



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 Юріївна**, 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

Vinnitsia 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 конструкція 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 пропонує робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора проведено чисельне моделювання з використанням програмного пакету Star CCM+. Моделювання проводилися з використанням моделі багатофазної взаємодії, Ейлерової багатофазності, 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 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 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;
- 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 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 розвинутою 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 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 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.

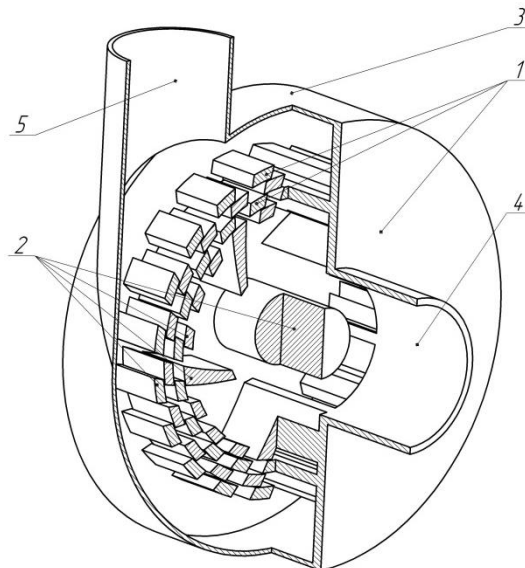


Рис. 2. Розроблена конструкція робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора:
1 – статор; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок

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 проводилися з використанням моделі багатофазної взаємодії, Ейлеревої 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.

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 складав $p_f = 2338 \text{ Па}$, 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 $C_g = 1938 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$.

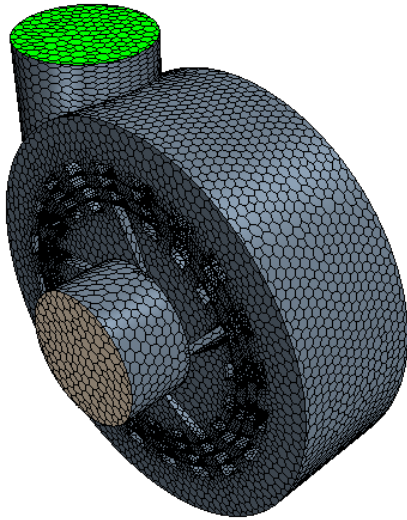


Рис. 3. Сітка частини 3D моделі області між робочими органами кавітаційного диспергатора-гомогенізатора в Star CCM+

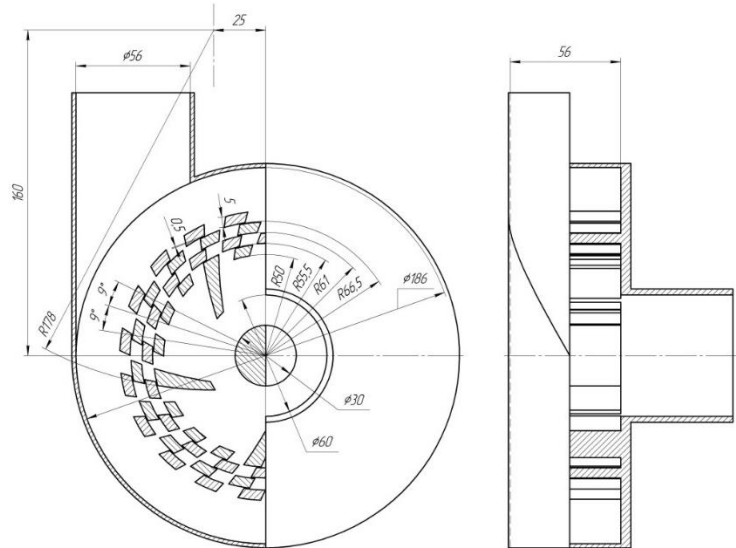


Рис. 4. Геометричні розміри робочих органів кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

