

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

DOI: 10.31319/2519-2884.44.2024.18

УДК 621.01.216

Клімов Р.О., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-7061-7028, e-mail: klroma@ukr.net

Зайцев М.О., здобувач другого (магістерського) рівня, e-mail: ptter@i.ua

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Klimov Roman, Candidate of technical sciences, Associate professor of the Department of Thermal Power Engineering

Zaitsev Myroslav, master's degree student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВИРОБНИЦТВА СТІЙКИХ ДО РОЗШАРУВАННЯ РІДИННИХ СУМІШЕЙ

У роботі описується основна методика визначення технологічних параметрів процесу гомогенізації емульсійних середовищ при скипанні водної фази в результаті різкого скидання тиску, з урахуванням силового впливу однієї краплі на іншу, заснованого на критеріях нестійкості Бонда та Вебера. Розроблена методика визначення технологічних параметрів процесу гомогенізації емульсійних середовищ, при яких можна досягти найменших витрат енергії на проведення самого процесу та отримання стійкої до розширення емульсії.

Ключові слова: суміш; фаза; дроблення; швидкість; прискорення; нестійкість.

The paper describes the main method of determining the technological parameters of the process of homogenization of emulsion media during boiling of the aqueous phase as a result of a sharp drop in pressure, taking into account the force effect of one drop on another, based on the Bond and Weber instability criteria. A technique has been developed for determining the technological parameters of the process of homogenization of emulsion media, in which it is possible to achieve the lowest energy costs for carrying out the process itself and obtaining an emulsion resistant to delamination.

Keywords: mixture; phase; fragmentation; speed; acceleration; instability.

Постановка проблеми

Усі відомі методики розрахунків передбачають знаходження режимних характеристик диспергування, емульгування або гомогенізації. Існують різні методи одержання емульсій та їх подальшої обробки. Перспективною є роторно-пульсаційна обробка дисперсних систем у роторно-пульсаційних апаратах та пульсаційних диспергаторах ударного типу [1—3]. У даному типі апаратів реалізується комплекс складних гідродинамічних і теплофізичних явищ, таких як високоградієнтні течії в зазорах між обертовими і нерухомими елементами, інтенсивні процеси турбулізації потоку, явища кавітації та ін. Для цих апаратів важливим є визначення відносних швидкостей обертання елементів, оптимальних проміжків між цими елементами для різних типів оброблюваних середовищ.

Найбільш складним та важко визначеним є облік процесів десорбції поверхнево-активних речовин з поверхні дисперсної фази емульсії. Шар поверхнево-активної речовини (ПАР) становить основний механічний і термічний опір процесам тепломасообміну між фазами, тому для інтенсифікації цих процесів необхідно деформувати і згодом зруйнувати даний шар, реалізувати процес дроблення дисперсної фази, а після цього на новій поверхні розділу фаз відновити наночастиці ПАР [1, 4]. Через недостатнє вивчення і теоретичний опис процесів десорбції ПАР ними в більшості випадків нехтують, вважаючи, що міжфазний натяг на межі розділу практично не змінюється, незважаючи на зменшення маси ПАР на контактуючих поверхнях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вивчення динаміки росту парових порожнин експериментальним шляхом пов'язано з певними труднощами. У даних процесах мають справу з об'єктами, характерний розмір яких лежить в

мікронному діапазоні виміру, а часовий масштаб зміни вимірюваних параметрів $1 \text{ нс} \pm 10 \text{ мс}$. Експериментальні дослідження [1—4] ставили своєю метою визначення радіусу бульбашки, яка росте в об'ємі рідини, а також випромінюваних цією бульбашкою акустичних імпульсів. В експериментах [5—7] поява і подальше зростання парової бульбашки в рідині ініціювалися за допомогою лазерного випромінювання, сфокусованого в певну точку об'єму рідини. Зростання сформованої парової фази на границі розділу взаємнезмішуваних рідин емульсійних середовищ, є складними і невизначеними процесами в порівнянні з утворенням і існуванням одиночної парової бульбашки. Водночас в літературних джерелах їм приділено недостатньо уваги.

