

Алієв Е.Б.,
Дудін В.Ю.,
Алієва О.Ю.,
Малєгін Р.Д.

Дніпровський державний аграрно-
економічний університет
E-mail: aliev@meta.ua

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГАТОРА РІДКИХ
КОРМІВ

УДК 631.363.2

DOI 10.37700/ts.2020.21.33-40

Алієв Е.Б., Дудін В.Ю., Алієва О.Ю., Малєгін Р. Д. «Результати чисельного моделювання Кавітаційного диспергатора рідких кормів»

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. 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 дає змогу продовжити дослідження з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів розробленого технічного засобу для приготування рідких кормів.

Ключові слова: рідкі корми, приготування, кавітація, диспергування, гомогенізації, чисельне моделювання.

Алиев Э.Б., Дудин В.Ю., Алиева О.Ю., Малегин Р. Д. «Результаты численного моделирования кавитационного диспергатора жидких кормов»

Проведено обоснование конструктивно-технологической схемы роторного кавитационного диспергатор-гомогенизатора, который содержит рабочую камеру, крышку, выходной патрубок, входные патрубки для сыпучих и жидких компонентов, статор с диффузорами и сквозным отверстием, ротор с резонаторами, лопатками и валом, подшипниковый узел и электродвигатель. Приведённые результаты численного моделирования в программном пакете Star CCM+ предлагаемого роторного кавитационного диспергатор-гомогенизатора позволяют утверждать о наличии процесса кавитационного диспергирования и гомогенизации на основе полученных распределений и динамики скоростей перемещения жидкой фазы смеси, давления и концентрации газообразной фазы жидкости в диффузоре. Это позволяет продолжить исследования по обоснованию конструктивно-технологических параметров разработанного технического средства для приготовления жидких кормов.

Ключевые слова: жидкие корма, приготовления, кавитация, диспергирование, гомогенизации, численное моделирование.

E.B. Aliiev, V.Yu. Dudin, O.Yu. Aliieva, R.D. Malegin "Results of numerical simulation of a cavitation disperser of liquid feeds"

The substantiation of the design-technological scheme of a rotary cavitation disperser-homogenizer, which contains a loading container, a cover, an outlet pipe, inlet pipes for bulk and liquid components, a stator with diffusers and a through hole, a rotor with resonators, blades and a shaft, a bearing assembly and an electric motor, has been carried out. The presented results of numerical simulation in the Star CCM + software package of the proposed rotary cavitation disperser-homogenizer make it possible to assert that there is a process of cavitation dispersion and homogenization based on the obtained distributions and dynamics of the velocity of movement of the liquid phase of the mixture, the pressure and concentration of the gaseous phase of the liquid in the diffuser. This allows us to continue research to substantiate the design and technological parameters of the developed technical means for the preparation of liquid feed.

Keywords: liquid feed, preparation, cavitation, dispersion, homogenization, numerical simulation.

Постановка проблеми та її актуальність

Цінність рідких кормів визначається відповідними технологічними операціями при їх приготуванні. Рідкий корм повинен 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 рідкій 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 [1-2].

Вищезазначені вимоги відповідають процесу диспергування і гомогенізації кормових компонентів із застосуванням кавітаційної обробки. Згідно з [3] 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 [3]. 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 [4]. Тобто кавітаційна обробка компонентів кормів дозволяє їх подрібнювати за рахунок дії ударної хвилі.

Відповідно до цього науково-практичною задачею є забезпечення цінності рідких кормів шляхом застосування технологічних процесів диспергування, гомогенізації із кавітаційною обробкою кормових компонентів в процесі приготування.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Реалізації поставленої науково-практичної задачі можливо за рахунок застосування кавітаційного диспергатора рідких кормів в двофазному (сухий компонент + рідина) середовищі, що дозволяє сумістити процеси диспергування і гомогенізації в одному технічному засобі. Рідиною може бути вода або будь-яка інша рідина, наприклад, олія, що виділяється при подрібненні горіхів, сік при переробці помідорів, гороху і так далі. Це дає можливість використовувати фізичні властивості рідкої фази (не стисливість, закони Паскаля і Бернуллі) і застосувати нові фізичні ефекти (гідравлічний удар, кавітацію, імпульси високого тиску, турбулентність) [5].

