

УДК: 66.021.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕФЕКТІВ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ НА  
ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМАвдєєва Л.Ю.<sup>1</sup>, докт. техн. наук, Павлик В.Ю.<sup>2</sup><sup>1</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України, старший науковий співробітник, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03680, Україна, avdeeva22@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3434-1669><sup>2</sup>НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», магістр 2 року, пр. Перемоги 37, Київ, 03056, Україна<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2022.3>

Наведено результати експериментальних досліджень впливу особливостей геометрії конструкції сопла Вентурі в статичних кавітаційних змішувачах проточного типу на характеристики потоку при утворенні емульсійних систем. Серед характеристик гідродинаміки потоку визначені витрати і швидкість потоку, число Рейнольдса, а також число кавітації.

The presented results of experimental studies describe the influence of the geometry features of the Venturi nozzle design on the flow characteristics during the formation of emulsion systems in static cavitation mixers. Flow rate, flow velocity, Reynolds number and cavitation number are defined among the characteristics of hydrodynamics of the flow.

Бібл. 11, рис. 3.

**Ключові слова:** кавітація, гідродинаміка, сопло Вентурі, кавітаційний змішувач, емульсія.

V – середня швидкість потоку;

D – діаметр трубки;

 $\mu$  – в'язкість; $\rho$  – густина рідини;

p – тиск перед соплом;

v – швидкість течії в соплі;

p кав – мінімальний тиск в потоці.

**Постановка проблеми**

Модифікація найбільш поширених, але морально застарілих енергоємних технологічних процесів і обладнання для підвищення їх ефективності за рахунок усунення непродуктивних втрат енергії є однією із головних проблем сучасного виробництва. При цьому мають враховуватись універсальність обладнання, його продуктивність, зручність і безпечність обслуговування, а також можливість одержання продукції високої якості.

Прикладом енерговитратних технологічних процесів можуть служити процеси, пов'язані з обробкою рідких багатокомпонентних гетерогенних систем. До таких процесів відносяться диспергування, гомогенізація і емульгування, які широко використовуються практично у всіх галузях народного господарства. Зокрема мікро- і наноемульсії широко застосовують в медицині, фармацевтичній, хімічній і харчовій галузях, а також сільському господарстві. Велика кількість харчових продуктів випускається у формі емульсій: молоко і молочні продукти, соуси, десерти, морозиво та ін. Все більше уваги приділяється використанню фармацевтичних емульсій для лікувального (ентерального і пе-

рорального) і дитячого харчування, а також їх використання в якості кровозамінників. Це обумовлено їх особливостями: властивістю поєднувати жирову і водну фази, можливістю додавання активних водо- і жиророзчинних компонентів, підвищеною біодоступністю і високою засвоюваністю [1, 2, 3].

На сьогодні підвищений інтерес спостерігається до використання емульсій при створенні лікувальних і косметичних засобів. Такі засоби, завдяки широкому використанню екстрактів і частин цілющих рослин, ефірних олій, вітамінних і мінеральних комплексів, інших речовин з відмінними фізико-хімічними властивостями мають високу ефективність і біологічну активність, легку всмоктуваність та користуються великим попитом у населення.

Серед різних косметичних продуктів представлених на споживчому ринку найбільш поширеними засобами є емульсійні косметичні креми. Це обумовлено їх високою косметичною ефективністю і рентабельністю виробництва даної групи виробів. Емульсійні креми прямого типу «оля у воді» — це рідкі або «м'які» непрозорі креми, які містять у своєму складі від 40 до

90 % води. Присутність у їх складі води сприяє швидкому змочуванню і гідратації шкірної поверхні, а також сприяє збільшенню сорбційних властивостей крему. Крім підготовленої води до складу легких емульсій входять олії, поверхнево-активні речовини, екстракти лікарських рослин, біологічно активні речовини, білкові гідролізати, вітаміни, віддушки, консерванти та інші компоненти [1].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

При виборі ефективного обладнання мають бути врахованими його універсальність, продуктивність, енергоефективність, зручність і безпечність обслуговування, а також можливість одержання готової продукції із заданими характеристиками.