Експериментальні дані [4, 5, 7] дозволяють детально розглянути процес закипання водної фази емульсії, а також доводять, що формування парового прошарку відбуватиметься на границі двох незмішуваних рідин шляхом коагуляції утворених на даній границі розділу окремих парових бульбашок, що викликано зниженням поверхневого натягу на межі поділу і тому числі внаслідок наявності поверхнево-активних речовин.

Як відомо, емульсійні середовища являють собою суміш з двох взаємнезмішуваних рідин, одна з яких представляє собою дисперсне середовище, а інша несуче. Емульсії представляють собою велику кількість дрібних крапель води, які знаходяться в несучому середовищі. Чим менший розмір дисперсного середовища (води) буде мати емульсія, тим краще її стійкість до розшарування. Для досягнення однорідного складу та якомога меншого розміру часток емульсії використовують різні класи апаратів. Найменшими енерговитратами на процес дроблення дисперсної фази емульсії характеризуються установки, в яких використаний принцип дискретно-імпульсного введення енергії. Однією з останніх розробок є пристрій, в якому використовується плоский вихровий апарат для змішування [6]. В цьому пристрої найбільш однорідний розподіл часток за розмірами досягається без використання будь-яких механічних пристроїв для подрібнення. Розроблений пристрій для гідротермічного емульгування дозволяє об'єднати в собі комплекс найбільш раціональних в енергетичному плані методів дроблення дисперсної фази емульсії, реалізованих в трьох точках пристрою, і розподілу в ній поверхнево-активних речовин, чого немає в жодному існуючому пристрої для диспергування, емульгування або гомогенізації.

Процеси приготування стійких рідких водомазутних палив є одними з найбільш енергоємних процесів у промисловості, що пов'язано зі значною перевитратою теплоти і енергії, необхідних для дроблення дисперсної фази. Для створення дисперсних систем найбільшого поширення набув метод механічного дроблення. Можливим є використання динамічних ефектів при закипанні крапель малих розмірів для дроблення більш великих крапель. Проведені дослідження процесів руйнування границі розділу фаз (мазут-пара) і подальшого утворення стійкого до розшарування мазутного палива в суміші з водою при взаємодії двох закипаючих часток води, при різних початкових радіусах, відстанях між частками, температурах і різних значеннях міжфазного натягу [8]. Як показали результати дослідження, основним фактором, що визначає дроблення дисперсних часток води в мазуті, є температура. Цей фактор, в першу чергу, визначає витрати енергії на приготування стійкого водомазутного палива. Другим фактором є натяг на міжфазній межі розділу, значення цього коефіцієнту регулюється шляхом додавання поверхнево-активних речовин. Розміри часток води розподіленої в мазуті визначаються процесами прогріву холодного мазуту парою та мають певне значення. Виходячи з цього, основними параметрами регулювання процесу приготування стійкого до розшарування водомазутного палива є тиск насичення водної фази та відповідна йому температура системи, а також міжфазний натяг. Визначення оптимальних значень цих параметрів дозволить раціонально використовувати енергію в процесах приготування рідких палив.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка основної методики визначення технологічних параметрів процесу гомогенізації емульсійних середовищ, при яких можна досягти найменших витрат енергії на проведення самого процесу та отримання стійкої до розшарування емульсії.

Виклад основного матеріалу

У даній роботі для досягнення нестабільностей та подальшого дроблення часток дисперсної фази будемо використовувати різке скидання тиску. Внаслідок цього порушується рівноважний стан та виникає майже миттєве закипання легкокиплячого компонента емульсії (води).

Як відомо, будь яке емульсійне середовище складається з часток різних розмірів дисперсної фази. Ці частки при такому різкому скиданні тиску формують на своїй поверхні, а саме в місці розташування поверхнево-активної речовини парові зародки, які потім можуть бути злиті до деякого визначеного розміру парового прошарку. Цей паровий прошарок, якщо використовувати більшу частину емульсій, буде сформований з закипаючої води. Швидкість та відповідні прискорення руху границі розділу парової фази та несучого середовища для часток різних розмірів будуть значно відрізнятися як за величиною, так і за зміною в часі. З тієї безлічі часток, які розподілені в емульсійному середовищі, та у відповідності до характерних відстаней цього розташування, з великою ймовірністю біля достатньо великих часток буде розташована мала за розміром частка, яка буде відігравати роль джерела сили, що призводить до руйнування як парового прошарку, так і самої частки дисперсної речовини. Ці сили можуть бути викликані як швидкістю руху границі розділу або взагалі частки, так і відповідним прискоренням. Саме процес закипання відносно невеликого розміру часток легкокиплячої рідини в порівнянні з основною масою, а отже і поява парових зародків та подальше їх зростання, буде формувати цю силу. Відмінності в часі формування парових зародків в різних точках об'єму середовища будуть лише посилювати динамічну дію при закипанні.