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

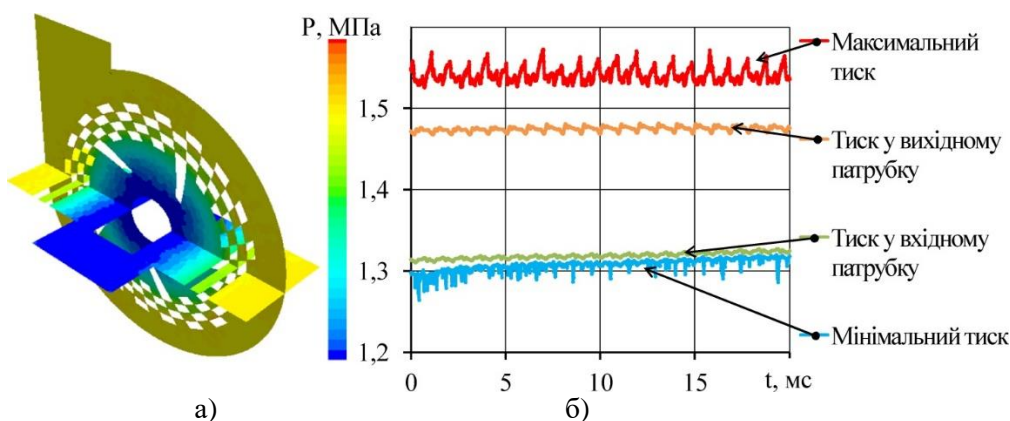


Рис. 5. Розподіл (а) і динаміка (б) тиску по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

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.

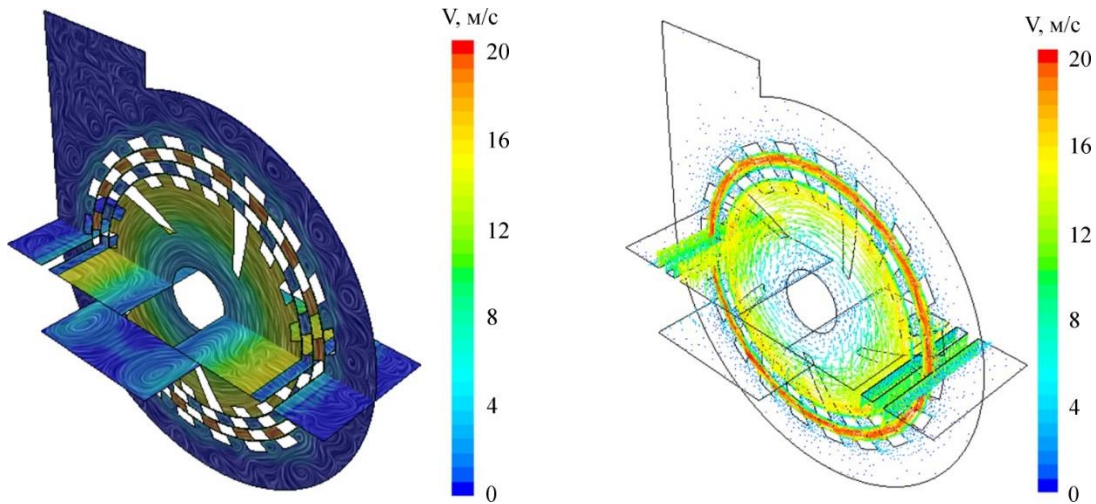


Рис. 6. Розподіл швидкості руху рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

Також на рис. 5 зазначені області мінімального і максимального тиску між резонаторами і конфузорами, 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.

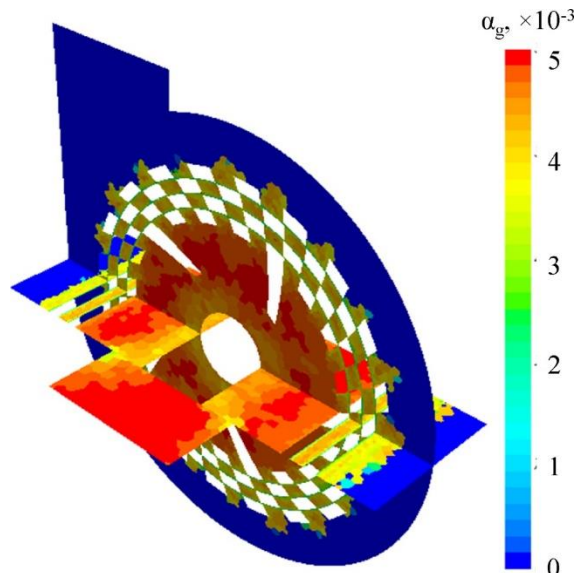


Рис. 7. Розподіл концентрації газоподібної фази рідини по області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора відповідно

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.