Досить часто на підприємствах для отримання емульсій, що легко утворюються використовують метод інтенсивного механічного перемішування за допомогою швидкохідних мішалок. Однак їх використання не дозволяє отримати необхідної дисперсності системи, що досягається за рахунок використання гомогенізації [3]. Використання гомогенізації стало стандартним виробничим процесом для отримання стабільних емульсій з розміром жирових бульбашок до 2 мкм. При цьому поверхня утвореної мембрани змінює свій хімічний склад, а площа поверхні розділення між фазами збільшується в чотири-шість разів. Для отримання однорідних і стабільних емульсій, з високим ступенем дисперсності частинок найчастіше використовують змішувачі і гомогенізатори різних типів: гомогенізатори клапанні високого тиску, роторно-пульсаційні апарати, ультразвукові, колоїдні млини та ін. [1, 3].

В гомогенізаторах клапанного типу емульгування відбувається в системі клапанів під високим тиском (до 25 МПа). Гомогенізатори можуть бути оснащені однією гомогенізуючою голівкою або двома. При проходженні потоку вузьким каналом його швидкість зростає поки статичний тиск не знизиться до такого рівня, при якому рідина почне закипати. Максимальна швидкість залежить від тиску гомогенізації на вході. Після проходження щілини, швидкість знижується, а тиск починає зростати. Кипіння рідини припиняється і парові бульбашки вибухають [4, 5].

Ступінь дисперсності (може становити 1 мкм і менше) і якість емульсій залежить від гідравлічних умов в зоні клапанної щілини і регулюється ступенем відкриття клапану, що робить ці гомогенізатори досить універсальними. Однак, вони відносяться до енергоємних і металомістких: в залежності від тиску і продуктивності витрати електроенергії становлять

від 36 до 140 кВт/год, клапани в процесі експлуатації швидко зношуються і вимагають частой заміни. Загальна маса гомогенізатора може перебувати в межах від 600 до 4000 кг [1, 4, 5].

Для виготовлення емульсій, що містять нерозчинні тверді речовини використовують колоїдні млини. Подрібнення частинок відбувається за рахунок удару або тертя. Найбільший інтерес представляють роторно-більні і віброкавітаційні колоїдні млини. Роторно-більний млин представляє собою апарат ударного типу з одним диском, що обертається і закріпленими концентричними рядами пальцями (білами). Подрібнення частинок відбувається в результаті багатократних ударів при обертанні диску. Внаслідок високої швидкості руху біл і частинок суміші і їх зіткнення з контрударниками досягається значний кавітаційний ефект, коли кавітаційні пухирці при зхлопуванні утворюють інтенсивні кумулятивні мікрострумені.

Значно більшу продуктивність мають віброкавітаційні колоїдні млини. Він складається із статора і ротора, що мають прокольні канавки і встановлені в середині корпусу млина. При обертанні ротору суспензія рухається о канавках між статором і ротором. В результаті руху суспензії утворюються високочастотні коливання, наближені до ультразвукових, що обумовлює високу ступінь подрібнення частинок. Колоїдне подрібнення є складним та маловивченим процесом. До теперішнього часу процес не має надійної теоретичної основи, тому використання колоїдних млинів для емульгування є обмеженим [1].

Ультразвукові гомогенізатори - це електромеханічні і гідродинамічні пристрої, що створюють звукові і ультразвукові коливання в гомогенізованій суміші. Найбільш відомий з них - гідродинамічний свисток. Принцип дії його заснований на проходженні потоку рідини через зону максимального впливу ультразвукового поля, створюваного самим же потоком. Потік дробиться на струмені, які, багаторазово взаємно перетинаючись з великою швидкістю, створюють інтенсивні вихори і акустичні коливання високих частот. При виході з сопла закрученого потоку виникають найбільш інтенсивні вихори, що створюють коливання, ще більш посилюються встановленою на виході трубкою - резонатором, що утворює в потоці рідини кавітаційні порожнини [6]. Ультразвуковий метод емульгування вельми ефективний: повнота емульгування становить 95%. Метод забезпечує високу ступінь дисперсності (0,1-0,5 мкм) і стійкість емульсії при тривалому зберіганні. Металоємність і енергоємність ультразвуку-

кового гомогенізатора в порівнянні з гомогенізатором клапанного типу такої ж продуктивності, нижче в 5-7 разів [5, 6].