Майже кожен спосіб розрахунку процесів дроблення часток дисперсної фази емульсії зводиться до розгляду основних типів нестійкості, викликаних швидкістю чи прискоренням потоку. Як впливає з критеріальних рівнянь Бонда та Вебера [1, 2, 6], при відповідних критичних числах даних критеріїв рівень динамічного впливу, який визначається прискоренням $P_g = \rho_l g R$ потоку або його швидкістю $P_w = 0.5 \rho_l w^2$, визначиться залежністю

$$P_{g,w} \propto \frac{\sigma}{R}, \quad (1)$$

де ρ_l — густина потоку в якому знаходиться дисперсна фаза; g — прискорення межі розділу фаз несучого та дисперсного середовища; R — радіус частки дисперсної фази; σ — коефіцієнт поверхневого натягу межі розділу фаз.

З рівняння (1) випливає, що рівень динамічного впливу прямо пропорційно залежить від значення коефіцієнта міжфазного натягу і обернено пропорційно — від радіуса аналізованої частки. Відповідно, зі збільшенням σ зростає необхідний рівень динамічної сили. Зі збільшенням радіуса краплі R рівень динамічного впливу $P_{g,w}$, необхідного для процесу дроблення, зменшується.

Аналізуючи залежність максимального розміру дисперсій від питомої витраченої потужності N , необхідної для здійснення процесів дроблення, в [1] отримано рівняння, яке описує даний процес

$$\lg d = 2,1 - 0,41 \cdot \lg N. \quad (2)$$

Так, наприклад, щоб зменшити дисперсність включення на порядок (тобто в 10 разів), необхідно збільшити енергію, що витрачається, в ≈ 275 разів.

У даній роботі для дроблення частинок дисперсної фази пропонується використовувати різке скидання тиску та викликане цим різке закипання термолабільної частини емульсії (води). При цьому механічні змішувальні пристрої не використовуються, а в самому процесі дроблення беруть участь частки різних розмірів, які створюють різні динамічні сили, що призводять до дроблення більших часток силами, що діють від дрібних часток при їх закипанні.

Прийmemo, що після технологічної зони виробництва є деякий об'єм мастильно-охолоджуючої рідини (МОР), яка є емульсією. Метою є отримання однорідного розподілу часток за розмірами. Для цього необхідно визначити режимні параметри, при яких процес дроблення великих включень буде проходити найбільш оптимально.

Першим кроком до розрахунку є визначення характерних розмірів часток дисперсної фази та його розподіл за розмірами. І тому необхідно розглянути кілька довільних перерізів різних частин об'єму емульсії. Тут можуть застосовуватися оптичні методи, що ґрунтуються на: вимірюванні розміру часток за допомогою мікроскопа, за допомогою фотографій, зображення яких проектується на градуїований екран; вимірі відбивної чи поглинальної здатності емульсій. Також можна застосовувати метод центрифугування та лічильник Коултера [7]. Найбільшого

поширення набули оптичні методи вимірювання розміру частинок за допомогою мікроскопа разом із відеокамерою і комп'ютерним забезпеченням [1].

Після того, як отримані розміри крапель дисперсної фази, можна побудувати гістограму розподілу крапель за розмірами, яка є найпростішим методом представлення даних частоти розподілу за розмірами [1, 4, 6]. За допомогою мікроскопії можна визначити середню відстань між поверхнями сусідніх крапель.

Характерне значення коефіцієнта міжфазного натягу вважатимемо спочатку відомим і певним ще до початку використання цієї МОР у виробництві.

Виділяючи необхідний рівень значення розміру часток, які повинні бути присутніми в емульсії після процесу подрібнення (наприклад, повинні бути частки з радіусом, що не перевищує R_{ef}), важливим є визначення характерного розміру сусідніх часток, які знаходяться біля виділених для розгляду. Причому їх радіус повинен бути меншим, ніж радіус R_{ef} .