Спосіб диспергування матеріалу в двофазному середовищі позбавлений недоліків сухого способу диспергування оскільки рідина запобігає агрегації за рахунок зменшення поверхневої енергії твердої фази (цей ефект посилюється додаванням поверхнево-активних речовин). Крім того, використання рідини дозволяє сумістити процеси диспергування і гомогенізації в одному апараті.

Установка конструкції Мозгового В. Г. КАГУД-1 (кавітаційний гідроударний диспергатор) забезпечує диспергування і одночасне змішування (гомогенізацію) матеріалів [6]. Основними елементами установки є ротор і статор. У роторі по колу розташовані резонансні камери (резонатори). У статорі отвори – конфузори. При обертанні ротора відбувається періодичне перекриття вихідних отворів резонаторів. Подрібнення відбувається за рахунок дії на частинку кавітації, а також подвійного (прямого і зворотного) гідравлічного удару при перериванні потоку пульпи із заданою частотою. 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 високому рівню 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 [7] (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 [8]. 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 [9].

Однак наукових досліджень щодо процесу диспергування, гомогенізації із кавітаційною обробкою кормових компонентів на сьогодні є недостатніми для підтвердження цінності отриманих рідких кормових сумішей.

Мета досліджень

На основі чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+ дослідити процес кавітаційного диспергування і гомогенізації рідких кормів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для реалізації процесу кавітаційного диспергування і гомогенізації рідких кормів запропонована наступна конструктивно-технологічна схема відповідного технічного засобу, яка представлена на рис. 1. Роторний кавітаційний диспергатор-гомогенізатор складається з робочої камери. На дні робочої камери жорстко закріплений статор, який виконано у вигляді круглого диска із зубчастими елементами, що розмічені на концентричних колах. Отвори між зубчастими елементами статора утворюють дифузори. В середині статора розташований наскрізний отвір. Під статором встановлений ротор, який виконано у вигляді круглого диска із зубчастими елементами, що розмічені на концентричних колах. Отвори між зубчастими елементами ротора утворюють резонатори. В середині ротора розташовані лопаті, які розміщені під кутом до його радіуса. Ротор закріпленний на валу підшипникового вузла, який в свою чергу встановлений знизу робочої камери. Вал підшипникового вузла приєднаний до валу електродвигуна.

Після завантаження сипкого і рідкого компонентів до робочої камери вмикається електродвигун. Вал асинхронного електродвигуна приводить в дію вал підшипникового вузла і відповідно до цього ротор починає виконувати обертовий рух навколо власної осі. Жорстко розташовані лопаті на роторі утворюють різницю тисків у наскрізному отворі статора та робочої камери, що призводить до втягування суміші у наскрізний отвір статора. В результаті обертання ротора резонатори і дифузори періодично співпадають один з одним, утворюючи при цьому наскрізні отвори, через які суміш починає переміщуватися під дією відцентрової сили до стінок робочої камери (рух суміші на рис. 1 показано стрілками). При перекритті резонаторів і дифузорові відбувається різке підвищення тиску – прямий гідравлічний удар. Таким чином суміш послідовно обробляється гідроударами. У момент суміщення резонаторів і дифузорові 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 утворюються кільцеві зони, в яких відбувається схлопування парових бульбашок суміші, що призводить до додаткового руйнування від знакоперемінних навантажень. Окрім цього потік суміші насичений кавітаційними паровими бульбашками, з великою швидкістю врізається 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 з прискоренням активуючих реакцій. В результаті постійного

руху компонентів суміші з центру робочої камери через наскрізний отвір статора, резонатори і дифузори до її стінок відбувається постійне їх перемішування і поступове диспергування.

