. Алієв Е. Б., Лабатюк Ю. М. Чисельне моделювання механіко-технологічних процесів агропромислового виробництва. *Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник Харківського Національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка*. Харків, 2017. Вип. 180. С. 67-71.

References

- [1] Bratishko, V. V. (2017). Mekhaniko-tekhnologichni osnovy pryhotuvannya povnoratsionnykh kombikormiv hvyntovomy hranulyatoramy [Mechanical-technological bases of preparation of full-feed compound feeds with screw granulators]. *dys... d-ra tekhn. nauk: 05.05.11. Hlevakha*, 2017. 397 p. [in Ukrainian].
- [2] Shatskyu, V. V. (1998). Modelyrovanye mekhanizatsiyovannykh protsessov pryhotovlenyya kormov [Modeling of mechanized feed preparation processes]. *Zaporozh'е*. 139 p. ISBN 966-05291-3-1. [in Ukrainian].
- [3] Shevchenko, I., Shatskyu, V., Makhmudov, I. (2009). Suchasni tekhnolohiyi zabezpechennya tvarynnystva ekolohichno chystymy kormamy [Modern technologies of providing livestock with environmentally friendly feeds]. *Ahro perspektyva*. № 11(107). pp. 74-78. [in Ukrainian].
- [4] Adamchuk, V. V., Bratishko, V. V., Kudrynetsky, R. B. (2013). Mekhanizatsyya y avtomatyzatsyya proyzvodstva moloka [Mechanization and automation of milk production]. *Nezhyn. CHP Lysenko N.M.* 324 p. [in Russian].
- [5] Prisyazhnyuka, M. V., Petrychenka, V. F. (2013). Systema tekhnolohiy ta mashyn dlya vyrobnystva moloka i yalovychyny [System of technologies and machines for milk and beef production]. *Ahrarna nauka*. 336 p. [in Ukrainian].
- [6] Aliyev, E. B., Patsula, O. M., Hrytsenko, V. T. (2017). Tekhnolohiya kompleksnoy bezvidkhidnoy pererobky makukhy z nasynnya oliynykh kul'tur z oderzhannyam vysokoyakisnykh povnotsinnykh proteyinovykh dobavok u vyhlyadi pelet ta tverdoho biopalyva [Technology of complex waste-free processing of meal from oilseeds with obtaining high-quality full-fledged protein additives in the form of pellets and solid biofuels]. *Naukovo-metodychni rekomendatsiyi. Instytut oliynykh kul'tur Natsional'noyi akademiyi ahrarnykh nauk Ukrainy. Zaporizhzhya. STATUS*. ISBN 978-617-7353-59-0. [in Ukrainian].



- [7] Опейда, Y., Shvayka, O. (2008). Hlosariy terminiv z khimiyi [Glossary of terms in chemistry]. In-t fizyko-orhanichnoyi khimiyi ta vuhlekhimiyi im. L.M.Lytvynenka NAN Ukrayiny, Donets'kyy natsional'nyy universytet. Donets'k. «Veber». 758 p. ISBN 978-966-335-206-0. [in Ukrainian].
- [8] Кнѣпп, R., Deyly Dzh., K Hémmyt, F. (1974). Kavytatsyya [Cavitation]. Myr.678 p. [in Russian].
- [9] Tymofeev, N. P. (2003). Rastytel'nyy belok y rehulyatsyya eho urovnya v kor-moproyzvodstve [Plant protein and regulation of its level in cormoproduction] [Internet resurs]. Ahenstvo nauchno-tekhnycheskoy ynformatsyy. Nauchno-tekhnycheskaya byblyoteka: stat'y y pub-lykatsyy. Ystochnyk. SciTecLibrary.ru. URL: <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6494.html>. [in Russian].
- [10] Proyzvodstvo belkovykh kormov y dobavok k nym na osnove kavyta-tsyonnoho yzmel'chytelya [Production of protein feeds and additives based on cavitation grinder] [Internet resurs]. Federal'noe Hosudarstvennoe Unytarnoe Predpryyatye Vneshnéekonomycheskoe Ob"edynenye. Sayt FHUP "Lytsenzynitorh". 2012. URL: http://www.licenz.ru/protein_feed.html. [in Russian].
- [11] Skryl, Y. Y., Kovalchuk, A. N. (2011). Kavytatsyonnaya tekhnolohyya y oborudovanye dlya proyzvodstva zhydkykh kormov [Cavitation technology and equipment for the production of liquid feed]. Materyaly mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsyy «Problemy sovremennoy ahraryoy nauky». 15 oktyabrya 2011. Krasnoyarsk. KHAU. [in Russian].
- [12] Shevchenko, I. A., Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V., Zabudchenko, V. M. (2013). Analiz konstruksiy tekhnichnykh zasobiv dlya vyrobnytstva vysokozasvoyuvanykh kormiv [Analysis of designs of technical means for the production of highly digestible feed]. Zahal'noderzhavnyy mizhvidomchyy naukovy-tekhnichnyy zbirnyk KNTU «Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kykh mashyn». Vyp. 43. CH.1. Kirovohrad: KNTU. pp. 179-184. [in Ukrainian].
- [13] Pavlichenko, V. M., Troyitska, O. O., Lykhodid, V. V. (2012). Obruntuvannya tekhniko-tekhnolohichnykh osnov enerhooshchadnoho vyrobnytstva kormovoyi dobavky na osnovi roslynnoyi syrovyny [Substantiation of technical and technological bases of energy-saving production of feed additives based on vegetable raw materials]. Mekhanizatsiya, ekolohizatsiya ta konvertatsiya biosyrovyny v tvarynnytsvtvi: zb. nauk. prats'. In-t mekh tvarynnytsvtva NAAN. Zaporizhzhya. Vyp. 1 (9). pp. 10-21. [in Ukrainian].
- [14] Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V., Luts, P. M., Sichkar, A. V., Doruda, S. O. (2014). Obruntuvannya optimal'nykh rezhymiv roboty udoskonalenoho zrazka rotorno-kavitatsiyonnoho dysperhatora pry podribnenni roslynnykh kormiv [Substantiation of the optimal modes of operation of an improved sample of a rotary-cavitation dispersant during grinding of plant feeds]. Zahal'noderzhavnyy mizhvidomchyy naukovy-tekhnichnyy zbirnyk KNTU «Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kykh mashyn». Vyp. 44. CH.1. Kirovohrad: KNTU. pp. 252-258. [in Ukrainian].
- [15] Aliyev, E. B., Luts, P. M., Vereta, V. V. (2019). Obruntuvannya konstruktyvno-tekhnolohichnoyi skhemy rotorno-kavitatsiyonnoho dysperhatora kormosumishey [Substantiation of the structural and technological scheme of the rotary-cavitation dispersant of forages]. Materialy Vseukrayins'koyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi «Suchasni problemy ta tekhnolohiyi ahraryonnoho sektoru Ukrayiny». 21 lystopada 2019. Nizhyn. pp. 15-23. [in Ukrainian].
- [16] Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH – CUPRINS. Vol. 54, Nr. 1. 2018. P. 95-104. [in English].
- [17] Aliyev, E. B., Labatyuk, Yu. M. (2017). Chysel'ne modelyuvannya mekhaniko-tekhnolohichnykh protsesiv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Numerical modeling of mechanical and technological processes of agroindustrial production]. Suchasni problemy vdoskonalennya tekhnichnykh system i tekhnolohiy u tvarynnytsvtvi. Visnyk Kharkivs'koho Natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Kharkiv. Vyp. 180. pp. 67-71. [in Ukrainian].

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
СХЕМЫ КАВИТАЦИОННОГО ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНИЗАТОРА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА КОРМОВЫЕ ЦЕЛИ**

Актуальной задачей является повышение эффективности приготовления качественных кормов за счет применения технологических процессов диспергирования и гомогенизации с



кавитационной обработкой кормовых компонентов. Целью исследований является обоснование конструктивно-технологической схемы кавитационного диспергатора-гомогенизатора сельскохозяйственного сырья растительного происхождения на кормовые цели. В результате исследований предложена и обоснована конструкция рабочих органов (ротор и статор) кавитационного диспергатора-гомогенизатора. Конструктивно резонаторы статора и конфузторы ротора в момент их сопоставления образуют лопасти, кривизна которых повторяет кривизну рабочего колеса центробежного насоса. Для проверки работы предлагаемых рабочих органов кавитационного диспергатора-гомогенизатора проведено численное моделирование с использованием программного пакета Star CCM+. Моделирование проводилось с использованием модели многофазной взаимодействия, Ейлеровой многофазности, метода объемной жидкости (VOF). Движение фаз подчиняется $k-\epsilon$ модели турбулентности. При первом приближении смесь представлялась как двухфазная среда жидкость-газ, при этом газом является газообразная фаза жидкости. Термодинамическое состояние смеси допускался, как разрешающая многофазная температура. Было принято, что жидкость в процессе движения имела постоянную плотность, а газ был идеальным. Взаимодействие между фазами жидкость-газ подчинялась модели объемной жидкости VOF-VOF и кавитации Schnerr-Sauer. В результате численного моделирования процесса кавитационного диспергирования на разработанной конструкции доказана ее эффективность в качестве насоса для перекачивания жидкости с компонентами кормовой смеси, а также в качестве измельчителя используя гидравлический удар, который образуется в результате явления кавитации в резонаторах статора и конфузторах ротора.

Ключевые слова: животноводство, кормообеспечение, переработка, диспергатор, кавитация.

Рис. 8. Лит. 17.

SUBSTANTIATION OF THE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE CAVITATION DISPERSATOR-HOMOGENIZER OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS OF PLANT ORIGIN FOR FODDER PURPOSES

An urgent task is to increase the efficiency of preparation of high-quality feed through the use of technological processes of dispersion and homogenization with cavitation processing of feed components. The aim of the research is to substantiate the constructive-technological scheme of cavitation dispersant-homogenizer of agricultural raw materials of plant origin for feed purposes. As a result of research, the design of the working bodies (rotor and stator) of the cavitation dispersant-homogenizer was proposed and justified. Structurally, stator resonators and rotor confusers at the moment of their comparison form blades, the curvature of which repeats the curvature of the impeller of a centrifugal pump. To verify the operation of the proposed working bodies of the cavitation dispersant-homogenizer, numerical simulation was performed using the Star CCM + software package. Modeling was carried out using the model of multiphase interaction, Eulerian multiphase, volumetric fluid method (VOF). The phase motion obeys the $k-\epsilon$ turbulence model. At the first, the approximate mixture was presented as a two-phase liquid-gas medium, while the gas is the gaseous phase of the liquid. The thermodynamic state of the mixture was allowed as a resolving multiphase temperature. It was assumed that the liquid in the process of movement had a constant density, and the gas was ideal. The interaction between the liquid-gas phases obeyed the VOF-VOF bulk fluid and Schnerr-Sauer cavitation models. As a result of numerical simulation of the cavitation dispersion process on the developed design, its effectiveness is proved as a pump for pumping liquids with components of the feed mixture, as well as a grinder using a hydro-shock, which is formed as a result of cavitation in the stator resonators and rotor confusers.

Key words: livestock, feed supply, processing, dispersant, cavitation.

Pic. 8. Ref. 17.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алієв Ельчин Бахтияр огли – доктор технічних наук, старший дослідник, доцент кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: aliev@meta.ua).

Миколенко Світлана Юрївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000).



Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Малєгін Роман Дмитрович – магістрант кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000).

Алиев Эльчин Бахтияр оглы – доктор технических наук, старший исследователь, доцент кафедры механизации производственных процессов в животноводстве Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина, 49000, e-mail: aliev@meta.ua).

Миколенко Светлана Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина, 49000).

Яропуд Віталій Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования сельскохозяйственного производства Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Малєгін Роман Дмитриевич – магістрант кафедри механізації производственных процессов в животноводстве Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, Украина, 49000).

Aliyev Yelchin – Doctor of Technical Sciences, senior researcher, associate professor of the departments of mechanization of production processes in animal husbandry of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S.Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: aliev@meta.ua).

Mykolenko Svitlana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Agricultural Products Department of Dnipro State Agrarian and Economic University (25, Serhiy Yefremova St., Dnipro, Ukraine, 49000).

Yaropud Vitaliy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com).

Malegin Roman – undergraduate of the departments of mechanization of production processes in animal husbandry of the Dnipro State Agrarian and Economic University (25 Sergiy Efremov St., Dnipro, Ukraine, 49000).

Додаток Г

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР**



**ОЛІЙНІ КУЛЬТУРИ:
СЬОГОДЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

**ЗБІРНИК ТЕЗ
МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ**

14 травня 2020 р.

Запоріжжя • 2020

УДК 633

ББК 41/42

*Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України
(протокол № 5 від 27 травня 2020 р.)*

**Олійні культури: сьогодення та перспективи. Збірник тез
Міжнародної наукової інтернет-конференції (14 травня 2020 р.).
Запоріжжя. ІОК НААН, 2020. – 98 с.**

Викладено матеріали наукових досліджень, виконаних вченими науково-дослідних установ та вищих навчальних закладів різних країн з питань селекції, насінництва, генетики, фізіології, біотехнології, рослинництва, землеробства, механізації, переробки та економіки олійних культур. Видання представляє інтерес для науковців, викладачів, аспірантів, студентів аграрних і біологічних вузів та сільгоспвиробників.

Автори опублікованих тез доповідей відповідальні за патентну чистоту і точність наведених фактів, цитат, власних імен, географічних назв, а також за розголошення даних, які не підлягають публікації у відкритих засобах масової інформації.

УДК 631.363.2

Э. Б. Алиев, кандидат технических наук, старший исследователь, заведующий отделом технико-технологического обеспечения семеноводства ¹, доцент ²

О. Ю. Алиева, аспирантка ¹

Р. Д. Малегин, магистрант ²

¹ Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины, г. Запорожье, Украина

² Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина

E-mail: aliev@meta.ua

БЕЗОТХОДНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СЕМЯН САФЛОРА В КОРМА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Важнейшей составляющей успеха производства животноводческой продукции является создание прочной кормовой базы для обеспечения потребностей отрасли животноводства. Кроме зерновых культур большой кормовой потенциал имеют масличные культуры, такие как сафлор и продукты его переработки. Физико-химический состав семян сафлора достаточно уникален: высокое содержание протеина, большой спектр жирных кислот и витаминов. Поэтому актуальной задачей повышения качества кормовой базы является создание нового технико-технологического обеспечения для безотходной переработки семян сафлора в корма для органического животноводства.

Целью исследований является усовершенствование технологической линии комплексной безотходной переработки семян сафлора в корма для органического животноводства.

Предложенная линия включает следующие этапы технологического процесса (рис. 1).

МЕХАНІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕРОБКА ОЛІЙНІЇ СИРОВИНИ



Рисунок 1 – Усовершенствованная технологическая линия комплексной безотходной переработки семян сафлора в корма для органического животноводства

Из товарных семян сафлора с использованием прессы получаем нефильтованное масло и жмых. Нефильтованное масло проходит через линию фильтрации, в результате чего выделяется очищенное масло, которое идет на продовольственные цели, и фуз, что используется как высокопитательная кормовая добавка. Жмых измельчается и разделяется на две фракции – белковую и лужистую. Лужистая фракция используется как один из компонентов для изготовления топливных брикетов, а белковая фракция может использоваться как компонент при получении сухих кормовых гранул. Также белковая фракция вместе с фузом, фуражным зерном, зерноотходами и премиксами с использованием кавитационного диспергатора перерабатываются в жидкий корм.