За сучасними уявленнями, підвищення ефективності роботи обладнання можливе за рахунок більш повного використання внутрішніх і зовнішніх джерел енергії. До такого типу обладнання відносяться роторно-пульсаційні апарати (РПА). Вони знайшли широке застосування для утворення високодиспергованих гомогенізованих емульсій і суспензій при температурі обробки до 95°C. Принцип їх роботи заснований на використанні нестационарності потоків речовини, енергії і імпульсу. За рахунок комплексного імпульсного, ударного, кавітаційного і інших видів гідромеханічних впливів на складні багатокомпонентні гетерогенні дисперсні системи відбувається інтенсифікація гідромеханічних і масообмінних процесів і ефективно диспергування, гомогенізація і емульгування. Ці гомогенізатори знайшли широке застосування для одержання високодиспергованих стабільних емульсій з середнім розміром частинок від 50 нм до 1-2 мкм. РПА характеризуються високою продуктивністю, низькою енерго- і металоємністю, а також зниженням втрат сировини [7].

Високоєфективними і продуктивними пристроями з низькими питомими енерговитратами для обробки рідких емульсійних систем показали себе кавітаційні апарати різних конструкцій [7].

Кожен з розглянутих типів обладнання має свої переваги та недоліки. Рациональний вибір типу і конструкції апарату залежить від властивостей певних типів дисперсних систем, заданих характеристик готового матеріалу, реальних умов і виробничих можливостей підприємств, а також техніко-економічних розрахунків виробництва.

Проточні гідродинамічні кавітаційні апарати статичного типу представляють собою надійне високоєфективне обладнання нового покоління для розчинення, змішування, диспергування, емульгування і гомогенізації в дисперсних системах типу «рідина-рідина» або «рідина-тверда речовина». Відмінною ознакою цих апаратів є просторово-часова локалізація енергії, що дає можливість при порівняно низькому рівні енергії створювати направлені імпульси великої потужності. Використання гідродинамічної кавітації в обладнанні цього типу дозволяє інтенсифікувати і прискорювати технологічні процеси в рідких середовищах, при цьому значно зменшуючи витрати енергії. Ефективність кавітаційних апаратів пов'язана з виникненням супутніх до явища кавітації ефектів, таких як ударні хвилі,

кумуляція, автоколивання, вібротурбулізація, дифузія і теплообмін, які виникають при утворенні, зростанні і колапсі бульбашок. В результаті, створюються умови для ефективного проходження гідромеханічних, фізичних і хімічних процесів на мікро- і нанорівнях. Основою великої кількості відомих статичних гідродинамічних кавітаційних апаратів проточного типу є трубка Вентурі. Її найважливішими характеристиками вважаються діаметр горловини сопла і кут розкриття дифузору. В меншій мірі важливим є кут розкриття конфузору. Хоча вплив геометрії трубок Вентурі на виникнення ефектів гідродинамічної кавітації вивчався багатьма дослідниками, кожна конкретна дисперсна система має свої фізико-хімічні особливості, тому вимагає проведення додаткових досліджень [7, 8].

**Мета роботи** – дослідження впливу особливостей геометрії конструкції сопла Вентурі в кавітаційних змішувачах на характеристику потоку при утворенні емульсійних систем, як основ легких емульсійних кремів.

Дослідження проводились на експериментальному стенді детально описаному в роботі [7, 9].

В якості кавітаційного реактору використовувалась з'єднана трубка Вентурі з кутом розкриття конфузора 90°, довжиною горловини сопла 20 мм і кутом розкриття дифузора 120°. Діаметр сопла змінювався від 0,004 м до 0,016 м.

Гідродинамічний тиск перед кавітатором, який створюється за допомогою відцентрових багатоступеневих насосів, контролювався манометрами і регулювався за допомогою запірної арматури в межах 0,1...0,5 МПа.

#### **Технічні характеристики стенду:**

Номинальна потужність ... 2,3 кВт,

Робочий об'єм приймального баку пристрою для розчину ... 15 л;

Номинальна напруга ... 380 В;

Частота току ... 50 Гц;

Режим роботи ... періодичний;

Кількість насосів ... 2;

Максимальна температура нагріву матеріалу в пристрої ... 55 °С.