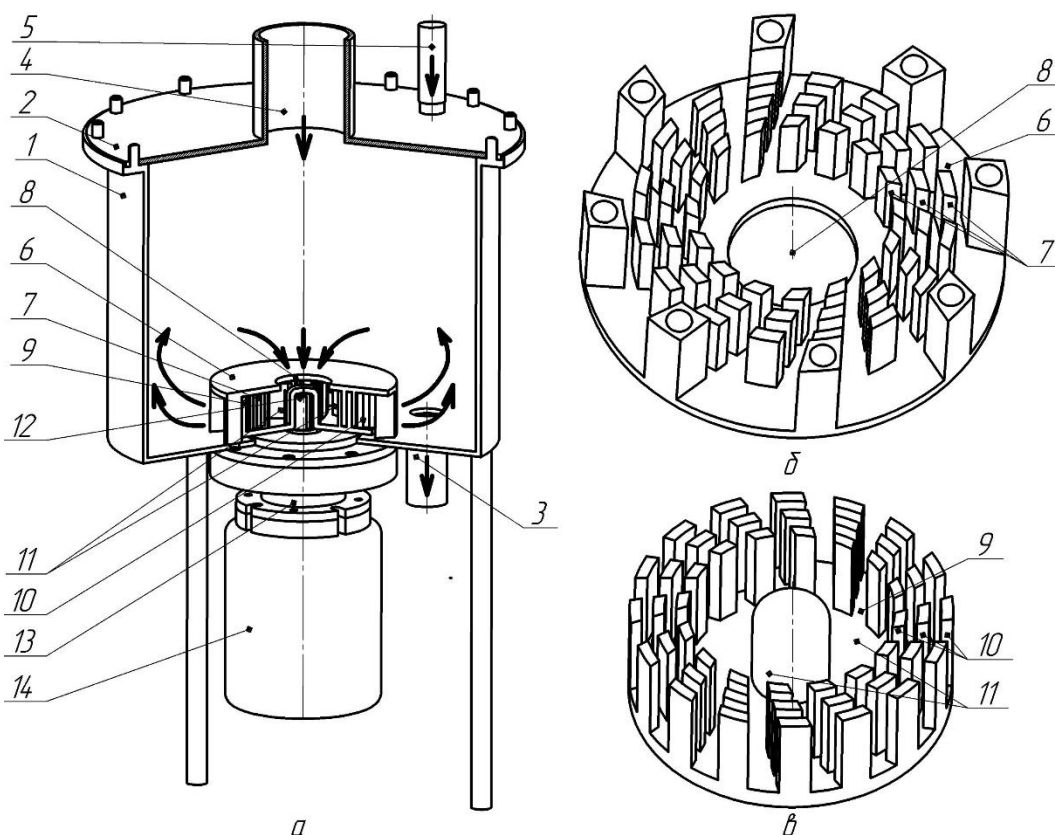


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора
1 – робоча камера; 2 – кришка; 3 – вихідний патрубок; 4 – вхідний патрубок для сипких компонентів; 5 – вхідний патрубок для рідких компонентів; 6 – статор; 7 – дифузори; 8 – наскрізний отвір; 9 – ротор; 10 – резонатори; 11 – лопаті; 12 – вал; 13 – підшипниковий вузол; 14 – електродвигун

Для проведення моделювання в програмному пакеті Star CCM+ була побудована сітка CAD моделі області між ротором, статором і робочою камерою роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора із базовим розміром комірки 0,001 м. Для моделювання були прийняті геометричні параметри ротора і статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора, які приведені на рис. 2-3. Робоча камера була прийнята діаметром 340 мм і висотою 270 мм. Абсолютна шорсткість поверхонь ротора і статора складає $\varepsilon = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м.

Чисельне моделювання проводилися з використанням моделі Ейлеревої 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 [10].

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 $\rho_f = 2338$ 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).