<i>Таценко О. В.</i> Твердість ґрунту і її зміна в обробітках під яровий ріпак для умов Сумщини	71
<i>Цехмейструк М. Г., Шелякін В. О., Глибокий О. М.</i> Урожайність кондитерського соняшнику при використанні бактеріальних препаратів	73
<i>Чабан В. І., Подобед О. Ю., Клявзо С. П.</i> Продуктивний потенціал соняшнику та вплив умов середовища на його рівень в північному Степу України	75
<i>Чабан В. І., Кротінов І. В., Коцюбан Д. А. Коцюбан Н. А.</i> Урожай соняшнику та винос елементів живлення залежно від систем удобрення в сівозмінах Степу	77
МЕХАНІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕРОБКА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	79
<i>Алиев Э. Б., Алиева О. Ю., Малегин Р. Д.</i> Безотходная переработка семян сафлора в корма для органического животноводства	80
ЕКОНОМІКА ТА ІННОВАЦІЇ	82
<i>Гончаров С. В.</i> Особенности формирования сортимента сои	83
<i>Кернасюк Ю. В., Сергієнко О. Д.</i> Олійні культури в системі сталого розвитку сільськогосподарського виробництва зони Степу	84
<i>Кузьменко О. Р., Гайдаш Є. В., Белка О. В.</i> Ріпак озимий у Державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення в Україні	88
<i>Кузьменко О. Р., Гайдаш Є. В.</i> Сорти гірчиці селекції Інституту олійних культур НААН у Державному реєстрі	90
<i>Чехова І. В.</i> Сучасний стан виробництва олійних культур в Україні і перспективи їх розвитку	92
	97

Додаток Д

Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки”. – 2020

УДК 631.363.2

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРГАТОРІВ РІДКИХ КОРМІВ

Алієв Е.Б., д.т.н., старш. дослід., Малегін Р.Д., магістрант
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет)

Якість рідких кормів основним чином визначається технологічними операціями при їх приготуванні. По-перше рідкі корми повинні бути однорідними за фракційним складом. Тобто процес подрібнення повинен забезпечувати однаковий фракційний склад за кожним з компонентів, що входить до складу корму. По-друге корми повинні бути однорідними по розподілу компонентів в суміші. Тобто процес змішування повинен забезпечувати високий коефіцієнт варіації розподілу компонентів у всьому об'ємі (або масі) суміші. По-третє рідкі корми повинні зберігати всі поживні речовини і вітамінні комплекси, не містити шкідливих речовин, забезпечуючи вимоги безвідходності трансформації рослинної сировини вздовж харчового ланцюга. Тобто приготування кормів повинно містити такі технологічні процеси, що задовольняють зазначеним умовам [1].

Вищезазначені вимоги відповідають процесу диспергування і гомогенізації кормових компонентів із застосуванням кавітаційної обробки. Диспергування (dispersion) – технологічний процес тонкого подрібнення та розподілу в об'ємі твердого матеріалу, рідини або газу, в результаті якого виникають дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії, аерозолі. В свою чергу гомогенізація (homogenization) – технологічний процес, в ході якого зменшується ступінь неоднорідності розподілу компонентів і фаз в об'ємі гетерофазної системи. Кавітація (cavitation) – фізичний процес утворення бульбашок (каверн) в рідких середовищах, з подальшим їх спаданням і вивільненням великої кількості енергії (ударна хвиля), що виникає в результаті зовнішніх фізичних впливів. Тобто кавітаційна обробка компонентів кормів дозволяє їх подрібнювати за рахунок дії ударної хвилі [2].

Тому актуальною задачею є підвищення ефективності приготування якісних рідких кормів за рахунок застосування технологічних процесів диспергування і гомогенізації із кавітаційною обробкою кормових компонентів.

Список літератури:

1. Скрыль И. И., Ковальчук А. Н. Кавитационная технология и оборудование для производства жидких кормов. Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки», 15 октября 2011 г. Красноярск. КГАУ, 2011.

2. Алієв Е.Б., Миколенко С.Ю., Яропуд В.М., Малегін Р.Д. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження на кормові цілі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця. 2020. № 2 (109). С. 5-15. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-1.

**ХНТУСГ
ННІ МСМ**



17-18 ЖОВТНЯ
2020

Матеріали XXI Міжнародної
наукової конференції

“СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ”

присвяченої 90-річчю

Харківського національного технічного університету
сільського господарства імені Петра Василенка

та

120-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка

ТРВАРК.METALCONTROL.COM.UA

Міністерство освіти і науки України
Національна академія аграрних наук України
Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка

МАТЕРІАЛИ

XXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ „СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ”

присвяченої 90-річчю Харківського
національного технічного університету
сільського господарства ім. П. Василенка
та

120-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка

17-18 жовтня 2020 року

Харків – 2020

ISSN 2519-4194

Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки” – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 370 с.

Головний редактор	Нанка Олександр Володимирович, академік УНАНЕТ, ректор ХНТУСГ імені Петра Василенка
Заступник головного редактора	Мельник Віктор Іванович, проректор ХНТУСГ імені Петра Василенка, д.т.н., професор
Редактор	Власовець Віталій Михайлович, директор ННІ МСМ, доктор технічних наук, професор

© Харківський національний
технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка

2020 р.

ЗМІСТ

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ БОКОВИХ СТИНОК НА ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІБРОРЕШЕТА	5
Півень М.В.	
ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРГАТОРІВ РІДКИХ КОРМІВ	7
Алієв Е.Б., Малєгін Р.Д.	
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ	8
Алієв Е.Б., Махиня О.В.	
РОЗВИТОК ВОДНЕВОГО ГОСПОДАРСТВА В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	9
Нагорний А.К.	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ БРИКЕТУВАННЯ ШНЕКОВИМ МЕХАНІЗМОМ	14
Єременко О.І., Василенков В.Є., Руденко Д.Т.	
ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОЩУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОШКУ-БАРВНИКА З ПЕРЦЮ ОВОЧЕВОГО	16
Різак М.Ю., Лавренко С.О.	
АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯМ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	18
Аулін В.В., Панков А.О., Гриньків А.В., Лівіцький О.М., Щеглов А.В.	
АНАЛІЗ ВПЛИВУ НА ПРОХІДНІСТЬ АВТОМОБІЛІВ КОНСТРУКТИВНИХ ФАКТОРІВ	20
Запорожченко Я.О., Лебедев А.Т.	
ОБҐРУНТУВАННЯ СТВОРЕННЯ МЕТОДИКИ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ НОВОЇ І ЗАМІНЮВАНОЮ ТЕХНІКИ	21
Солонець І.О., Лебедев А.Т.	
ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ	22
Альбота Д.С.	
КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗРОБКИ АДАПТОВАНИХ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	24
Барановський В.М.	
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБИРАННЯ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	25
Барановський В.М., Теслюк В.В., Онищенко В.Б.	
ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	26
Барсукова Г.В.	
ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДИНКІВ	27
Барсукова Г.В.	
ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРУВАННЯ АЕРОПОННИХ СИСТЕМ В СФЕРУ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ	28
Безручко Н.В., Лавренко С.О.	
ДАТЧИКИ LiDAR У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	30
Білецький В.Р., Бондарчук М.О.	
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ	33
Мікуліна М.О., Богуславська В.С.	

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

МАТЕРІАЛИ

**XXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
„СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ”**

присвяченої 90-річчю Харківського
національного технічного університету
сільського господарства ім. П. Василенка

та

120-й річниці з дня народження академіка
Петра Мефодійовича Василенка

17-18 жовтня 2020 року

Матеріали публікуються у авторському варіанті

Відповідальний за випуск

В.І. Мельник

Редактор

В.М. Власовець



UDC 631.363.2

TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PROVISION OF COMPLEX WASTE PROCESSING OF PLANT RAW OIL CULTURES IN FOOD FOR ORGANIC ANIMALS

E. Aliiev^{1,2}, O. Aliieva², R. Malegin²

Article info

Received
12.05.2020

Accepted
24.06.2020

¹ Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1, Institut'ska Str., Sunny pos., Zaporozhye district, Zaporozhye region, 69093, Ukraine

² Dnipro State Agrarian and Economic University
25, Sergiy Yefremov Str., Dnipro, 49600, Ukraine

E-mail:
aliev@meta.ua

Aliiev, E., Aliieva, O., Malegin, R. (2020). Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. Scientific Horizons, 07 (92), 112–119. doi: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

The most important component of the success of livestock production is the creation of a solid feed base to meet the needs of the livestock industry. In addition to cereals, oilseeds (flax oil, safflower, sesame seeds, etc.) and products of their processing have great fodder potential. Its physicochemical composition is quite unique: quite high protein content, a large range of fatty acids and vitamins. Therefore, the urgent task of improving the quality of the feed base is the creation of the latest technical and technological support for the waste-free processing of vegetable raw materials of oil crops into feed for organic animal husbandry. The purpose of the research is to improve the technological line of complex non-waste processing of vegetable raw materials of oilseeds into feed for organic animal husbandry. To achieve this goal, the following research objectives were set: to analyze the technologies of processing vegetable oilseeds into feed, to develop a technological line of complex waste-free processing of vegetable oilseeds to feed, to substantiate the composition of the relevant technical and technological support. The studies were conducted using patent information retrieval methods and analysis of previous research results. As a result of the analysis of modern technical and technological support for the processing of vegetable raw materials, the technological line of complex waste-free processing of waste oil-fat complex of oilseeds in feeds for organic animal husbandry was improved. Taking into account the need for both dry and liquid feeds, the processes of granulation and cavitation dispersion of the corresponding feeds were introduced into the production line. This coverage of fodder production makes it possible to use the proposed feed preparation line as universal.

Key words: animal husbandry, feed, processing, oilseeds, granulator, dispersant.

ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХОДНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР У КОРМИ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ТВАРИННИЦТВА

Е. Б. Алієв^{1,2}, О. Ю. Алієва², Р. Д. Малєгін²

¹ Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська, 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., 69093, Україна

² Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49600, Україна

Найважливішою складовою успіху виробництва тваринницької продукції є створення міцної кормової бази для забезпечення потреб галузі тваринництва. Окрім зернових культур великий кормовий потенціал мають олійні культури (льон олійний, сафлор, кунжут та ін.) і продукти їх

переробки. Їх фізико-хімічний склад є досить унікальним: достатньо високий вміст протеїну, великий спектр жирних кислот і вітамінів. Тому, актуальним завданням підвищення якості кормової бази є створення новітнього техніко-технологічного забезпечення для безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва. Метою досліджень є удосконалення технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва. Для досягнення поставленої мети було поставлені наступні завдання досліджень: провести аналіз технологій переробки рослинної сировини олійних культур у корми, розробити технологічну лінію комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми, обґрунтувати склад відповідного техніко-технологічного забезпечення. Дослідження проводилися з використанням методів патентно-інформаційного пошуку і аналізу результатів попередніх досліджень. В результаті аналізу сучасного техніко-технологічного забезпечення переробки рослинної сировини проведено удосконалення технологічної лінії комплексної безвідходної переробки відходів олійних культур у корми для органічного тваринництва. Враховуючи необхідність в отриманні як сухих, так і рідких кормів до технологічної лінії введено процеси гранулювання і кавітаційного диспергування відповідних кормів. Таке охоплення продуктів кормовиробництва дозволяє у подальшому використовувати пропонувану технологічну лінію приготування кормів як універсальну.

Ключові слова: тваринництво, кормозабезпечення, переробка, олійні культури, гранулятор, диспергатор.

Вступ

Найважливішою складовою успіху виробництва тваринницької продукції є створення міцної кормової бази для забезпечення потреб галузі тваринництва. Органічне тваринництво, яке набуло особливої уваги, передбачає використання екологічно чистих кормових компонентів, які доцільно доставляти тваринам у необхідній кількості. Забезпечення такого стабільного функціонування органічного сектору тваринницької галузі України потребує розробки комплексів адекватних моделей розвитку органічного кормовиробництва та виявлення базових закономірностей впливу технологій кормозабезпечення на органічність корму для задоволення потреб у кормах органічного тваринництва, що є необхідним й актуальним завданням (Shatskyy, 1998; Zaytsev et al., 2015; Chernovol et al., 2018).

Розробка нового техніко-технологічного забезпечення кормовиробництва для органічного тваринництва повинна проводитися із урахуванням їх екологічності. Нове забезпечення кормовиробництва оцінюється згідно з розробленими для органічного тваринництва критеріями ефективності, ресурсо- і енергоощадності та конкурентоспроможності продукції тваринництва у напрямку підвищення якості кормової бази за допомогою технологічних і технічних новацій (Chalaya et al., 2019).

Окрім зернових культур великий кормовий потенціал мають олійні культури (льон олійний,

сафлор, кунжут та ін.) і продукти їх переробки. Їх фізико-хімічний склад є досить унікальним: достатньо високий вміст протеїну, великий спектр жирних кислот і вітамінів (Shevchenko et al., 2017). Тому актуальним завданням підвищення якості кормової бази є створення новітнього техніко-технологічного забезпечення для безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва.

Сучасне техніко-технологічне забезпечення для переробки рослинної сировини олійних культур зводиться до процесу отримання олії і макухи (вміст протеїну – 19–24 %, вміст жиру – 9–13 %), подальшого подрібнення макухи і введення її в комбікорми (Aliiev et al., 2017). В зв'язку з чим використання її для годівлі свиней і птиці неефективне через підвищений вміст клітковини (16–19 %), тому для поліпшення поживної цінності й розширення сфери використання високолушпинної макухи для годівлі усіх видів тварин і птиці необхідна додаткова операція з розділення її на білкову і лушпинну фракції. Білкова фракція (вміст протеїну – 34–38 %, вміст клітковини – 4–6 %) може бути використана на кормові цілі, а лушпинна (вміст протеїну – 2–5 %, вміст клітковини – 38–40 %) – в якості сировини для твердого біопалива (паливних брикетів). В Інституті олійних культур НААН розроблена технологія переробки макухи з насіння олійних культур із отриманням протеїнових добавок та

твердого біопалива з лушпинної фракції (Aliiev et al., 2017). Технологія зводиться до наступних операцій технологічного процесу: видавлювання олії і отримання макухи на прес-екструдері; подрібнення макухи молотковою дробаркою; механічне фракціонування на шітковому роторному просіювачі; отримання кормових гранул з просіяної білкової фракції на грануляторі; отримання паливних брикетів з лушпинної фракції на прес-брикетувальнику.

Дана технологія лише частково вирішує питання безвідходності переробки рослинної сировини олійних культур. Виникає необхідність не тільки в сухих гранульованих кормах для птиці, але й у рідких кормах для свиней. Також залишається без уваги фуз, який отримано після фільтрації олії. Висока кормова цінність фуза обумовлена високим вмістом протеїну (23–26 %) та жиру (43–47 %) і низьким вмістом клітковини (7–10 %).