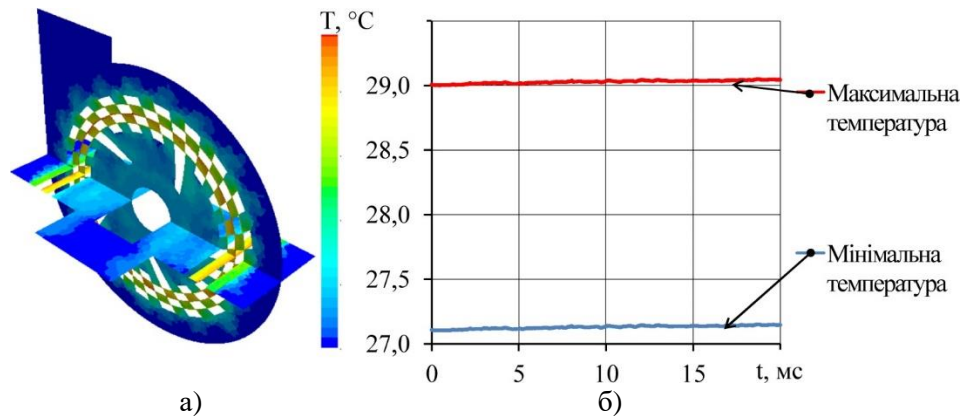
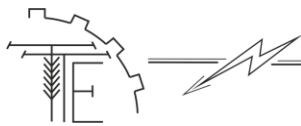


Рис. 8. Розподіл (а) і динаміка (б) температури рідини в області між робочими органами і корпусом кавітаційного диспергатора-гомогенізатора

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 розроблений 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 використаних джерел

1. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбикормів гвинтовими грануляторами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2017. 397 с.
2. Шацкий В. В. Моделирование механизированных процессов приготовления кормов. Запорожье: 1998. 139 с. ISBN 966-05291-3-1.
3. Шевченко І., Шацкий 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. Агенство 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 високозасвоєваних 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 сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2017. Вип. 180. С. 67-71.

References

- [1] Bratishko, V. V. (2017). Mekhaniko-tekhnologichni osnovy pryhotuvannya povnoratsionnykh kombikormiv hvyntovymy 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] Shatsky, V. V. (1998). Modelyrovanye mekhanyzyrovannykh protsessov pryhotovlenyya kormov [Modeling of mechanized feed preparation processes]. Zaporozh'e. 139 p. ISBN 966-05291-3-1. [in Ukrainian].
- [3] Shevchenko, I., Shatsky, 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., Bratyshko, V. V., Kudrynetsky, R. B. (2013). Mekhanyzatsyya y avtomatyzatsyya proyzvodstva moloka [Mechanization and automation of milk production]. Nezhyn. CHP Lysenko N.M. 324 p. [in Russian].
- [5] Prsyazhnyuka, 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 kompleksnoyi bezvidkhidnoyi pererobky makukhy z nasinnya 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 Ukrayiny. Zaporizhzhya. STATUS. ISBN 978-617-7353-59-0. [in Ukrainian].



- [7] Opeyda, 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 Ukrainy, Donets'kyy natsional'nyy universytet. Donets'k. «Veber». 758 p. ISBN 978-966-335-206-0. [in Ukrainian].
- [8] Knépp, 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 Vneshneékonomycheskoe Ob"edynenye. Sayt FHUP "Lytsenzyntorh". 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 zaочноy nauchnoy konferentsyy «Problemy sovremennoy ahrarnoy nauky». 15 oktyabrya 2011. Krasnoyarsk. KHAU. [in Russian].
- [12] Shevchenko, I. A., Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V., Zabudchenko, V. M. (2013). Analiz konstruktsiy tekhnichnykh zasobiv dlya vyrobnytstva vysokozasvoyuvanykh kormiv [Analysis of designs of technical means for the production of highly digestible feed]. Zahal'noderzhavnyy mizhvidomchyy naukovo-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). Obgruntuvannya tekhniko-tekhnologichnykh osnov enerhooschadnoho 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 tvarynnytsvi: zb. nauk. prats'. In-t mekh tvarynnytsva 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). Obgruntuvannya optimal'nykh rezhymiv roboty udoskonalenoho zrazka rotorno-kavitatsiynoho 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 naukovo-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). Obgruntuvannya konstruktyvno-tekhnologichnoyi skhemy rotorno-kavitatsiynoho dysperhatora kormosumishey [Substantiation of the structural and technological scheme of the rotary-cavitation dispersant of forages]. Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Suchasni problemy ta tekhnolohiyi ahrarnoho sektoru Ukrainy». 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-tekhnologichnykh protsesiv ahropromyslovoho vyrobnytstva [Numerical modeling of mechanical and technological processes of agroindustrial production]. Suchasni problemy vdoskonalennya tekhnichnykh system i tekhnolohiy u tvarynnytsvi. 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.

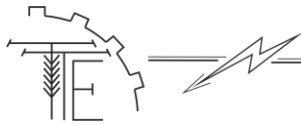
Key words: livestock, feed supply, processing, dispersant, cavitation.

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 Юріївна – 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).

Малегін 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 Виталий 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).

Малегин Роман Дмитриевич – магистрант кафедры механизации 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).