В якості дослідної емульсійної основи для отримання емульсійних кремів використовувалась емульсія прямого типу «масло у воді», до складу якої входили: олія виноградної кісточки - 20% і полісорбат 80 – 10%, дистильована вода. Полісорбат 80 відноситься до ПАР неіоногенної групи, є емульгатором та солюбілізатором.

Таким чином, використана дослідна емульсія – це трикомпонентна система, що складається з полярної рідини (вода), неполярної рідини (олія) та емульгатора.

Якість отриманих емульсій оцінювали за такими характеристиками, як дисперсність і стійкість емульсії у часі.

Визначення дисперсності проводилось методом фотонної кореляційної спектроскопії на лазерному фотон-кореляційному спектрометрі “ZetaSizer-3” Malvern Instrument, Великобританія. Робота даного спектрометру основана на спектральному аналізі флуктуації інтенсивності статистично і динамічно розсіяного світла при проходженні лазерного променя через досліджуване середовище. Прилад обладнаний He-Ne лазером ЛГН-111 (P=25 мВт,  $\lambda=633$  нм) з діапазоном вимірювання від 1 нм до 50 мкм [10].

Стійкість емульсії у часі визначали за швидкістю розшарування емульсії після її отримання. Швидкість розшарування емульсії розраховують, вимірюючи висоту (обсяг) фази, що відшарувалась, через певні проміжки часу.

### Основні наукові результати

До початку обробки система з двох фаз, що не змішуються, знаходилась у термодинамічно стійкому стані і перебувала у вигляді двох суцільних шарів: верхнього (легша рідина) і нижнього (важча рідина). Під час проходження рідини через кавітаційний реактор здійснюється перетворення енергії низької концентрації на енергію високої локальної концентрації в нестійких точках структури і система стає кумулятивно-дисипативною. Суцільний шар олії починає подрібнюватись на окремі краплини, зростає міжфазна поверхня та вільна поверхнева енергія, а система стає термодинамічно нестійкою. Для її адаптації до зовнішнього впливу і зменшення енергії Гібса до мінімуму система набуває нових необхідних властивостей. В результаті відбувається мимовільна самоорганізація і утворення стійких мікро- і наноструктурних емульсій.

Ефективний гідродинамічний вплив, який створюється за рахунок виникнення кавітаційних ефектів на експериментальному стенді дозволяє зруйнувати структурні і міжмолекулярні зв'язки і отримати стійкі емульсії з розміром частинок до 1 мкм. Характеристика утворених емульсій залежить від конструкції апарата, теплотехнологічних параметрів проведення процесу і фізико-хімічних властивостей речовин, представлених в дисперсній системі.

Нами було досліджено вплив особливостей геометрії конструкції сопла Вентурі в статичних кавітаційних

змішувачах на характеристику потоку при утворенні емульсійних систем типу «олія у воді». Початкова температура дослідних зразків становила  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ . Основними показниками гідродинаміки в трубі Вентурі є швидкість течії рідини, що переміщається за одиницю часу через поперечний перетин трубки і характер течії рідини, що характеризується числом Рейнольдса. Характеристика витрат рідини усередині сопла кавітаційного реактору наведені на рис. 1.

Отримані результати (рис. 1) свідчать, що при використанні даного типу кавітаційного реактору із збільшенням діаметра сопла, тиск перед соплом зменшується через зменшення місцевого опору у вигляді сопла, витрати розчину збільшуються, швидкість потоку в соплі зменшується. Причому спостерігається майже пропорційна залежність між збільшенням діаметру і збільшенням витрат. Явище кавітації є характерним для великих швидкостей, тому що при зростанні швидкості збільшується розрідження потоку. Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати про зниження інтенсивності кавітаційної обробки зі збільшенням діаметра сопла.