В зв'язку з цим виникає необхідність в удосконаленні розробленої технологічної лінії у напрямку приготування рідких кормів для свиней.

Матеріали та методи

Метою досліджень є удосконалення технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання досліджень: провести аналіз технологій переробки рослинної сировини олійних культур у корми, розробити технологічну лінію комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми, обґрунтувати склад відповідного техніко-технологічного забезпечення. Дослідження проводилися з використанням методів патентно-інформаційного пошуку і аналізу результатів попередніх досліджень.

Результати досліджень та обговорення

Аналіз використання рідких кормів для відгодівлі свиней дозволив виділити наступні переваги:

- рідкі корми є більш нативними фізіологічним потребам тварини;
- в процесі приготування і роздавання є можливість поступово замішувати раціон тварини;
- під час приготування і роздавання можна використовувати прецизійне дозування корму

і його компонентів;

- можливість прецизійного внесення мікродобавок, преміксів, медикаментів тощо;
- незначні втрати корму;
- можливість не використовувати напувалки;
- коефіцієнт конверсії корму в порівнянні із сухими кормами знижується до 10 %;
- зменшується кількість гною, що позитивно впливає на економічні та екологічні аспекти виробництва;
- можливість одночасно застосовувати різні раціони для різних груп тварин, які знаходяться в одному приміщенні;
- висока швидкість доставки рідкого корму за допомогою трубопроводів;
- гнучкий процес рідкої годівлі, є можливість оперативно корегувати раціон безпосередньо під час роздавання;
- при рідкій годівлі менші затрати праці на 25 %, витрати електроенергії на 20 %, менший вплив людського фактору на процес приготування і роздачі;
- можливість ферментації кормової суміші, що підвищує біодоступність речовин.

Однак зазначені переваги з'являються лише в результаті якісного приготування рідкого корму, а саме забезпечення його структурності і однорідності по всьому об'єму. Цього можна досягти за рахунок впровадження технології диспергування (або гомогенізації) з використанням кавітаційної обробки.

Згідно з дослідженнями (Skryl et al., 2011) саме кавітаційне диспергування рідких кормів дозволяє отримати приріст живої маси свиней на відгодівлі – на 20–25 %, збільшення багатопліддя свиноматок – на 10–15 %, молочності – на 19–23 %, виключений прохолост – до 9 %.

У процесі кавітаційного диспергування компонентів кормів відбувається часткове руйнування клітковини і целюлози, розщеплення білка до амінокислот і олігопептидів, які всмоктуються в кров, минаючи ферментативну систему тварини (Bykov et al., 2011). У варіантах переробки зернових і олійних культур крохмальні зерна перетворюються в цукри, відбувається емульгація жирів, створюються стійкі з'єднання молекул поживних речовин з молекулами води (рис. 1).

Водночас переробка корму на кавітаційних установках не призводить до жорсткої зміни білкового комплексу, характерного для інших типів термічних обробок, зберігаються

натуральні вітаміни і ферменти (амілаза). В результаті виробляються гомогенні кормові суміші з оптимальною для травлення тварин вологістю (69–72 %) і дисперсністю (0,6–1,2 мм.) (Shevchenko et al., 2013).

Зокрема, в кормових сумішах, що готують з компонентів в нативному вигляді (зерно

злакових, бобових та ін.), зберігається жива субстанція (гормони, ферменти тощо) (Pavlichenko et al., 2012; Pavlichenko et al., 2014). У процесі обробки вони позбавляються від олігосахарів і антиметаболітів. Кормові суміші виробляються в пастеризованому вигляді й готові до вживання.

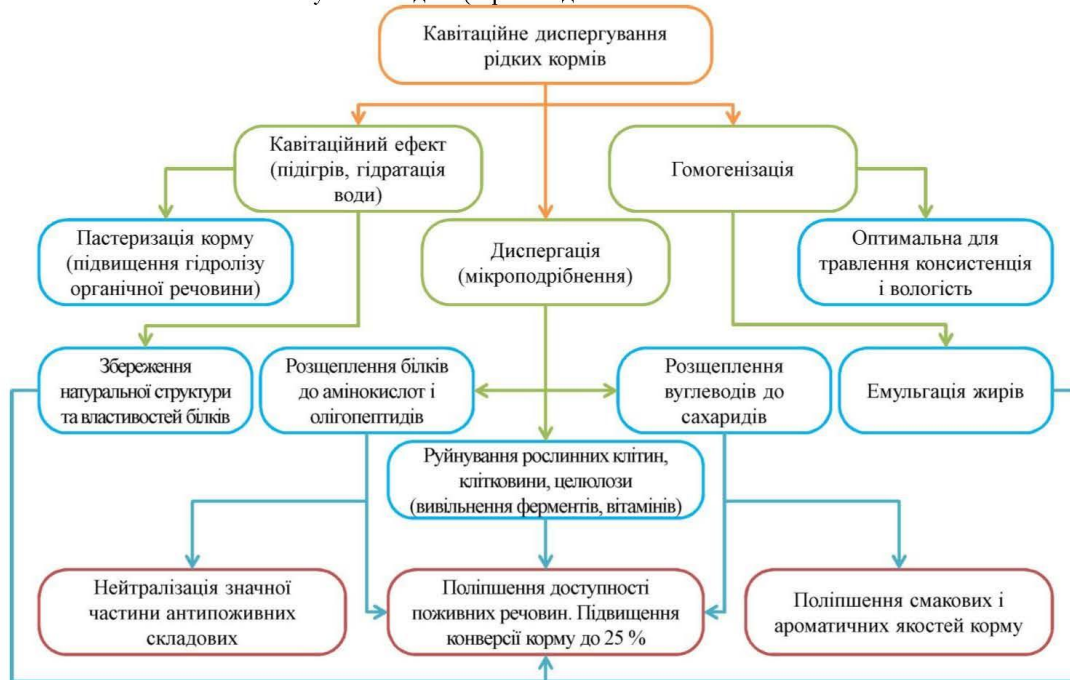


Рис. 1. Ефективність кавітаційного диспергування рідких кормів

На підставі вищезазначеного зроблено такі висновки:

- виробництво рідких кормів і кормових добавок на основі кавітаційної диспергації є ефективним, з точки зору економіки, передовим методом, що забезпечує покращення біологічних і хімічних якостей кормів;
- метод дозволяє застосовувати весь спектр компонентів рослинної сировини;
- отримати гомогенну рідку кормову суміш з добрими органолептичними якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини тощо);
- кавітаційна обробка надає м'яку дію на протеїновий комплекс рослинної сировини, що забезпечує високий ступінь емульгації жирів, який призводить до збільшення його перетравлюваності тваринами (на 6,3 %);

- збільшується доступність мономірних елементів за рахунок зниження ефекту важкоперетравності клітковини;
- збільшується екстракція біологічно активних речовин та розчинних білків;
- збільшується засвоєність трав'яного корму та його загальна біологічна цінність;
- спрощується технологічний процес виробництва білково-вітамінного трав'яного корму;
- зменшуються втрати поживних речовин;
- знижуються енерговитрати при виробництві білково-вітамінного трав'яного корму;
- збільшується до 70 % вміст протеїну через білки жомової частини;
- технологія кавітаційної обробки всієї маси рослинної сировини забезпечує позбавлення від необхідності переробки

- кавітаційний ефект при диспергуванні зеленої маси забезпечує максимальне екстрагування компонентів із рослинних клітин;
- кавітаційна обробка доречна для зеленої маси і для білковмісних компонентів (пивна дробина, меляса, відходи спиртопереробної промисловості тощо);
- можна стверджувати про високу ефективність кормів, які біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.

Вищезазначені переваги процесу диспергування рідких кормів дозволяють включити їх до технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва (рис. 2).

Запропонована лінія включає наступні етапи технологічного процесу. З товарного насіння олійних культур за допомогою пресу отримуємо нефільтровану олію і макуху. Нефільтрована олія проходить через лінію фільтрації, в результаті чого виділяється очищена олія, яка йде на продовольчі цілі і фуз, який використовується як високопоживна кормова добавка. Макуха подрібнюється і розділюється на дві фракції: білкова і лушпинна. Лушпинна фракція використовується як один з компонентів для виготовлення паливних брикетів, а білкова фракція може використовуватися як компонент при отриманні сухих кормових гранул. Також білкова фракція разом із фузом, фуражним зерном, зерновідходами і преміксами з використанням кавітаційного диспергатора перероблюються у рідкий корм.



Рис. 2. Удосконалена технологічна лінія комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва

Згідно з рис. 2, технологічна лінія комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва повинна мати в своєму складі наступне техніко-технологічне забезпечення: подрібнювач і просіювач макухи, гранулятор для виробництва сухих кормових гранул, диспергатор

для виробництва рідкого корму.

Порівняння удосконаленої технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини із базовою, що розроблена в Інституті олійних культур НААН, проведено на основі техніко-економічної оцінки. Технічна характеристика обладнання представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Технічна характеристика обладнання

Технологічна лінія	Присутні в обох варіантах					Базова	Удоско- налена
	Транс- портер для пресу	Прес- екструдер	Лінія фільт- рації	Транс- портер для дробарки	Моло- ткова дро- барка	Грану- лятор	Диспер- гатор
Марка	ШТ-3	ММШ-60	ЛФ-2	ШТ-3	ДМ-800	Г-200	РДН-2
Продуктивність, кг/год.	3000	60	70	3000	800	200	2000
Потужність, кВт	2,2	7,5	2,2	2,2	7,5	7,5	4
Вихід олії	0	0,25	0	0	0	0	0
Ціна, грн	10000	57800	37200	10000	14800	30500	69200

За вихідні дані було прийнято: вартість 1 кг насіння льону олійного – 12,5 грн/кг; вартість 1 кг лаяної олії – 60 грн/кг; вартість 1 кг рідкого корму – 8,6 грн/кг; вартість 1 кг брикетів – 2,2 грн/кг; вартість 1 кг кормових пелет – 7,9 грн/кг; вартість 1 кг води – 0,05 грн; вартість 1 кВт електроенергії – 1,81 грн; тарифна ставка робітника – 25 грн/год.

В результаті техніко-економічного

розрахунку отримані дані, які зведені у табл. 2. Як видно з табл. 2, сукупні питомі затрати для базової й удосконаленої технологічних ліній практично однакові: 14,37 грн/кг і 14,38 грн/кг, відповідно. Однак водночас питомий прибуток вищий у удосконаленої технологічної лінії і складає 5,41 грн/кг, що на 2,15 грн/кг вище, ніж у базової.

Таблиця 2. Результати техніко-економічного розрахунку удосконаленої і базової технологічних ліній комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва

Показник	Базова технологічна лінія	Удосконалена технологічна лінія
1	2	3
Маса насіння, кг	1000	1000
Маса отриманої олії, кг	250	250
Маса фуза, кг	25	25
Маса отриманої макухи, кг	725	725
Маса води, кг	0	206,25
Маса білкової фракції, кг	181,25	181,25
Маса рідкого корму, кг	0	412,5
Маса лушпинної фракції (брекетів), кг	543,75	543,75
Сукупні експлуатаційні затрати, грн	872,42	864,83
Питомі експлуатаційні затрати, грн/кг	0,87	0,86
Вартість насіння, грн	12500,00	12500,00
Вартість отриманої олії, грн	15000,00	15000,00
Вартість рідкого корму, грн	0	3584,63
Вартість кормових пелетів, грн	1431,88	0
Вартість брикетів, грн	1196,25	1196,25
Вартість води, грн	0	10,31

1	2	3
Питома вартість отриманої олії, грн	15,00	15,00
Питома вартість кормових пелетів, грн	1,43	3,58
Питомі затрати на логістику, грн/кг	1,20	0,80
Питома вартість брикетів, грн	0,80	1,20
Затрати на логістику, грн	800,00	800,00
Вартість отриманої продукції, грн	17628,13	19780,88
Питома вартість отриманої продукції, грн/кг	17,63	19,78
Сукупні затрати, грн	14372,42	14375,14
Сукупні питомі затрати, грн/кг	14,37	14,38
Прибуток, грн	3255,70	5405,73
Питомий прибуток, грн/кг	3,26	5,41

Висновки

В результаті аналізу сучасного техніко-технологічного забезпечення переробки рослинної сировини проведено удосконалення технологічної лінії комплексної безвідходної переробки відходів олійних культур у корми для органічного тваринництва. Враховуючи необхідність у отриманні як сухих, так і рідких кормів до технологічної лінії введено процеси гранулювання і кавітаційного диспергування відповідних кормів. Таке охоплення продуктів кормовиробництва дозволяє використовувати пропонувану технологічну лінію приготування кормів як універсальну.

В результаті техніко-економічного розрахунку встановлено, що сукупні питомі затрати для базової й удосконаленої технологічних ліній практично однакові: 14,37 грн/кг і 14,38 грн/кг, відповідно. Однак питомий прибуток вищий у удосконаленої технологічної лінії і складає 5,41 грн/кг, що на 2,15 грн/кг вище, ніж у базової. Враховуючи це, можна стверджувати про ефективність удосконаленої технологічної лінії комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва.

References

Aliiev, E. B., Patsula, O. M. & Hrytsenko, V. T. (2017). *Tekhnologhiia kompleksnoi bezvidkhidnoi prerobky makukhy z nasinnia oliinykh kultur z oderzhanniam vysokoiakisnykh povnotsinnykh proteinovykh dobavok u vyhliadi pelet ta tverdoho biopalyva* [Technology of complex waste-free

processing of cake from oilseeds with obtaining high-quality full-fledged protein additives in the form of pellets and solid biofuels]. *Zaporizhzhya : STATUS* [in Ukrainian].

Bykov, A. V., Kvan, O. V., Sizentsov, A. N., Mezhuieva, L. V., Rusyaeva, M. L. & Sizentsov, Y. A. (2018). Development of the technology of receiving fodder products on the basis of ultrasonic impact on cellulose containing and fatty waste. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80 (3), 236–242. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-236-242.

Chalaya, O., Nanka, A., Paliy, A., Nagornij, S. & Chalyi, O. (2019). Study of quality indicators for meat raw materials and the effectiveness of a protective technological method under conditions of different content of heavy metals in a pig diet. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (11), 74–81. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174154.

Chernovol, M., Sviren, M. & Kisilov, R. (2018). *Pryhotuvannia kormovykh sumishei kombinovanim zmishuvachem* [Preparation of feed mixtures with a combined mixer]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 2, 54–59. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201802-09> [in Ukrainian].

Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V., Luts, P. M., Sichkar, A. V. & Doruda, S. O. (2014). *Obgruntuvannia optymalnykh rezhymiv roboty udoskonalenooho zrazka rotorno-kavitatsiinoho dysperhatora pry podribnenni roslynnykh kormiv* [Substantiation of optimal operating modes of the improved sample of the rotor-cavitation dispersant at grinding of vegetable forages]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, 44 (1), 252–258 [in Ukrainian].