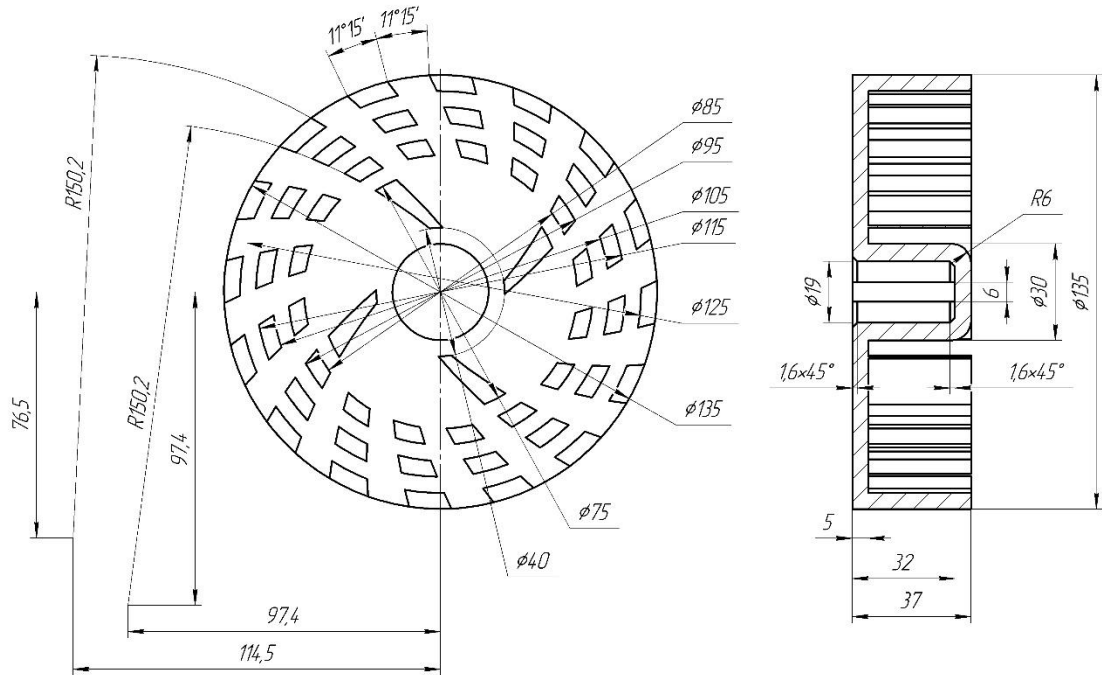


Рис. 2. Геометричні розміри ротора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

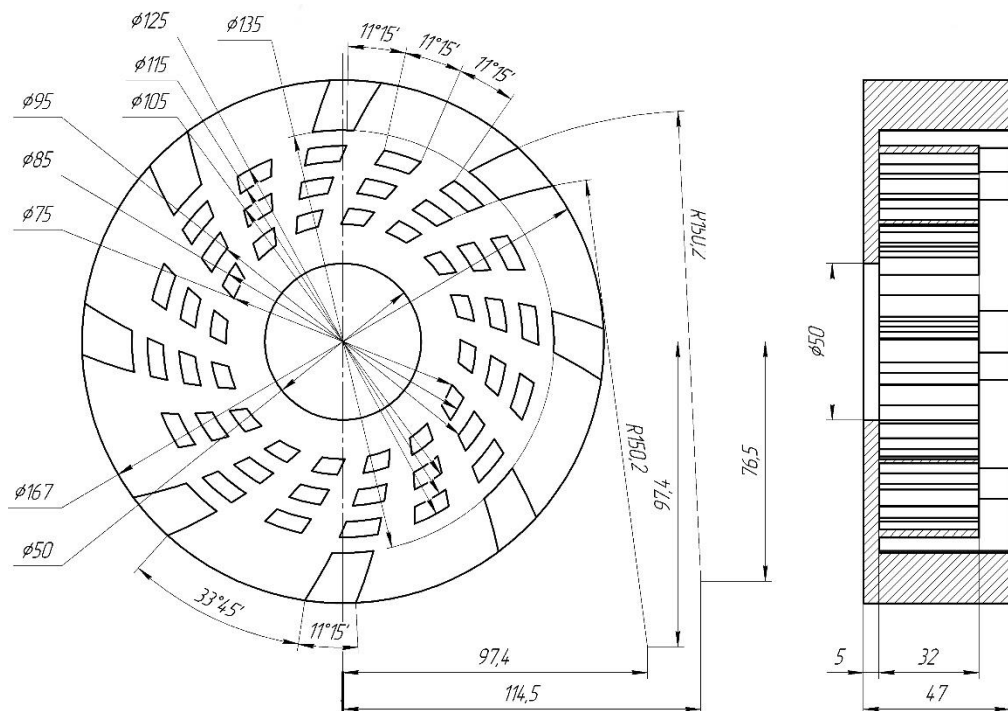


Рис. 3. Геометричні розміри статора роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

За результатами чисельного моделювання отримано розподіл швидкостей переміщення рідкої фази суміші в робочій камері роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора (рис. 4). 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.