Число Рейнольдса характеризує гідродинамічні умови в потоці і стан рідини. Число Рейнольдса для рідини, що тече в циліндричній трубці визначається рівнянням:

$$Re = V \cdot D \cdot \rho / \mu, \quad (1)$$

де  $V$  – середня швидкість потоку, м/с;

$D$  – діаметр трубки, м;

$\mu$  – в'язкість, Па·с;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

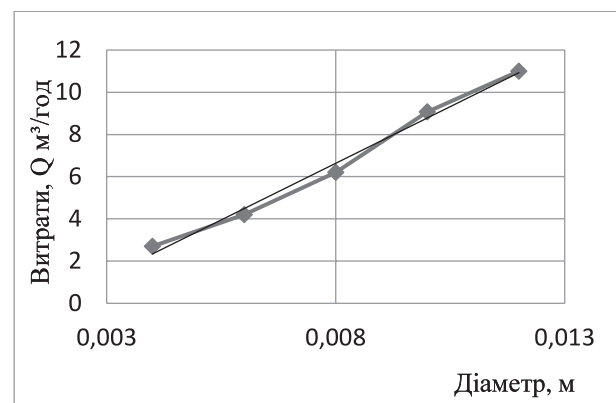


Рис. 1. Залежність витрат рідини від діаметра сопла

В умовах турбулентного і кавітаційного режимів у системі відрізняється її енергетичний розподіл. У першому випадку введення в рідину енергії викликає її турбулентне перемішування і характеризується нерівномірною зміною швидкості з часом, що супроводжується інтенсивним перемішуванням рідини з пульсаціями швидкостей та тисків, спостерігаються поперечні переміщення та обертальні рухи окремих об'ємів рідини. Гідродинаміка у кавітаційному режимі є складнішою. При цьому режимі поряд із утворенням у рідині крупномасштабних пульсацій, як при турбулентному режимі, одночасно відбуваються дрібномасштабні пульсації, утворення і зхлопування кавітаційних бульбашок, виникнення кумулятивних мікро струменів, зміна тисків і температур та інші кавітаційні ефекти. Режим характеризується розривом окремих струменів з утворенням парогазової фази. Потік перетворюється на двофазний [7].

Розрахунок числа Re (рис. 2) для руху потоку через сопло свідчить про наявність великих швидкостей і значної турбулізації. Із збільшенням діаметру сопла від 0,004 м до 0,012 м швидкість потоку зменшується, а число Рейнольдса збільшується. Подальше збільшення діаметру сопла призводить до поступового зменшення числа Re. Вважається, що чим вищим є число Рейнольда, тим меншим є розмір утворених кавітаційних пухирців і емульгування відбувається більш ефективно. Таким чином, збільшення діаметру сопла понад 0,012 м є недоцільним.

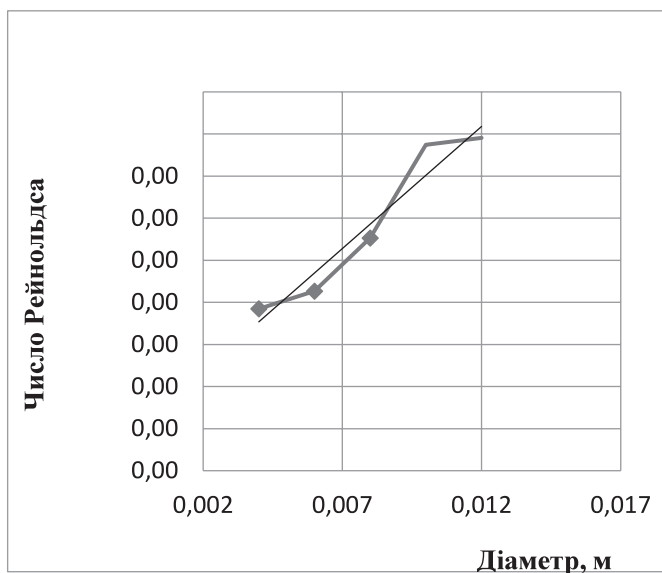


Рис. 2. Залежність числа Рейнольдса від діаметра сопла кавітаційного змішувача

В якості параметра для характеристики кавітаційних явищ в середині даного реактора використовувалось число кавітації, як один з найбільш важливих параметрів. Кавітаційне число розраховували за формулою 2:

$$\chi = \frac{p - p_{\text{кав}}}{1/2 \rho \cdot v^2}, \quad (2)$$

де  $p$  – тиск перед соплом, Па;

$v$  – швидкість течії в соплі, м/с;

$p_{\text{кав}}$  – мінімальний тиск в потоці, Па;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 3 наведена залежність числа кавітації від діаметру сопла.