- Pavlichenko, V. M., Troitska, O. O. & Lykhodid, V. V. (2012). Obgruntuvannia tekhniko-tekhnologichnykh osnov enerhooshchadnoho vyrobnytstva kormovoi dobavky na osnovi roslynnoi syrovyny. [Substantiation of technical and technological bases of energy saving production of feed additive on the basis of vegetable raw materials]. *Mekhanizatsiia, ekolohizatsiia ta konvertatsiia biosyrovyny v tvarynnystvii*, 1 (9), 10–21 [in Ukrainian].
- Shatskiy, V. V. (1998). Modelirovaniye mekhanizirovannykh protsessov prigotovleniya kormov [Simulation of mechanized processes for the preparation of feed]. Zaporozhye : PTs "X-PRESS" [in Ukrainian].
- Shevchenko, I. A., Liakh, V. O., Poliakov, O. I., Soroka, A. I., Vedmedieva, K. V., Zhuravel, V. M. ... Budilka, H. I. (2017). Lon oliinyi, hirchytisia. Stratehiia vyrobnytstva oliinoi syrovyny v Ukraini (maloposhyreni kultury) [Oil raw material production strategy in Ukraine (uncommon crops)]. Zaporizhzhya : STATUS [in Ukrainian].
- Shevchenko, I. A., Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V. & Zabudchenko, V. M. (2013). Analiz konstruktсии tekhnichnykh zasobiv dlia vyrobnytstva vysokozasvoiuivanykh kormiv [Analysis of the design of technical means for the production of highly digestible feed]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, 43 (1), 179–184 [in Ukrainian].
- Shevchenko, I. A., Polyakov, O. I., Vedmedeva, K. V. & Komarova, I. B. (2017). Ryzhii, saflor, kunzhut. Stratehiia vyrobnytstva oliinoi syrovyny v Ukraini (maloposhyreni kultury) [Oil raw material production strategy in Ukraine (uncommon crops)]. Zaporizhzhya : STATUS [in Ukrainian].
- Skryl, I. I. & Kovalchuk, A. N. (2011). Kavitatsionnaya tekhnologiya i oborudovaniye dlya proizvodstva zhidkikh kormov [Cavitation technology and equipment for the production of liquid feed]. *Materialy mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsii «Problemy sovremennoy agrarnoy nauki»*. Krasnoyarsk : KGAU. Retrieved from : <http://www.kgau.ru/img/konferenc/2011/d3.doc>. [in Russian].
- Zaytsev, V. V., Konstantinov, V. A. & Kornilova, V. A. (2015). Effektivnost ispolzovaniya ekstrudirovannykh kombikormov-konsentratov v kormlenii korov [The effectiveness of the use of extruded animal feed concentrates in feeding cows]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 10 (41), 28–31. doi: <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.097> [in Russian].

НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ



Засновник, редакція, видавець –

ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Свідоцтво про державну реєстрацію
Серія КВ № 23134-12974 ІПР від 19.02.2018 р.

Науковий журнал включено до категорії Б Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата ветеринарних, економічних, сільськогосподарських та технічних наук зі спеціальностей – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 101, 133, 183, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 211, 281, 292 (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р., наказ МОН України № 409 від 17.03.2020 р.).

Журнал включено до міжнародних наукометричних баз і каталогів наукових видань: Index Copernicus; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Open Academic Journals Index (OAJI); Google Scholar; Crossref; Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського.

Друкується за рішенням Вченої ради ЖНАЕУ, протокол № 11 від 24.06.2020 р.

Підписано до друку 24.06.2020 р.

ISSN: 2663-2144

Формат 210×297. Ум. друк. арк. 24.1.
Наклад 100 пр.

© Житомирський національний
агроєкологічний університет, 2020

НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ

№ 7 (92),
2020

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Засновано 12 березня 1998 р.

Періодичність випуску: дванадцять разів на рік

Редакційна колегія:

Головний редактор: Л. Д. Романчук, д. с.-г. н. (Україна)

Заступники
головного редактора: Ю. Раманаускас, д. н. (Литва)
Л. П. Горальський, д. вет. н. (Україна)
С. М. Кухарець, д. т. н. (Україна)

Відповідальні
секретарі: Н. О. Куровська, к. е. н. (Україна)
Т. М. Тимошук, к. с.-г. н. (Україна)

Л. М. Бондарева, к. с.-г. н. (Україна)	О. В. Медведський, к. т. н. (Україна)
С. І. Веремеєнко, д. с.-г. н. (Україна)	А. М. Михайлов, д. е. н. (Україна)
В. В. Гамаюнова, д. с.-г. н. (Україна)	К. В. Молодецька, д. т. н. (Україна)
І. Г. Грабар, д. т. н. (Україна)	В. В. Мойсієнко, д. с.-г. н. (Україна)
І. М. Дідур, к. с.-г. н. (Україна)	М. Ф. Плотнікова, к. е. н. (Україна)
В. Є. Данкевич, д. е. н. (Україна)	Я.-У. Сандал, д. н. (Норвегія)
В. П. Журавльов, д. ф.-м. н. (Україна)	О. В. Скидан, д. е. н. (Україна)
А. А. Зимарова, к. б. н. (Україна)	З. Собек, д. н. (Польща)
В. В. Зіновчук, д. е. н. (Україна)	Н. М. Сорока, д. вет. н. (Україна)
Т. О. Зінчук, д. е. н. (Україна)	Р. В. Ставецька, д. с.-г. н. (Україна)
І. Є. Іванова, к. с.-г. н. (Україна)	Т. П. Федонюк, д. с.-г. н. (Україна)
І. В. Іващенко, к. б. н. (Україна)	О. В. Чайкін, к. е. н. (Україна)
Н. Л. Колеснік, к. вет. н. (Україна)	Л. В. Чижевська, д. е. н. (Україна)
Л. А. Котюк, д. б. н. (Україна)	П. Я. Чумак, к. с.-г. н. (Україна)
С. М. Кульман, к. т. н. (Україна)	Е. Шараускіс, д. н. (Литва)
Н. М. Куцмус, д. е. н. (Україна)	Л. В. Шірінян, д. е. н. (Україна)
І. Левкович, д. н. (Німеччина)	В. П. Шлапак, д. с.-г. н. (Україна)
А. Т. Мармоза, к. е. н. (Україна)	Я. Д. Ярош, д. т. н. (Україна)
О. Є. Марковська, д. с.-г. н. (Україна)	

Редагування англомовних текстів: Г. О. Хант, О. М. Мосейчук, К. А. Разумна

Літературний редактор: Л. В. Якубовська

Редагування бібліографічних списків: О. І. Касянюк, Н. Г. Яремчук

Макетування: М. М. Кравчук

Адреса редакції та видавництва:

10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7, ЖНАЕУ, Україна.

Тел. (0412) 22-04-17; E-mail: schor.znau@gmail.com; [www: http://journal.znau.edu.ua/horizons](http://journal.znau.edu.ua/horizons)

ЗМІСТ

Л. П. Горальський, І. М. Сокульський, О. М. Ковальчук, І. Ю. Горальська ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ КЛІНІЧНО ЗДОРОВИХ СОБАК ТА КОТІВ	7
Е. О. Шнуренко, А. А. Студенок, В. І. Карповський, В. О. Трокоз, Р. В. Постой ВПЛИВ ТОНУСУ АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РОСТУ У КУРЕЙ	14
О. Г. Васенко, І. В. Зінченко, К. О. Цитлішвілі, В. М. Бикасов ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ІНАКТИВАЦІЇ АНТИБІОТИКА ЦИПРОФЛОКСАЦИНА З МЕТОЮ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ТА ЗАХИСТУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	19
Л. П. Горальський, О. Ф. Дунаєвська, Н. Л. Колесник, І. М. Сокульський, І. Ю. Горальська ЦИТО- ТА ГІСТОМЕТРІЯ МЕЗЕНТЕРІАЛЬНИХ ЛІМФАТИЧНИХ ВУЗЛІВ ЖУВИНИ ТА КОНЕЙ	26
В. Г. Молдован, Ж. А. Молдован, С. І. Собчук ВПЛИВ СТРОКІВ СІВБИ ТА НОРМ ВИСІВУ НА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ СОРТІВ СОЇ З РІЗНИМ ВЕГЕТАЦІЙНИМ ПЕРІОДОМ	32
Л. С. Квасницька КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА СІВОЗМІН З РІЗНИМ НАСИЧЕННЯМ ОЛІЙНИМИ КУЛЬТУРАМИ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ	40
О. В. Сидякіна, В. Ф. Дворецький ПРОДУКТИВНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ФОНІВ ЖИВЛЕННЯ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ	45
О. В. Гурманчук, Н. М. Плотницька, О. М. Невмержицька, І. О. Павлюк, Т. М. Тимошук, Л. М. Бондарева КОНТРОЛЮВАННЯ БУР'ЯНОВОГО КОМПОНЕНТУ У ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ ЗА ВИКОРИСТАННЯ СТРАХОВИХ ГЕРБІЦИДІВ	53
В. А. Левицька, А. Б. Мушинський, А. В. Березовський МИШОПОДІБНІ ГРИЗУНИ ЯК ПЕРСИСТЕНТНЕ ДЖЕРЕЛО ТРАНСМІСИВНИХ ХВОРОБ	59
Л. Д. Романчук, В. І. Устименко, П. В. Діденко, В. В. Бадзян ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ БОРІВ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ДРЕВЛЯНСЬКИЙ»	65
Н. О. Бублієнко, О. І. Семенова, О. О. Лавринюк МЕТАНОВА ФЕРМЕНТАЦІЯ СТОКІВ СВИНОФЕРМ	74
М. Д. Камбур, А. А. Замазіт ЗМІНА СПІВВІДНОШЕННЯ КОРМІВ В РАЦІОНІ – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРІЙОМ ПІДВИЩЕННЯ РУБЦЕВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ КОРІВ	80
С. М. Кульман ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ – УНІКАЛЬНА ПРОПОЗИЦІЯ ДЛЯ ЗАЛУЧЕННЯ КЛІЄНТІВ ТА РОЗШИРЕННЯ РИНКУ ЗБУТУ ТОВАРУ	88
Д. А. Дерев'янку, В. М. Поліщук, О. М. Сукманюк, О. Д. Дерев'янку ВПЛИВ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІБРОСІПАРАТОРА НА ТРАВМУВАННЯ І ЯКІСТЬ НАСІННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ТА ЖИТА	98
В. М. Каретін КІНЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЕТАЛОННОЇ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ІНЕРЦІЙНОГО МОДУЛЯ	104
Е. Б. Алієв, О. Ю. Алієва, Р. Д. Малетін ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ БЕЗВІДХОДНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР У КОРМИ ДЛЯ ОРГАНІЧНОГО ТВАРИННИЦТВА	112
М. П. Волоха ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЦУКОСИРОВИНИ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОЧИЩЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРИ ЇХ ВИКОПУВАННІ	120
М. Я. Довжик, О. М. Калнагуз, Ю. В. Сіренко КРИВОЛІНІЙНИЙ РУХ ЧОТИРЬОХКОЛІСНОЇ МАШИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	126
І. В. Вербич, О. В. Медвідь М'ЯСНА ПРОДУКТИВНІСТЬ БУГАЙЦІВ МОЛОЧНИХ ПОРІД РІЗНИХ ГЕНОТИПІВ	136
В. П. Кирилюк, Т. М. Тимошук, Г. М. Котельницька, В. П. Барладюга, Д. Є. Долід ЗАПАСИ ПРОДУКТИВНОЇ ВОЛОГИ ТА УРОЖАЙНІСТЬ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА УДОБРЕННЯ	141
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ	149

CONTENTS

L. Horalsky, I. Sokulskii, O. Kovalchuk, I. Horalska FEATURES OF PANCREAS STRUCTURE IN CLINICALLY HEALTHY DOGS AND CATS	7
E. Shnurenko, A. Studenok, V. Karpovskiy, V. Trokoz, R. Postoi INFLUENCE OF TONE OF AUTONOMOUS NERVOUS SYSTEM ON GROWTH INTENSITY IN CHICKENS	14
O. Vasenko, I. Zinchenko, K. Tsytlshvili, V. Bikasov RESEARCH OF METHODS OF INACTIVATION OF THE ANTIBIOTIC CYPROFLOXACIN IN ORDER TO PREVENT ENVIRONMENTAL POLLUTION AND PROTECT HUMAN HEALTH ...	19
L. Horalskyi, O. Dunaievska, N. Kolesnik, I. Sokulskyi, I. Horalska CYTO- AND HISTOMETRY OF RUMINANTIA'S AND HORSES MESENTERIAL LYMPH NODES ..	26
V. Moldovan, Zh. Moldovan, S. Sobchuk INFLUENCE OF SOWING TIMES AND SOWING RATES ON BIOMETRIC INDICATORS OF SOYBEAN VARIETIES WITH DIFFERENT VEGETATION PERIOD	32
L. Kvasnitska COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF CROPS ROTATIONS WITH DIFFERENT SATURATION OF OILSEEDS IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE	40
O. Sydiakina, V. Dvoretzkyi PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT DEPENDING ON FOOD BACKGROUNDS IN THE CONDITIONS OF WESTERN POLISSIA	45
O. Gurmanchuk, N. Plotnytska, O. Nevmerzhytska, I. Pavliuk, T. Tymoshchuk, L. Bondareva CONTROL OF WEED COMPONENT IN MAIZE CROPS WHEN APPLYING POSTEMERGENT HERBICIDES	53
V. Levytska, A. Mushynskiy, A. Berezovskyi RODENTS AS A PERSISTENT SOURCE OF TICK-BORNE DISEASES	59
L. Romanchuk, V. Ustyenko, P. Didenko, V. Badzian DETERMINATION OF THE MAIN INDICATORS OF SPECIES DIVERSITY IN "DREVLYANSKY" NATURE RESERVE'S FORESTS	65
N. Bublisko, O. Semenova, O. Lavryniuk METHANE FERMENTATION OF PIG STOCK	74
M. Kambur, A. Zamazij CHANGING THE RATIO OF FEED IN THE DIET – A TECHNOLOGICAL WAY TO INCREASE SCAR FERMENTATION AND PRODUCTIVITY OF ANIMALS	80
S. Kulman DIGITALIZATION OF PRODUCTS - UNIQUE OFFER TO ATTRACT CUSTOMERS AND EXPAND SALES MARKET	88
D. Derevyanko, V. Polischuk, E. Sukmaniuk, O. Derevyanko THE EFFECTS OF THE WORKING ORGANS OF A VIBRATORY SEPARATOR ON WINTER WHEAT AND RYE DAMAGE AND QUALITY	98
V. Karetin KINEMATIC STUDY OF THE STANDARD LAYOUT CIRCUIT OF THE INERTIA MODULE	104
E. Aliiev, O. Aliieva, R. Malegin TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PROVISION OF COMPLEX WASTE PROCESSING OF PLANT RAW OIL CULTURES IN FOOD FOR ORGANIC ANIMALS	112
M. Volokha INCREASING SUGAR BEET FEEDSTOCK QUALITY THROUGH INTENSIFICATION OF ROOT CLEANING AT HARVESTING	120
M. Dovzhik, A. Kalnaguz, Yu. Sirenko CURVILINEAR MOVEMENT OF A FOUR-WHEEL MACHINE USING A SATELLITE NAVIGATION SYSTEM	126
I. Verbuch, O. Medvid DAIRY BEEF PRODUCTION OF DIFFERENT GENOTYPES	136
V. Kyryliuk, T. Tymoshchuk, H. Kotelnytska, V. Barladiuha, D. Dolid SUPPLIES OF PRODUCTIVE MOISTURE AND YIELDING CAPACITY OF CROPS ROTATION DEPENDING ON THE SYSTEMS OF BASIC TILLAGE AND FERTILIZING	141
RULES FOR AUTHORS	149