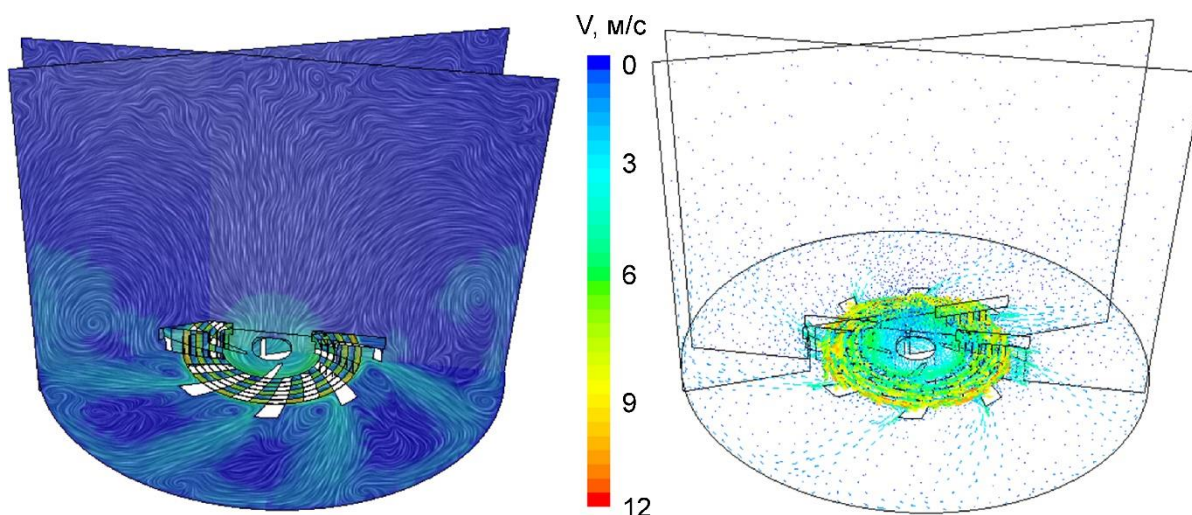


Рис. 4. Розподіл швидкостей переміщення рідкої фази суміші в робочій камері роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

На рис. 5 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.

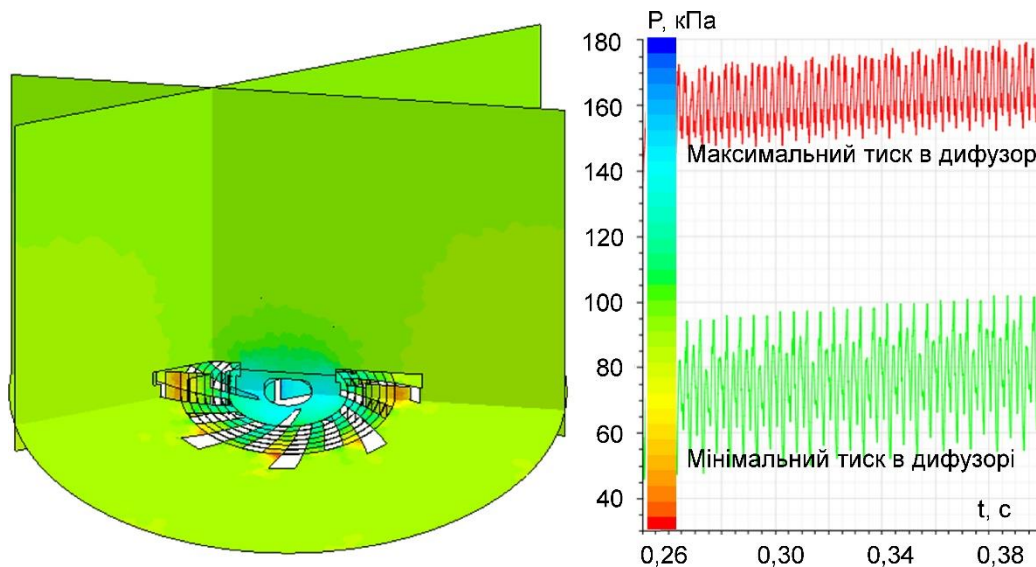


Рис. 5. Розподіл і динаміка тиску в дифузори роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

На рис. 6 приведено розподіл і динаміка концентрації газоподібної фази рідини в дифузори роторного кавітаційного диспергатора-гомогенізатора. Максимальне значення концентрації газоподібної фази рідини в дифузори 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.