Вважається, що при числах кавітації  $\chi > 2$  кавітація відсутня, при значеннях  $\chi$  від 1,0 до 2,0 кавітація має місце, а найбільша інтенсивність кавітації при  $\chi < 1$  [7, 8]. Наведені результати (рис.3) свідчать про те, що майже для всіх діаметрів горловини сопла число кавітації  $\chi < 1$ . Виключення становить сопло з діаметром 12 мм, при використанні якого потік характеризується найбільшим числом кавітації,  $\chi = 1,01$ . Це може свідчити про деяке зниження інтенсивності кавітаційного впливу при подальшому збільшенні діаметра сопла. Використання кавітаційних реакторів з соплом діаметром 4 мм і 6 мм, незважаючи на низькі кавітаційні числа і високу інтенсивність впливу гідродинамічної кавітації, потік характеризується дуже низькими витратами розчину, що призводить до низької продуктивності процесу

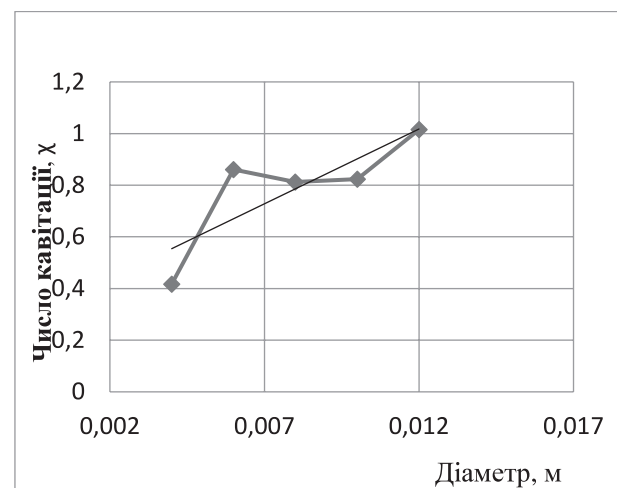


Рис. 3. Залежність числа кавітації від діаметру сопла

емульгування, збільшення тривалості і енерговитрат процесу, а також зниження якості отриманої емульсії. Отримані результати підтверджуються дослідженнями інших вчених [3, 8, 11].

З метою апробації ефективності роботи кавітаційного змішувача для отримання жирової основи при виробництві косметичних бальзамів для догляду за шкірою були проведені дослідження дисперсності і стабільності утворених дослідних зразків.

Дослідження дисперсності показали, що в результаті використання експериментального кавітаційного змішувача і запропонованих теплотехнологічних режимних параметрів обробки складної гетерогенної системи типу «масло у воді» утворилась мікроемульсія з діапазоном дисперсності частинок від 17 нм до 550 нм. Дисперсія носить одномодальний характер з піком на 72 нм. Кількість частинок з розміром до 100 нм, які вважаються найбільш стійкими, становить 86%.

З метою визначення стабільності системи утворена мікро емульсія зберігалась при  $t = 4 \pm 2$  °C впродовж 14 діб. Після вказаного терміну визначення дисперсності було проведено повторно.

Повторні дослідження показали, що в результаті витримки утвореної мікроемульсії діапазон дисперсності частинок залишився майже незмінним – від 16 нм до 825 нм. Кількість частинок до 100 нм становить 83%. Кількість частинок з розміром більше 100 нм збільшилась незначно, що може свідчити про дуже високу стабільність емульсії.

### Висновки

1. На основі аналізу результатів математичного моделювання для створення гідродинамічної кавітації були виготовлені і досліджувались кавітаційні реактори типу трубки Вентурі з такими геометричними параметрами: кут розкриття конфузора 90°, довжина горловини сопла 20 мм, кут розкриття дифузора 120°. Діаметр горловини сопла в кавітаційних реакторах змінювався від 4 мм до 16 мм.

2. На основі експериментальних даних було встановлено, що майже для всіх виготовлених зразків кавітаційних реакторів характерний інтенсивний вплив гідродинамічної кавітації. Про це свідчать високі значення числа Рейнольдса і низькі значення числа кавітації. Найбільш раціональним є використання кавітаційного реактора з діаметром горловини сопла 8 мм.