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСПЕРГАТОРА РІДКИХ КОРМІВ

Виконав: студент групи МГМ-2-19
Малегін Роман Дмитрович

Керівник: докт. техн. наук,
старш. дослідник, проф.
Алієв Ельчин Бахтияр огли

Дніпро, 2020

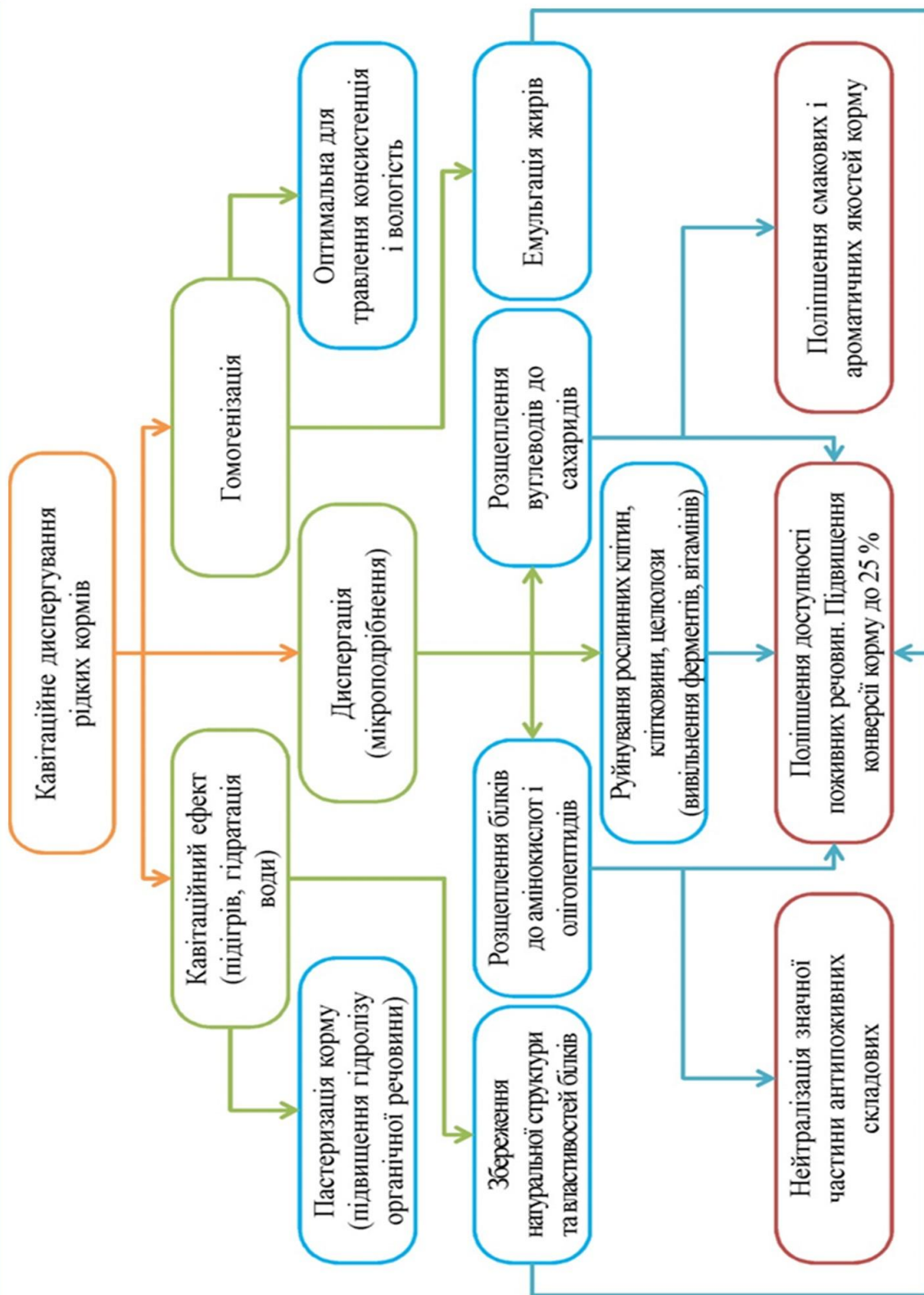
Додаток Е

Метою роботи є підвищення ефективності приготування повнораціонних рідких кормів шляхом застосування роторного диспергатора із обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами.

Для досягнення поставленої мети було висунуто **наукову гіпотезу**, згідно з якої підвищення ефективності та інтенсифікацію технологічного процесу приготування повнораціонних рідких кормів із заданими фізико-механічними властивостями можна досягти шляхом застосування роторного диспергатора з робочими органами, що забезпечують додаткове утворення процесу кавітації.

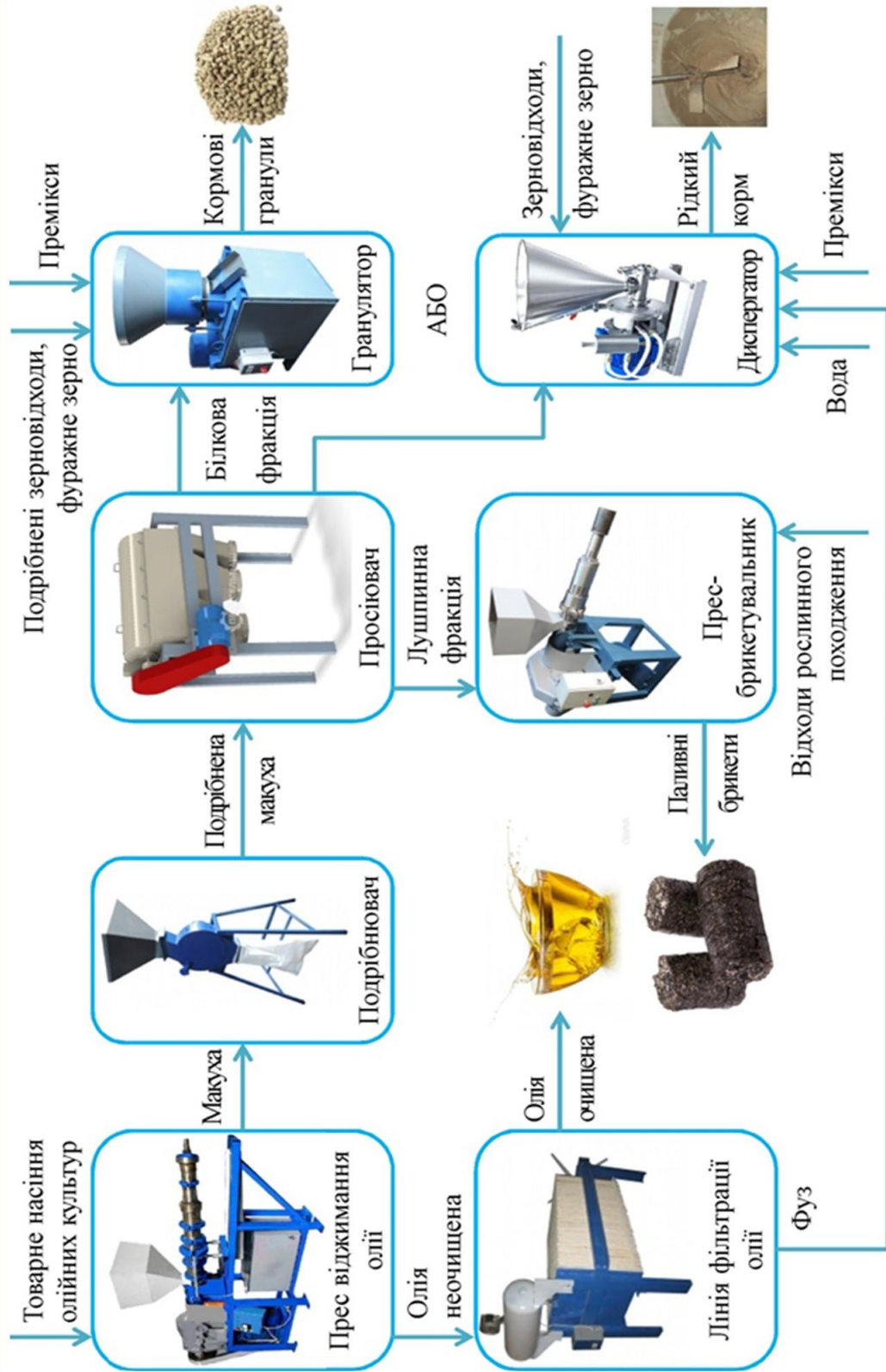
Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних **задач**:

- на основі аналізу стану галузі та результатів попередніх досліджень обґрунтувати структуру та шляхи підвищення ефективності функціонування технічної системи приготування повнораціонних рідких кормів;
- розробити математичну модель гідродинамічного руху рідкої кормової суміші в роторному диспергаторі в залежності від його конструктивно-режимних параметрів і фізико-механічних властивостей кормових компонентів;
- провести чисельне моделювання технологічного процесу приготування повнораціонних рідких кормів роторним диспергатором та визначити його раціональні конструктивно-технологічні параметри;
- виконати оцінку економічної ефективності застосування результатів досліджень.



Удосконалена технологічна лінія комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва

4



Аналіз сучасних технологій і устаткування для переробки кормів на принципі кавітації 5

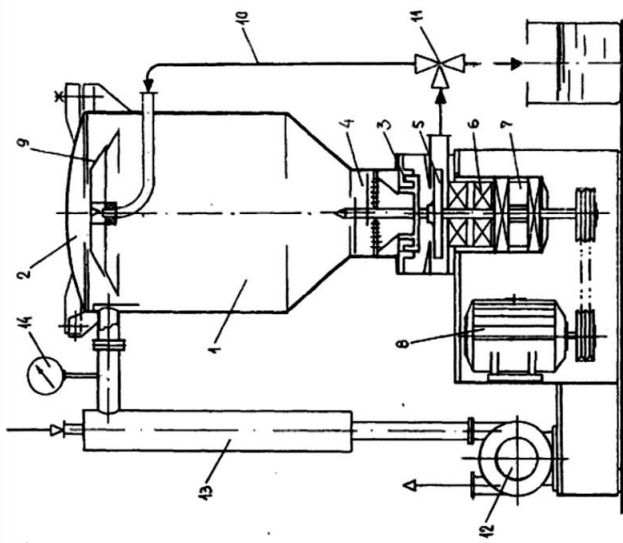


Робочі органи кавітаційних гідроударних диспергаторів



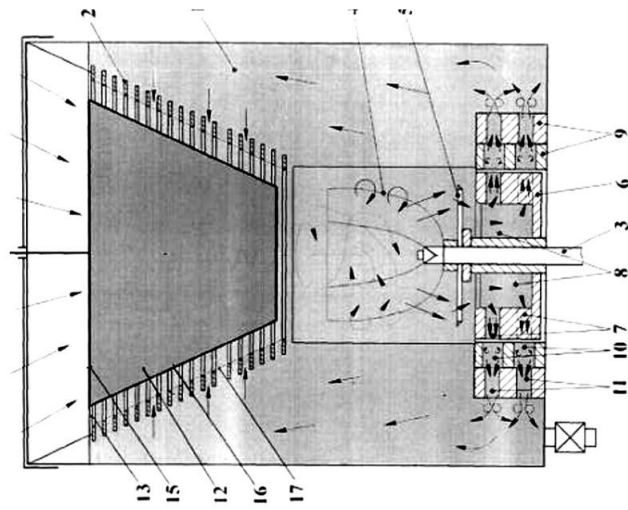
Установка приготування кормів «Cavikorm», роторний подрібнювач-диспергатор «РІД-2»

Аналіз сучасних технологій і устаткування для переробки кормів на принципі кавітації 6



- 1 – завантажувальна ємність; 2 – кришка; 3 – вихідний патрубок; 4 – корпус; 5 – ніж; 6 – ротор; 7, 8 – статори; 9 – диск з лопатками; 10 – вакуумне торцеве ущільнення; 11 – підшипниковий вузол; 12 – електродвигун; 13 – тарічастий розподільник; 14 – трубопровід; 15 – триходовий кран; 16 – вакуум-насос; 17 – водяний конденсатор; 18 – вакуумметр

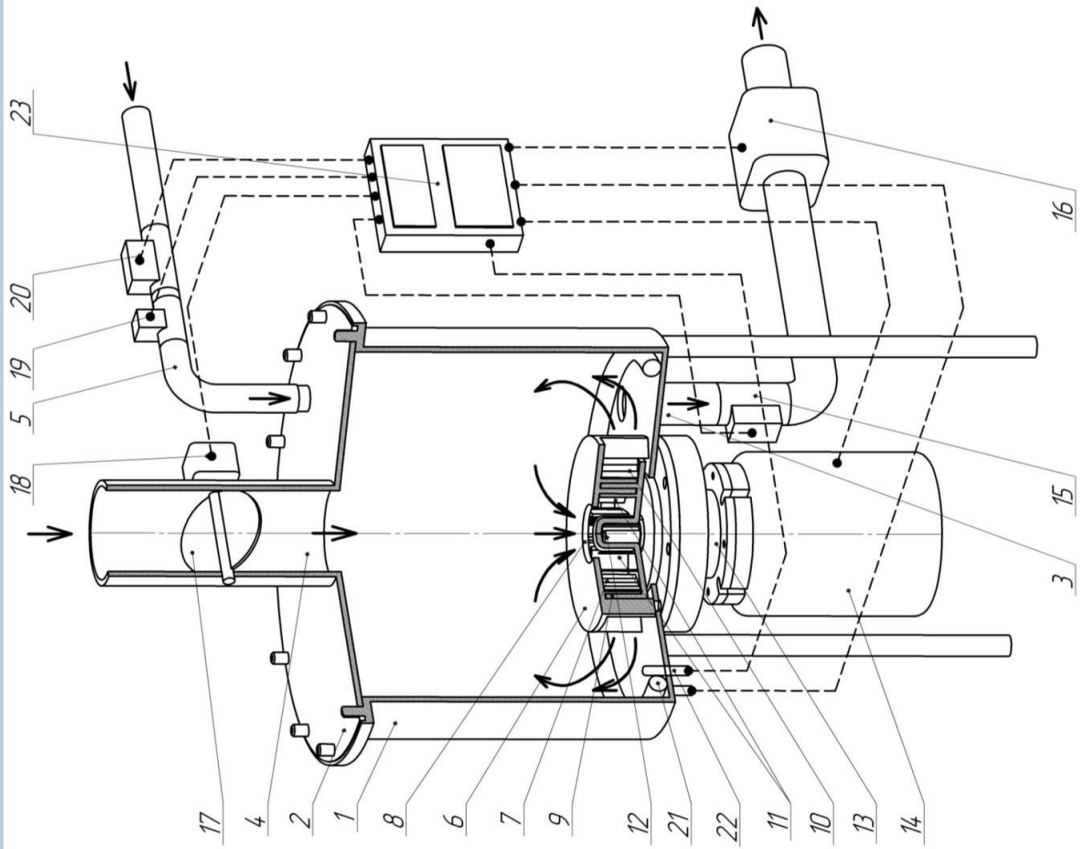
Роторний гомогенізатор (Пат. України № 65406, кл. B01F 7/00, B01F 13/06, 2006)