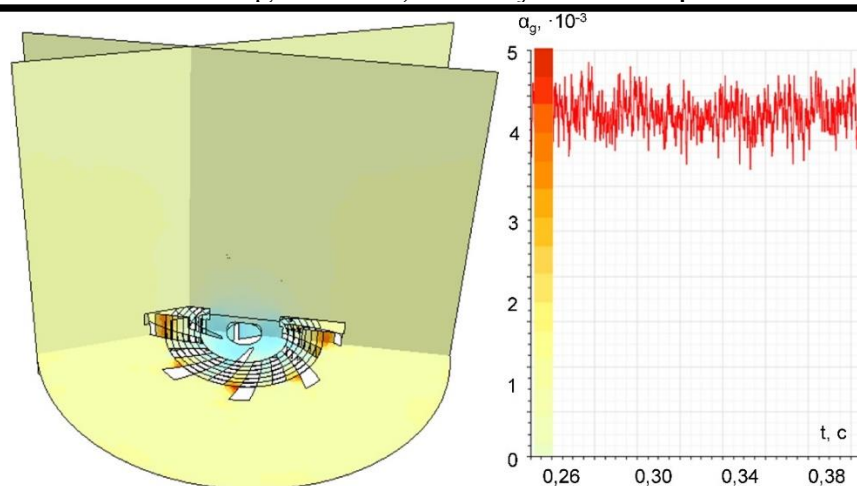


Рис. 6. Розподіл і динаміка концентрації газоподібної фази рідини в дифузорі роторного кавітаційного диспергатор-гомогенізатора

Висновки

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.

Приведені результати чисельного моделювання в програмному пакеті Star CCM+ пропонуваного 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.

Список використаних джерел

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.
3. 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.
4. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 678 с.
5. 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.
6. Мозговой В. Г., Алтухов А. М. Пат. 74084 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Кавитационный гидроударный диспергатор. Заявитель и патентообладатель Мозговой В. 7. Г., Алтухов А. М. № 2008107489/22. Заявл. 26.02.08. Опубл. 20.06.08. Бюл. № 17. 3 с.

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>.

8. 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.

9. 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.

10. 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 – ISSN 2068 – 4215.

References

1. Skryl II, Kovalchuk AN Cavitation technology and equipment for the production of liquid feed. Materials of the international correspondence scientific conference "Problems of modern agricultural science", October 15, 2011 Krasnoyarsk. KGAU, 2011.

2. Aliyev E.B., Mykolenko S.Yu., Yaropud V.M., Mal'gin R.D. Establishment of the constructive and technological scheme of the cavitation disperser-homogenizer of the silskogospodarskoy syruin of the roslin walking on the forages. Technology, energy, transport of the agro-industrial complex. Vinnytsia. 2020. No. 2 (109). S. 5-15. DOI: 10.37128 / 2520-6168-2020-2-1.

3. Opeida Y., Shvaika O. Glossary terms from chemistry. In-t physical-organic chemistry and vuglekhimii im. L.M. Litvinenka of the National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk National University. Donetsk: "Weber", 2008.758 p. ISBN 978-966-335-206-0.

4. Knapp R., Daley J., Hammit F. Cavitation. Moscow: Mir, 1974.678 p.

5. Shevchenko I. A., Pavlichenko V.M., Likhodid V.V., Zabudchenko V.M. Analysis of the design of technical equipment for the production of high-quality feeds. Zagalnogo-state interdisciplinary scientific and technical collection of KNTU "Construction, production and exploitation of silskogospodarsky machines." Vip. 43. Part 1. Kirovohrad: KNTU, 2013.S. 179-184.

6. Brain V. G., Altukhov A. M. Pat. 74084 Russian Federation, IPC B06B1 / 20. Cavitation hydropercussion disperser. Applicant and patentee Mozgovoy V. G., Altukhov A. M. No. 2008107489/22. Appl. 26.02.08. Publ. 20.06.08. Bul. No. 17. 3 p.

7. Minzanova ST, Mironov VF, Sosnina NA, Vyshtakalyuk AB Technological aspects of obtaining feed additives from amaranth. Institute of Organic and Physical Chemistry. A. E. Arbuзова. KazSC RAS. 2000-2012. Access mode: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-66067.html>.

8. Antonyuk AP Technology of production of protein-vitamin mineral fodder additives from food and processing industry waste. Materials of the international conference "Innovative ways of developing pig breeding in Russia" ("Pig breeding - 2011"). International Industrial Academy, November 14-16, 2011, Pishchepromizdat, 2011.

9. Kovalev AV Technology of wet homogeneous feeding of pigs as a tool to increase the profitability and competitiveness of industrial pig farms. Materials of the international conference "Innovative ways of developing pig breeding in Russia" ("Pig breeding - 2011"). International Industrial Academy, November 14-16, 2011 Pishchepromizdat, 2011.

10. 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 - ISSN 2068 - 4215.