3. Експериментальний статичний кавітаційний змішувач проточного типу дозволяє отримати якісні, стійкі у зберіганні емульсійні препарати нанодіапазону.

4. Косметичний емульсійний препарат, виготовлений на експериментальному обладнанні характеризується високодисперсною структурою з переважною більшістю частинок з розміром до 100 нм – 86% і стабільністю утвореної дисперсії при зберіганні впродовж 14 діб при  $t = 4 \pm 2$  °C.

5. Одержані результати будуть використані для розроблення рекомендацій для проектування ефективних трубок Вентурі для отримання стабільних мікро- і наноемульсій.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Emulsions and emulsion stability* /Ed.J.Sjöblom. CRC Press Taylor& Francis Group. 2006. 669 p. DOI:10.1201/9781420028089.
2. *Drapala, K. P., Auty, M. A., Mulvihill E.* Influence of lecithin on the processing stability of model whey protein hydrolysate-based infant formula emulsions. *International Journal of Dairy Technology*. 2015.68(3), P.322-333. DOI:10.1111/1471-0307.12256
3. *Hakansson A.* Emulsion Formation by Homogenization: Current Understanding and Future Perspectives *Food Science Technology*. 2019. 10:239–258. DOI: 10.1146/annurev-food-032818-121501
4. *Bylund G.* Dairy processing handbook Tetra Pak. 2015. 486 p. ISBN-10: 9176111326
5. *Guan X., Yang N., Nigam K.* Prediction of Droplet Size Distribution for High Pressure Homogenizers with Heterogeneous Turbulent Dissipation Rate. *Industrial&Engineering Chemistry Research*. 2020, 59 (9), 4020-4032. DOI:10.1021/acs.iecr.9b04615
6. *Zhang Sh.B., Zhang Sh. Y., Peng Y. X.* Comparative study of high-intensity ultrasound and high-pressure homogenization on physicochemical properties of peanut protein-stabilized emulsions and emulsion gels. *Journal of Food Process Engineering*.2021. DOI: 10.1111/jfpe.13710.
7. *Долінський А.А., Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А.* Кавітаційні технології для виробництва нанопрепаратів. Київ: «Наук. Думка», 2020, 112 с.
8. *Adrien M., Bronson B.M., Xu Zh., Liu Q.* Study of Venturi tube geometry on the hydrodynamic cavitation for the generation of microbubbles. *Minerals Engineering*. V. 132, 2019, P. 268-274. DOI:10.1016/j.mineng.2018.11.001
9. *Долінський А.А.* Явище гідродинамічної кавітації як дієвий механізм диспергування при реалізації дискретно-імпульсного введення енергії

/ А.А. Долінський, Л.Ю. Авдєєва, Е.К.Жукотський, А.А.Макаренко// Промышленная теплотехника, 2015.- Т.37, №6.-С.16-21.

10. *Yegin B.* Lipid nanocapsule size analysis by hydrodynamic chromatography and photon correlation spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutics*. 2006. № 320 (1-2). P. 165–170. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2006.04.014.

11. *Mossaz S., Colombet D., Ayela F.* Hydrodynamic cavitation of binary liquid mixtures in laminar and turbulent flow regimes. *Experimental Thermal and Fluid Science*. V. 80. 2017. P. 337-347. DOI:10.1016/j.expthermflusci.2016.08.001.

**THE STUDY OF THE INFLUENCE OF  
HYDRODYNAMIC CAVITATION EFFECTS  
ON THE PROPERTIES OF COMPLEX  
MULTICOMPONENT SYSTEMS**

**Avdieieva L.Yu.<sup>1</sup>, Pavlyk V.Yu.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Senior Researcher, Mary Kapnist str., 2a, Kyiv, 03680, Ukraine, avdeeva22@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3434-1669>*

<sup>2</sup>*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Master of the 2nd year, 37 Peremohy Ave., Kyiv, 03056, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2022.3>

Emulsions have high efficiency and biological activity, easy absorption, and high digestibility, because they include extracts and parts of medicinal plants, essential oils, vitamin and mineral complexes. They are widely used in medicine, pharmaceutical, chemical and food industries, as well as agriculture. At the same time, the treatment of liquid multicomponent heterogeneous systems to obtain stable micro- and nano emulsions is a long and energy-intensive process.