- 1 – робоча камера; 2 – конусоподібна напрямна; 3 – привідний вал; 4, 5 – ножі; 6 – ротор; 7 – отвори; 8 – лопаті; 9 – статор; 10 – кавітаційні пристрої у вигляді насадки Борда; 11 – кавітаційні пристрої у вигляді насадки Вентурі; 12 – ущільнювач потоку; 13 – верхня частина конусоподібної напрямної; 4 – гвинтовий механізм; 15 – основа; 16, 17 – бічні поверхні

Роторний кавітаційний диспергатор
(Пат. України № 97802, кл. B01F 7/00, 2015)

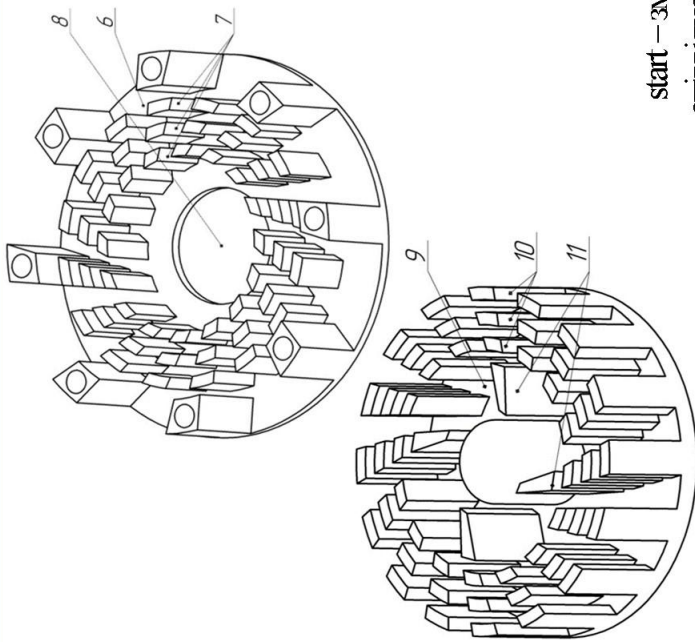
Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатор-гомогенізатора 7



- 1 – завантажувальна ємність; 2 – кришка ємності; 3 – вихідний папірбок; 4 – завантажувальний рукав; 5 – папірбок для рідких компонентів; 6 – статор; 7 – дифузор; 8 – наскрізний отвір; 9 – ротор; 10 – резонатор; 11 – лопаті; 12 – вал; 13 – підшипниковий вузол; 14 – асинхронний електродвигун; 15 – кран з електроприводом; 16 – електричний насос; 17 – заслінка; 18 – вал крокового двигуна; 19 – датчик витрат рідини; 20 – кран з електроприводом; 21 – нагрівач; 22 – датчик температури; 23 – блок керування

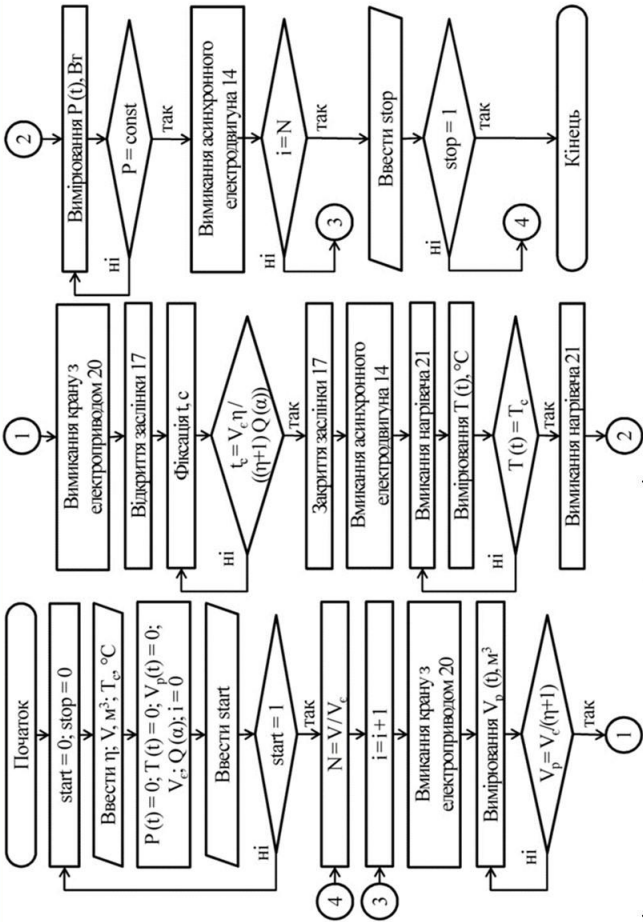
Конструктивно-технологічна схема роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатор-гомогенізатора 8



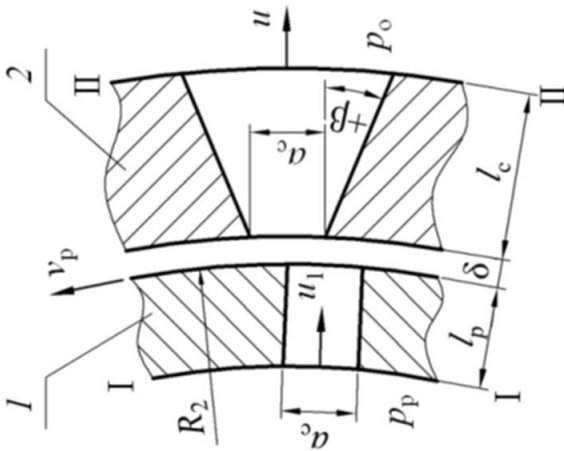
6 – статор; 7 – дифузор; 8 – наскрізний отвір; 9 – ротор; 10 – резонатори; 11 – лопаті

Загальний вигляд статора і ротора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора



start – змінна запуску алгоритму; stop – змінна зупинки алгоритму; η – задане співвідношення об'єму сипкого компонента до об'єму рідкого компонента; V – заданий об'єм необхідної суміші, м³; T_c – задана температура суміші, °C; V_e – об'єм завантажувальної ємності 1, м³; V_r – об'єм рідкого компонента, м³; α – кут нахилу заслінки, °; Q(α) – об'ємні втрати сипкого компонента, м³/с; t_c – час заповнення завантажувальної ємності 1; T – температура суміші, °C; P – потужність асинхронного електродвигуна 14, що споживається, Вт; N – кількість циклів; i – номер циклу

Алгоритм програмного забезпечення блоку керування роторним кавітаційним диспергатор-гомогенізатором



1 – ротор; 2 – статор

Схема взаємного розташування каналів ротора і статора

Нестационарне рівняння Бернуллі

$$\frac{p_p + p_w}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_0}{\rho} + \frac{u^2}{2} [1 + \zeta_M(t)] + (l_p + l_c + \delta) \frac{du}{dt}$$

де p_p – статичний тиск в порожнині ротора, Па; p_0 – статичний тиск в робочій камері статора, Па; p_w – приріст статичного тиску за рахунок дії на рідину відцентрової сили в каналі ротора, Па; ρ – щільність рідини, кг/м³; u_1 , u – швидкість рідини на вході і виході з каналів, м / с; ζ_M – узагальнений коефіцієнт місцевих опорів; l_p , l_c – довжина каналів ротора і статора відповідно, м; δ – радіальний зазор між ротором і статором, м.

Рівняння Ейлера
$$p_w = \frac{\rho l_p v_p^2 (2R_2 - l_p)}{2R_2^2}$$

де v_p – окружна швидкість вихідного отвору каналу ротора, м/с; R_2 – радіус зовнішнього кола ротора, м.

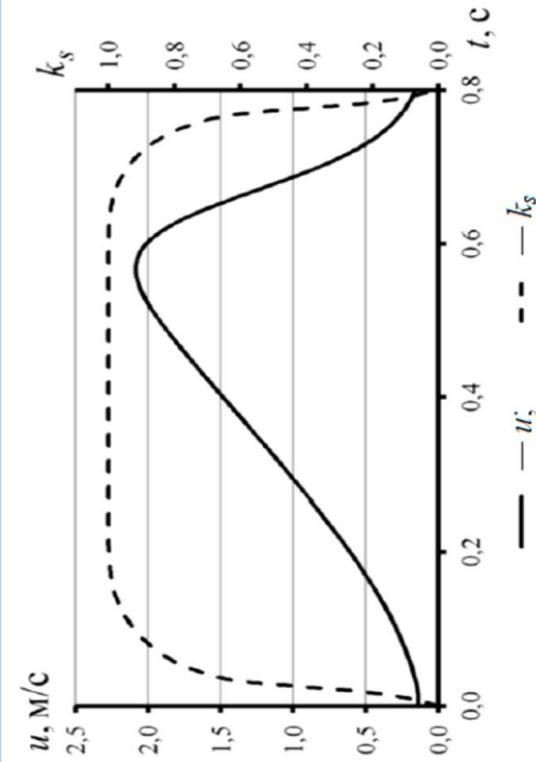
$$\zeta_M(t) = 1.5 + \frac{4l_c^2 t g^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{пер} * e^{-9.6 \left(1 - \frac{|a_c - v_p t|}{a_c}\right)}$$

де $\zeta_{пер}$ – коефіцієнт гідравлічного опору повністю перекритих каналів диспергатора

де β – кут нахилу стінок каналу статора, рад; a_c – ширина вхідного отвору каналу статора, м

$$u_1 = u \left(1 + \frac{2l_c t g \beta}{a_c} \right)$$

Фізико-математична модель руху рідкої суміші в каналах диспергатора 10



Вищевказаний алгоритм розрахунку значень швидкості u і коефіцієнта k_s реалізований за допомогою пакета комп'ютерної алгебри Mathcad. Графічні залежності швидкості u і коефіцієнта k_s від часу t , отримані при значеннях параметрів диспергатора $p_p = 2,6 \cdot 10^5$ Па, $p_o = 2,0 \cdot 10^5$ Па, $I_C = 17 \cdot 10^{-3}$ м, $I_p = 18 \cdot 10^{-3}$ м, $a_c = 10 \cdot 10^{-3}$ м, $h_c = 28 \cdot 10^{-3}$ м, $p = 1070$ кг/м³, $\delta = 0,12 \cdot 10^{-3}$ м, $R_2 = 0,08$ м і допущенні про нормальний розподіл розмірів частинок зерна в кормовій суспензії з математичним очікуванням $d = 3 \cdot 10$ м і середньоквадратичним відхиленням $a = 1,0 \cdot 10$ м

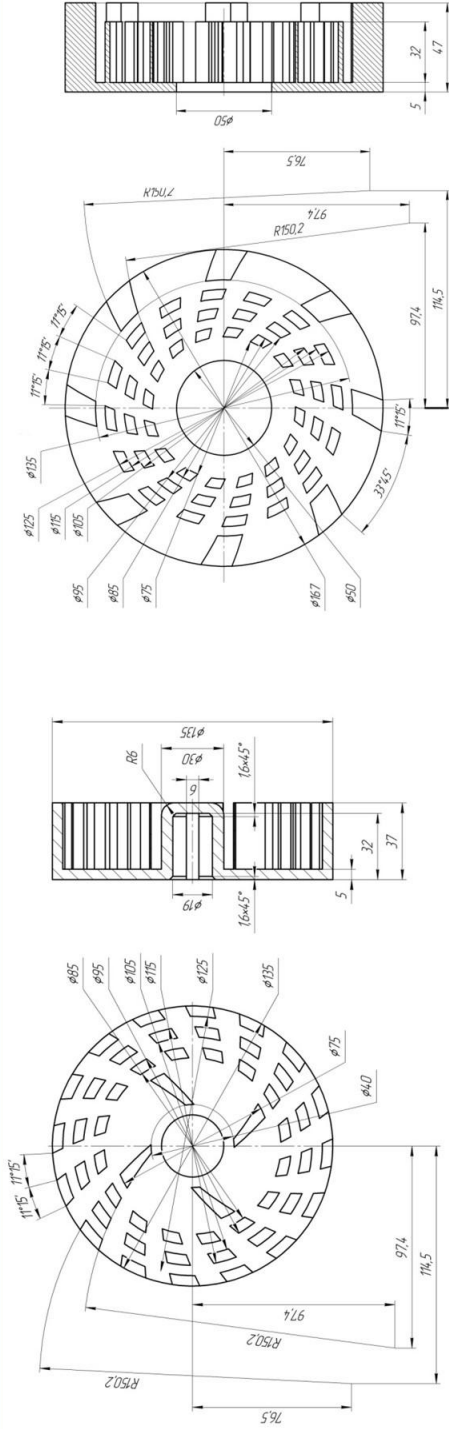
Залежність швидкості u і коефіцієнта k_s від часу t

Оскільки коефіцієнт k_s також враховує зменшення площі прохідного перетину, доступною для руху рідини в даний момент часу, то залежність $\zeta_M(t)$ може бути уточнена в наступному вигляді:

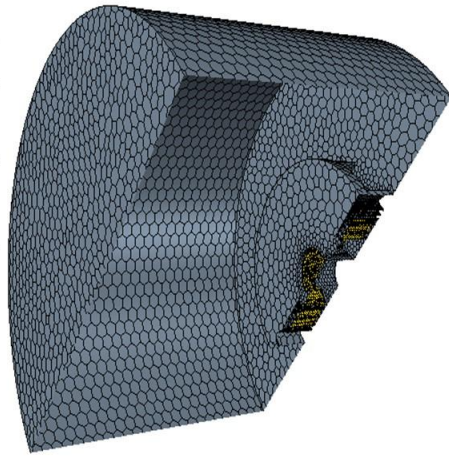
$$\zeta'_M(t) = 1.5 + \frac{4l_c^2 tg^2 \beta}{a_c^2} \sin 2\beta + \zeta_{\text{пер}} e^{-9.6k_s(1 - \frac{|a_c - v_p t|}{a_c})}$$

Теоретична подача Q_T диспергатора по залежності $Q'_T = V_{\text{ц}} \frac{Z_p Z_c v_p}{2\pi R_2}$

де Z_p, Z_c – число каналів ротора і статора відповідно



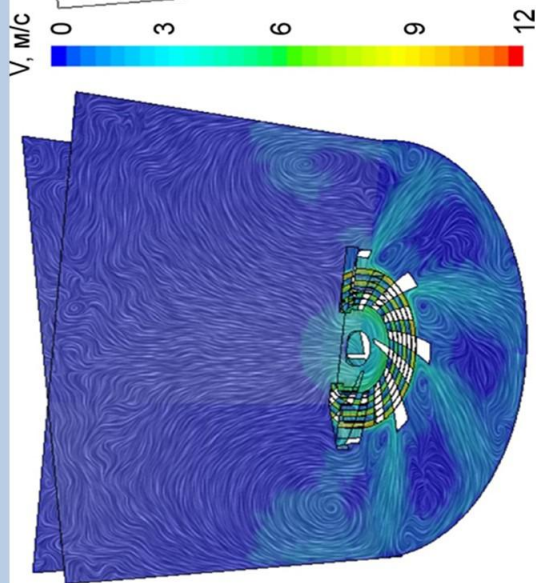
Геометричні розміри ротора і статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора



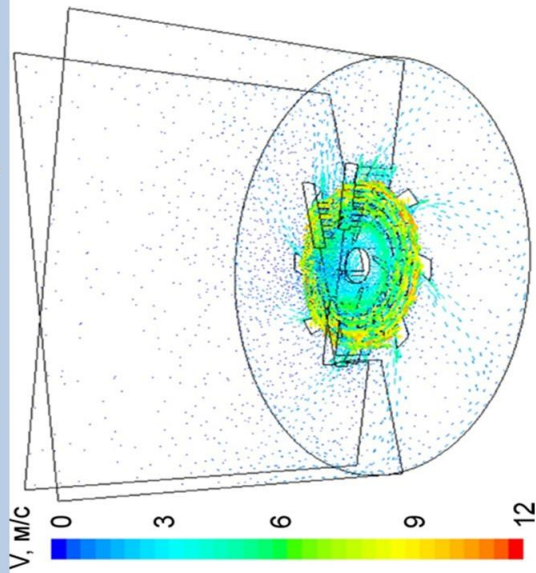
Сітка частини 3D моделі області між робочими органами

Чисельне моделювання проводилися з використанням моделі Ейлерової багатофазності, багатофазної взаємодії і метода об'ємної рідини (VOF). Рух рідинної фази підпорядковується к-ε моделі турбулентності. Для визначення течії рідинної фази і наявності явища кавітації суміш представлялася, як двофазне середовище рідина-газ, при цьому газом є газоподібна фаза рідини (пара). Прийнято, що рідинна фаза в процесі руху мала постійну щільність, а газ був реальним і підпорядковувався рівнянню Ван-дер-Ваальсу. Взаємодія між фазами рідина-газ підпорядковувалася моделі об'ємної рідини VOF-VOF і кавітації Schnerr-Sauer

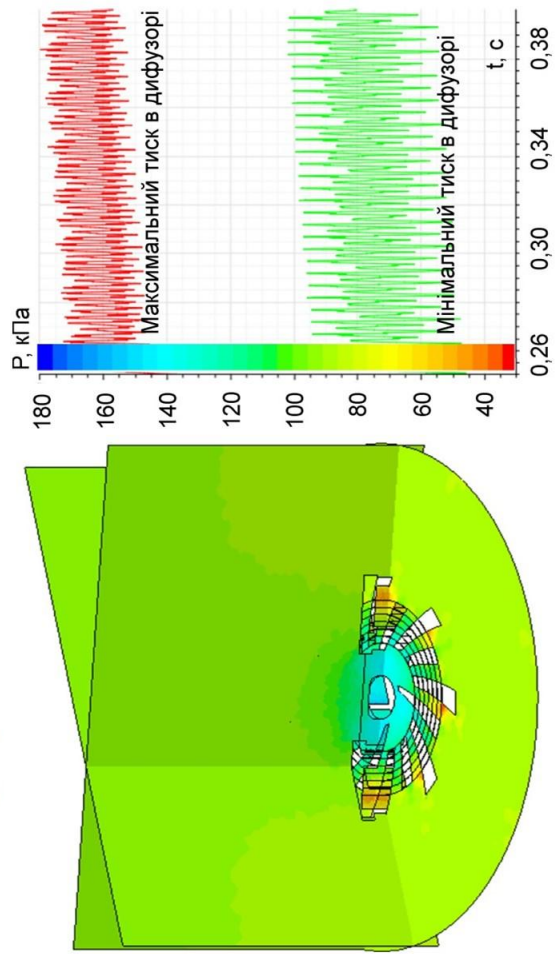
Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатор-гомогенізатора 12



Розподіл швидкостей
переміщення рідкої фази
суміші в робочій камері
роторного кавітаційного
диспергатор-
гомогенізатора



Розподіл і динаміка тиску в
дифузори роторного
кавітаційного диспергатор-
гомогенізатора



Межі та інтервали факторів чисельного моделювання

Рівень	Частота обертання ротора n, об/хв. (x ₁)	Діаметр вхідного отвору D _{in} , м (x ₂)	Кількість резонаторів N _{hole} (x ₃)
Верхній (+1)	3000	0,06	48
Середній (0)	2250	0,05	32
Нижній (-1)	1500	0,04	16
Інтервал	750	0,01	16

У процесі чисельного моделювання для кожного дослід було визначено:

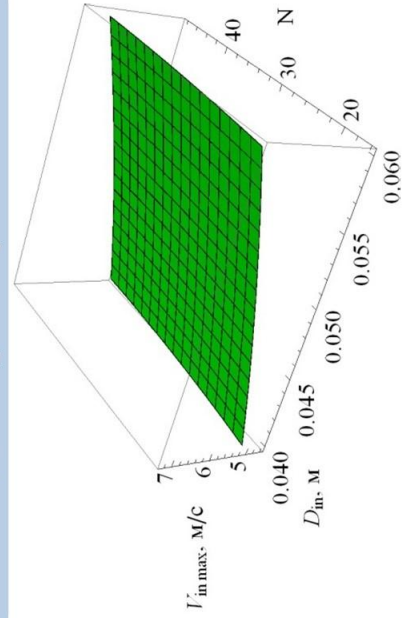
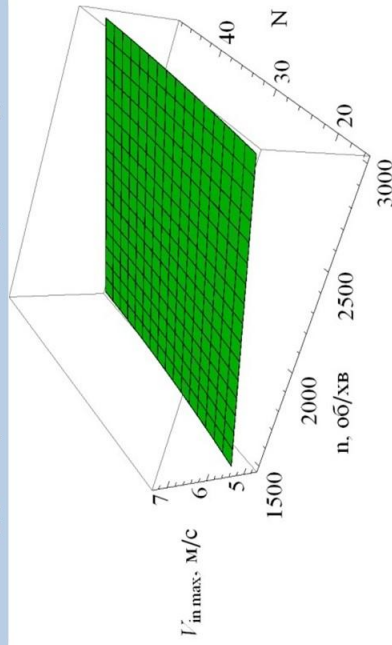
- максимальну швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max}$;
- максимальну швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max}$;
- максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max}$;
- максимальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{rot\ max}$;
- мінімальний тиск рідкої фази суміші у дифузори $P_{rot\ min}$.

Якісним критерієм оцінки явища кавітації у розробленому обладнанні є максимальне і мінімальне число кавітації X_{max} і X_{min} , яке розраховується за формулами:

$$X_{max} = \frac{2(P_{rotmax} - P_s)}{\rho V_{rotmax}}, \quad X_{min} = \frac{2(P_{rotmax} - P_s)}{\rho V_{rotmax}}$$

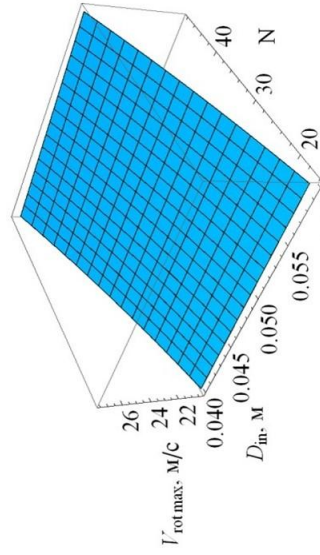
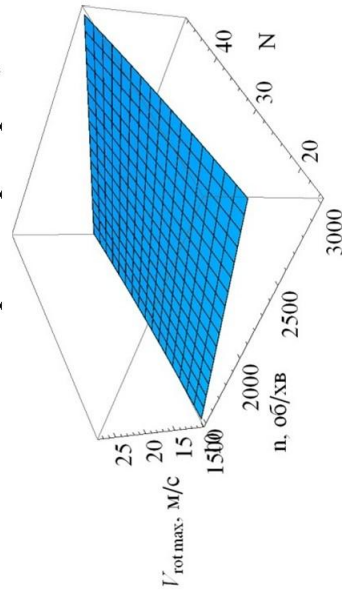
де P_{rot} – гідростатичний тиск набігаючого потоку в дифузори, Па; P_s – тиск насичених парів рідини при певній температурі навколишнього середовища, для водяного пару $P_s = 2314,4$ Па; ρ – щільність середовища, для води $\rho = 997$ кг/м³; V_{rot} – швидкість потоку в дифузори, м/с.

Обґрунтування параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора 14



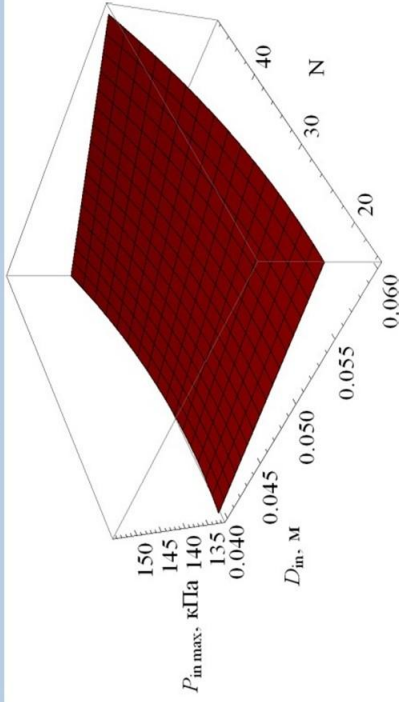
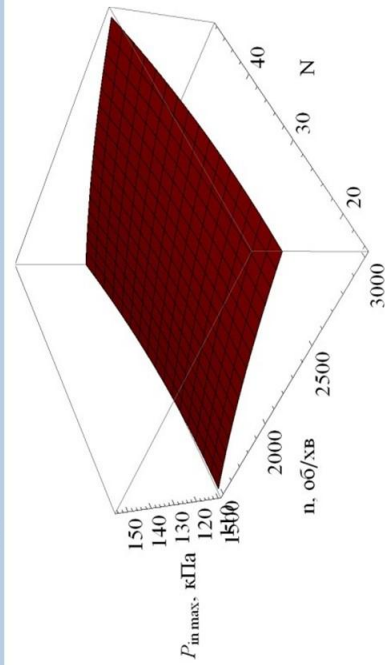
$$V_{in\ max} = -0,665 + 15,1667 D_{in} + 1000 D_{in}^2 + 0,00133778 n - 0,0296354 N_{hole} - 0,171875 D_{in} N_{hole} + 0,000332031 N_{hole}^2.$$

Залежність максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}



$$V_{rot\ max} = 0,845 + 17,8333 D_{in} + 0,00546222 n - 0,152292 N_{hole} + 0,0000925 n N_{hole} + 0,00140625 N_{hole}^2$$

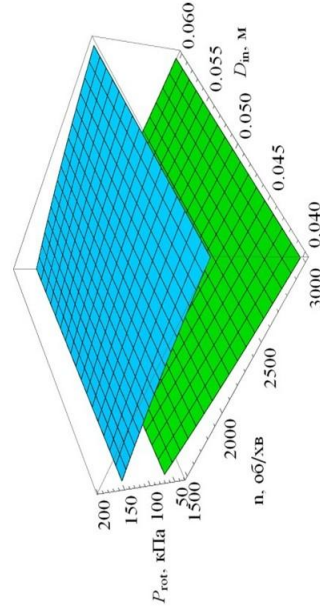
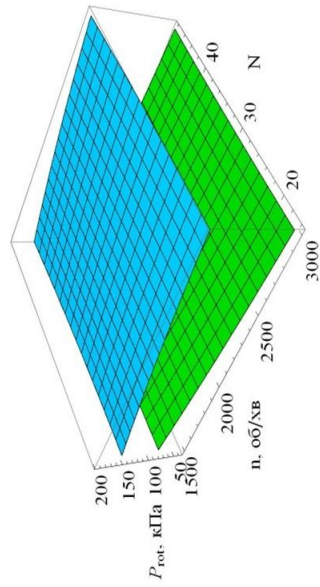
Залежність максимальної швидкості переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}



$$P_{in\ max} = 50,7694 + 303,249 D_{in} + 0,0354123 n - 3,22069 \cdot 10^{-6} n^2 -$$

$$- 1,01458 N_{hole} + 7,61425 D_{in} N_{hole} + 0,0151657 N_{hole}^2.$$

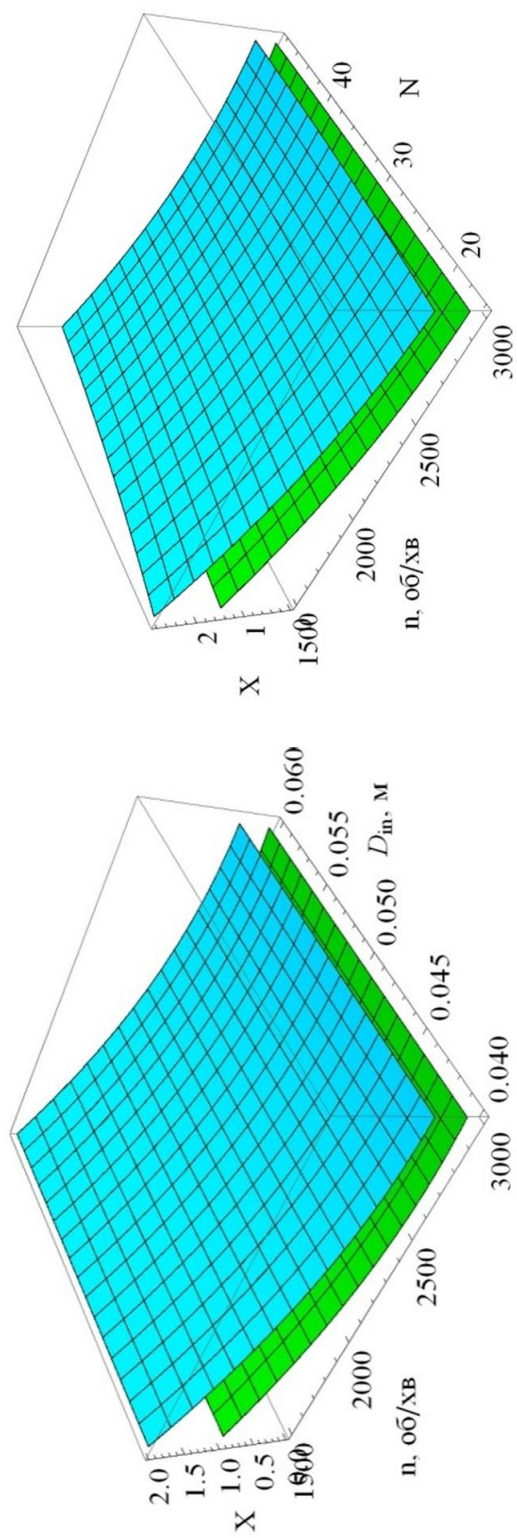
Залежність максимального тиску рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in\ max}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}



$$P_{rot\ min} = 133,276 + 209,7 D_{in} - 0,0570688 n + 6,94825 \cdot 10^{-6} n^2 +$$

$$+ 0,403501 N_{hole} - 0,00870244 N_{hole}^2.$$

Залежність максимального і мінімального тисків рідкої фази суміші у дифузори $P_{in\ max}$, $P_{in\ min}$ від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}



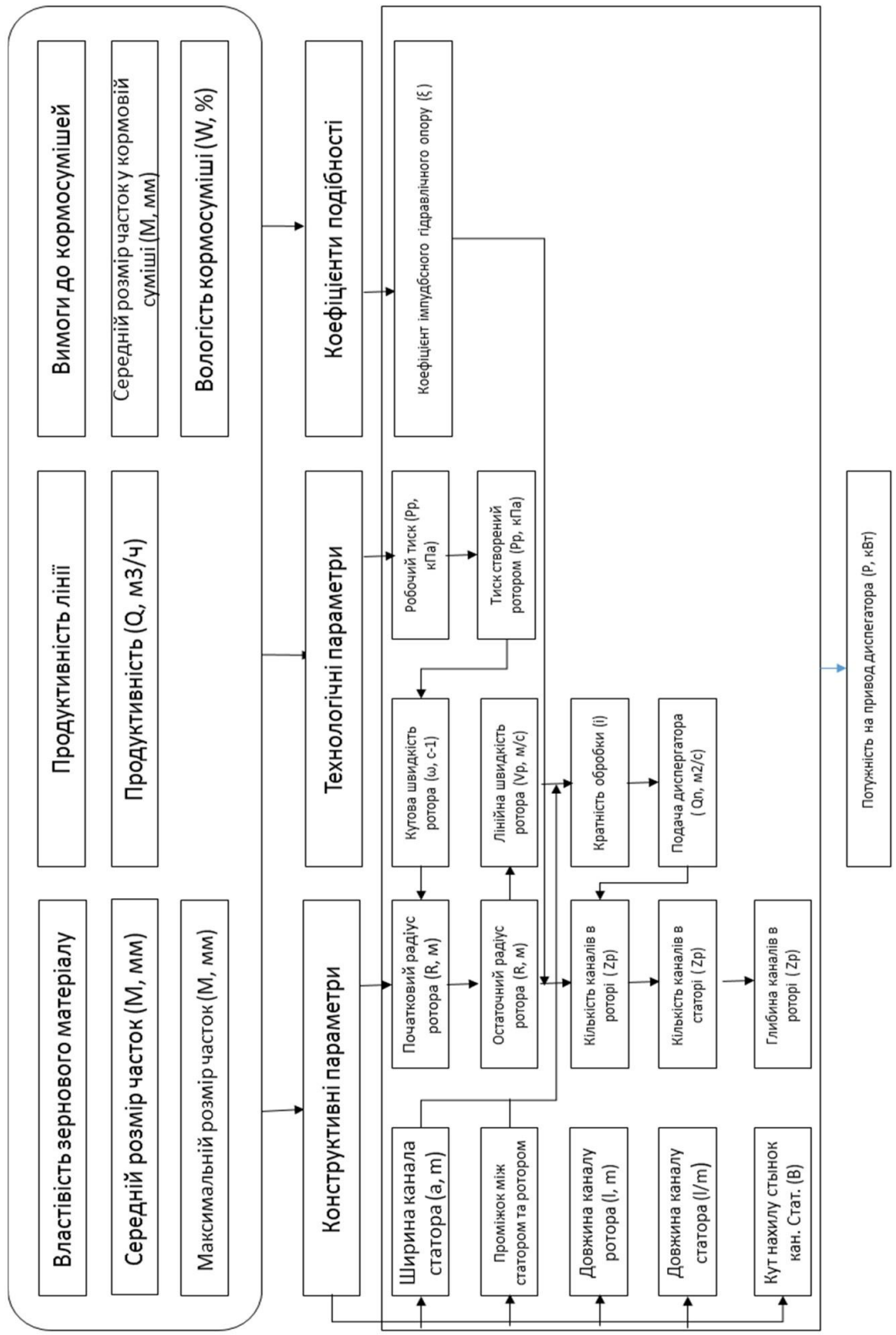
$$X_{\max} = 8,85738 - 0,0046054 n + 6,90585 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0626404 N_{\text{hole}} + 0,0000113792 n N_{\text{hole}} + 0,000297945 N_{\text{hole}}^2.$$

$$X_{\min} = 6,00697 - 0,00363865 n + 5,73414 \cdot 10^{-7} n^2 - 0,0385963 N_{\text{hole}} + 0,0000106933 n N_{\text{hole}} + 0,0000802344 N_{\text{hole}}^2.$$

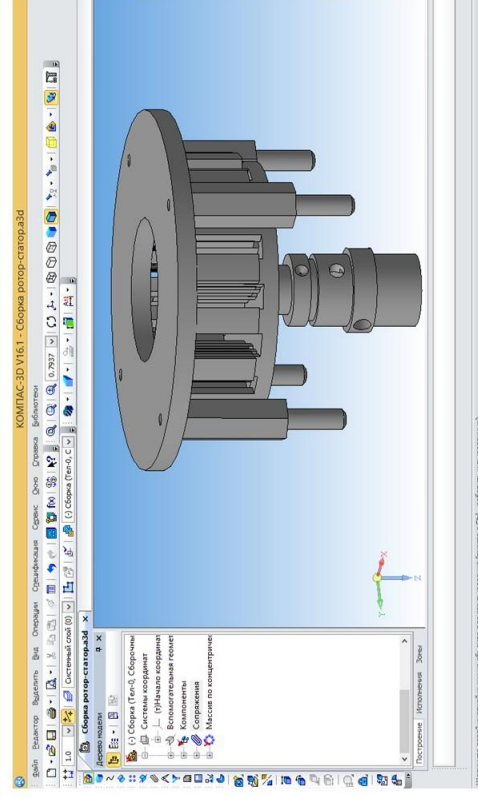
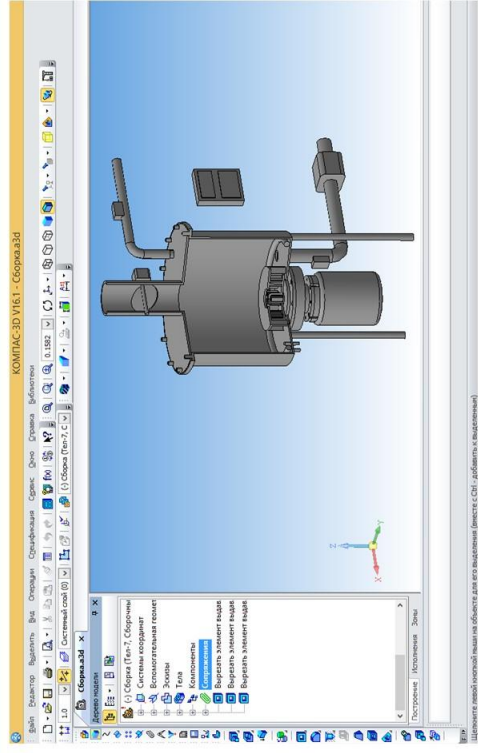
Залежність максимального і мінімального числа кавітації X_{\min} , X_{\max} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole}

Методика розрахунку параметрів кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

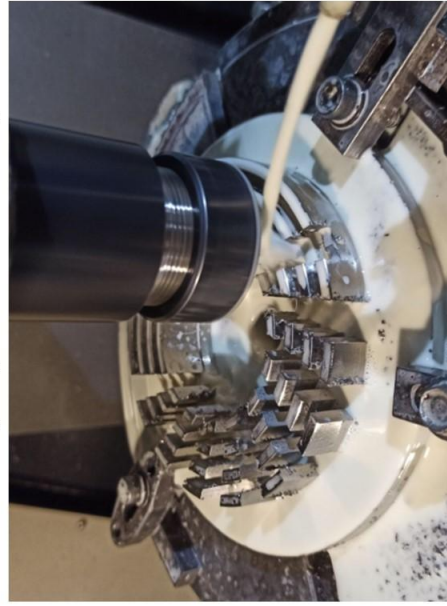
17



Експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора 18



3D модель експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, розроблена з використанням програмного забезпечення КОМПАС-3D



Загальний вигляд експериментального зразка кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
1. Поголів'я, голів	4000	4000
2. Річні витрати кормів, кг	3650000	3650000
3. Обслуговуючий персонал дозатора, люд	1	1
4. Капітальні вкладення, грн.	100000	190000
5. Прямі експлуатаційні витрати, грн.	2908437,6	2333811,45
в тому числі:		
заробітна плата працівників	4099,2	4099,2
амортизаційні відрахування	18750,00	35625,00
відрахування на ремонт і т.о.	18750,00	35625,00
витрати на електроенергію	2866838,4	2258462,25
6. Річний економічний ефект, грн.	–	574626,15
7. Строк окупності додаткових капітальних вкладень, роки	–	0,195

Статті у фахових виданнях

1. Алієв Е.Б., Алієва О.Ю., Малєгін Р.Д. Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва. Наукові горизонти. 2020. № 07 (92). С. 112-119. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.
 2. Алієв Е.Б., Миколенко С.Ю., Яропуд В.М., Малєгін Р.Д. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження на кормові цілі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця. 2020. № 2 (109). С. 5-15. DOI: 10.37128/2520-6168-2020-2-1.
- Тези і матеріали конференцій**
1. Алієв Е.Б., Малєгін Р.Д. Ефективність впровадження технології годівлі тварин кормами після кавітаційної обробки. Матеріали XVI міжнародна научна практична конференція «Найновіте научни постижения – 2020» (15 - 22 март 2020 г.). Volume 3. София «Бял ГРАД-БГ ОУДД». С.39-41.
 2. Алієв Е. Б., Алієва О. Ю., Малєгін Р. Д. Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатора-гомогенізатора сільськогосподарської сировини рослинного походження. Біоенергетичні системи: Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет. С. 76-79.
 3. Алієв Е.Б., Малєгін Р.Д. Обґрунтування доцільності використання диспергаторів рідких кормів. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 7.
 4. Алієв Э. Б., Алиева О. Ю., Малєгін Р. Д. Безотходная переработка семян сафлора в корма для органического животноводства. Олійні культури: сьогодення та перспективи. Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції (14 травня 2020 р.). Запоріжжя. ІЮК НААН, 2020. С. 80-81.
- Заявка на патент**
1. Алієв Е.Б., Дудін В.Ю., Алієва О.Ю., Малєгін Р.Д. Роторний кавітаційний диспергатор-гомогенізатор



**Диплом III ступеня переможця
Всеукраїнського конкурсу
студентських наукових робіт зі
спеціальності
208 “Агроінженерія”,**

Малегін Роман Дмитрович,

**наукова робота «Розробка
роторно-кавітаційного
диспергатора кормосумішей»,**

**Науковий керівник: д-р техн.
наук, старш. дослідн. Алієв Е. Б.**

м. Харків, ХНТУСГ, 2020 р.

1. На підставі аналізу літературних джерел і публікацій встановлено, що: виробництво рідких кормів і кормових добавок на основі кавітаційної диспергації є ефективним, з точки зору економіки, передовим методом, що забезпечує покращення біологічних і хімічних якостей кормів; метод дозволяє застосовувати весь спектр компонентів рослинної сировини; отримати гомогенну рідку кормову суміш з добрими органолептичними якостями за рахунок зміни поживних речовин (вуглеводів, білків, клітковини тощо); кавітаційна обробка надає м'яку дію на протеїновий комплекс рослинної сировини, що забезпечує високий ступінь емульгації жирів, який призводить до збільшення його перетравлюваності тваринами (на 6,3 %); збільшується екстракція біологічно активних речовин та розчинних білків; можна стверджувати про високу ефективність кормів, які біохімічно підготовлені для згодовування сільськогосподарським тваринам всіх видів.
2. В результаті патентного пошуку поставлено задачу створення такого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який дозволяє одночасно виконувати технологічні процеси диспергування, емульгування та гомогенізації компонентів суміші в рідкому середовищі з більш високою продуктивністю, якістю і меншими енерговитратами. Проведено обґрунтування конструктивно-технологічної схеми роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.
3. На основі нестационарного рівняння Бернуллі запропонована математична модель руху кормової суспензії в каналах кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, що враховує вплив частинки корму на гідравлічний опір переходу між каналами ротора і статора. Запропоновано алгоритм наближеного розрахунку значень коефіцієнта, що враховує ступінь блокування прохідного перетину між каналами частинками обробленого матеріалу. Обґрунтовано метод чисельного рішення нестационарного рівняння Бернуллі із застосуванням систем комп'ютерної алгебри Mathcad, що дозволяє визначати гідродинамічні параметри потоку кормової суспензії і подачу кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.
4. Приведені результати чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+ запропонованого роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора дозволяють стверджувати про наявність процесу кавітаційного диспергування і гомогенізації на основі отриманих розподілів і динаміки швидкостей переміщення рідкої фази суміші, тиску і концентрації газоподібної фази рідини в дифузорі. Це підтверджує працездатність конструктивно-технологічної схеми розробленого технічного засобу для приготування рідких кормів та свідчить про доцільність подальших його досліджень з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів.

4. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимальної (\max) і мінімальної (\min) швидкості переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі V_{in} і у дифузори V_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у вхідному отворі $V_{in \max} = 7,3$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 16$. В свою чергу максимальна швидкість переміщення рідкої фази суміші у дифузори $V_{rot \max} = 27,5$ м/с досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.
5. В результаті чисельного моделювання процесу роботи роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора визначено залежності максимального (\max) і мінімального (\min) тисків рідкої фази суміші у вхідному отворі P_{in} і у дифузори P_{rot} від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Максимальний тиск рідкої фази суміші у вхідному отворі $P_{in \max} = 154,4$ кПа і у дифузори $P_{rot \max} = 154,4$ кПа досягається при $n = 3000$ об/хв., $D_{in} = 0,06$ м, $N_{hole} = 48$.
6. Якісним критерієм оцінки явища кавітації у розробленому обладнанні є максимальне і мінімальне число кавітації X_{\max} і X_{\min} , яке залежить від частоти обертання ротора n , діаметра вхідного отвору D_{in} і кількості резонаторів N_{hole} . Мінімальне значення числа кавітації і $X_{\min} = 0,08$ $X_{\max} = 0,57$ досягається при $n = 2725$ об/хв., $D_{in} = 0,049$ м, $N_{hole} = 48$, що відповідає півковому потоку рідини зі стійким відділенням кавітаційної порожнини від решти суцільного потоку (півкова кавітація).
7. Розроблена конструкторська і технічна документація на експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, який призначений для виробництва гомогенних, біологічно активних напіврідких кормосумішей (кормових добавок) підвищеної засвоєваності. Згідно технічних даних приведенних в попередніх розділах розроблено і виготовлено експериментальний зразок кавітаційного диспергатор-гомогенізатора.
8. В результаті розрахунку додаткового економічного ефекту та загальних експлуатаційних витрат розробленого роторно-кавітаційного диспергатора, встановлено строк окупності додаткових капітальних вкладень – 0,195 року, та річний економічний ефект від удосконалень – 574626,15 грн.