Modification or replacement of obsolete energy-intensive technological processes and equipment to increase their efficiency is one of the main problems of modern production.

Various cavitation devices have proven to be highly efficient and productive with low energy consumption when producing high-quality liquid emulsion systems.

Streaming hydrodynamic cavitation devices of the static type based on the Venturi tube are reliable high-performance equipment and are widely used for the formation of microemulsions by hydrodynamic cavitation. Although the influence of Venturi tube geometry on the occurrence of hydrodynamic cavitation has been widely studied, there is no clear relationship between cavitation and Venturi tube geometry parameters.

The aim of this work was to study the influence of the geometry features of the Venturi nozzle design in cavitation mixers on the flow characteristics in the formation of emulsion systems as the basis of light emulsion creams.

The presented results of experimental studies describe the influence of the geometry features of the Venturi nozzle design on the flow characteristics during the formation of emulsion systems in static cavitation mixers. Flow rate, flow velocity, Reynolds number and cavitation number are defined among the characteristics of hydrodynamics of the flow. The quality of the obtained emulsions is evaluated by dispersion and stability of the emulsion over time.

References 11, figures 3.

**Key words:** cavitation, hydrodynamics, Venturi nozzle, cavitation mixer, emulsion.

1. *Emulsions and emulsion stability* /Ed.J.Sjöblom. CRC Press Taylor& Francis Group. 2006. 669 p. DOI:10.1201/9781420028089.

2. *Drapala, K. P., Auty, M. A., Mulvihill E.*. Influence of lecithin on the processing stability of model whey protein hydrolysate-based infant formula emulsions. *International Journal of Dairy Technology*. 2015.68(3), P.322-333. DOI:10.1111/1471-0307.12256

3. *Hakansson A.* Emulsion Formation by Homogenization: Current Understanding and Future Perspectives *Food Science Technology*. 2019. 10:239–258. DOI: 10.1146/annurev-food-032818-121501

4. *Bylund G.* Dairy processing handbook Tetra Pak. 2015. 486 p. ISBN-10: 9176111326

5. *Guan X., Yang N., Nigam K.* Prediction of Droplet Size Distribution for High Pressure Homogenizers with Heterogeneous Turbulent Dissipation Rate. *Industrial&Engineering Chemistry Research*. 2020, 59 (9), 4020-4032. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b04615.

6. *Zhang Sh.B., Zhang Sh. Y., Peng Y. X.* Comparative study of high-intensity ultrasound and high-pressure homogenization on physicochemical properties of peanut protein-stabilized emulsions and emulsion gels. *Journal of Food Process Engineering*.2021. DOI: 10.1111/jfpe.13710.

7. *Dolinskiy A.A., Avdieieva L., Makarenko A.A.* [Cavitation technologies for the production of nanopreparations]. – Kyiv: Nauk. Dumka. 2020. 112 p. (in Ukr.)

8. *Adrien M., Bronson B.M., Xu Zh., Liu Q.* Study of Venturi tube geometry on the hydrodynamic cavitation for the generation of microbubbles. *Minerals Engineering*. V. 132, 2019, P. 268-274. DOI:10.1016/j.mineng.2018.11.001.

9. *Dolinskiy A.A., Avdieieva L., Makarenko A.A.* [The phenomenon of hydrodynamic cavitation as an effective dispersion mechanism in the implementation of discrete-pulse energy input]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*. 2015. V. 37. № 6. P. 16-21. (in Ukr.)

10. *Yegin B.* Lipid nanocapsule size analysis by hydrodynamic chromatography and photon correlation spectroscopy. *International Journal of Pharmaceutics*. 2006. № 320 (1-2). P. 165–170. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2006.04.014.

11. *Mossaz S., Colombet D., Ayela F.* Hydrodynamic cavitation of binary liquid mixtures in laminar and turbulent flow regimes. *Experimental Thermal and Fluid Science*. V. 80. 2017. P. 337-347. DOI:10.1016/j.expthermflusci.2016.08.001.

*Отримано 16.05.2022*

*Received 16.05.2022*