Будемо вважати, що параметром вибору розміру сусідньої частки, яка робить найбільший внесок у руйнування аналізованої, буде співвідношення

$$\psi = R \cdot h \rightarrow \min . \quad (3)$$

Таким чином, радіусом, що визначає значення $\delta = R/R_{ef}$, буде той, для якого співвідношення (3) мінімальне, а це можливе в тому випадку, якщо сусідня крапля має досить малий розмір або знаходиться близько до розглядуваної. Насправді, поєднання невеликого радіусу та близького розташування до виділеної краплі визначають найбільш сприятливі умови для виконання (3).

За знайденими параметрами R_{ef} , δ та $\mathcal{G}_{cr} = h/R_{ef}$ (h — відстань між центрами двох найбільш близько розташованих крапель) можна визначити необхідні значення коефіцієнта міжфазного натягу і необхідну початкову температуру з рівняння [8]

$$\mathcal{G}_{cr}(R, \delta, t, \sigma) = 17,17 + 22000R - 10,48\delta - 0,296t - 19,276\sigma + \\ + 1,414 \cdot 10^{-3}t^2 + 1051,2\sigma^2 - 135,4Rt + 0,085\delta t - 52200R\sigma - 0,666t\sigma. \quad (4)$$

Значення коефіцієнта σ можна змінювати, вводячи відповідні ПАР і створюючи відповідну концентрацію. Після того, як буде визначено можливий рівень зниження σ , залишається знайти, вирішуючи рівняння (4), початкову температуру системи, яка необхідна для раціонального протікання процесу дроблення частинок дисперсної фази. За певною температурою можна знайти відповідний тиск насичення термолабільної фази емульсії (води), до якого необхідно підвищувати початковий тиск усієї системи і в результаті зниження його до атмосферного отримувати емульсію з розмірами часток нижче обраного радіусу R_{ef} . З урахуванням отриманих даних можна визначити необхідні температуру та тиск в апараті для гідротермічного емульгування, а також необхідну кількість ПАР, які будуть введені в вихровий апарат для змішування.

На рис. 1а показано характерний дисперсний склад МОР після технологічної зони виробництва (наприклад, охолодження різця в металообробці).

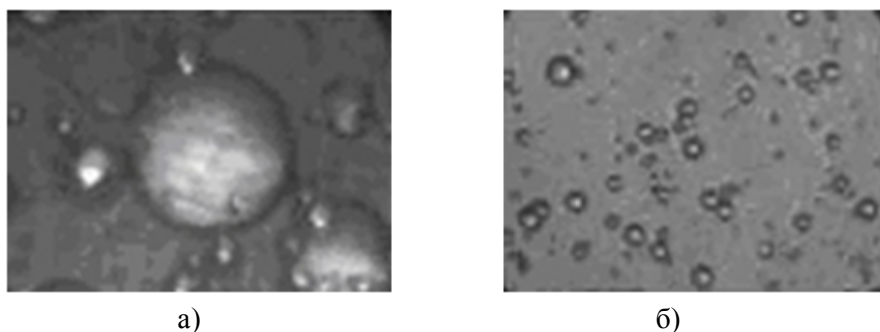


Рис. 1. Структура відпрацьованої МОР (а) та отримана в апараті для гідротермічного емульгування (б)

Видно, що цей склад має безліч великодисперсних часток, які найбільшою мірою визначають стійкість емульсії до розшарування і, як наслідок, її подальше використання. Шляхом одно- або багаторазового проведення процесу гідротермічного емульгування при визначених розрахунком раціональних параметрах у відповідному пристрої над вихідною МОР, яка являє собою емульсійний відхід після технологічної зони виробництва (рис. 1а), можна отримати необхідний розподіл часток за розмірами, при якому емульсія буде стійкою до розшарування (рис. 1б), і навіть отримати необхідні її теплофізичні властивості. Таким чином, з'являється можливість повторного використання відпрацьованої МОР.

Висновки

Описано основну методику визначення технологічних параметрів процесу гомогенізації емульсійних середовищ, при яких можна досягти найменших витрат енергії на проведення самого процесу та отримання стійкої до розшарування емульсії. Виконані дослідження повторного використання відпрацьованих МОР після технологічних зон виробництва на основі розроблених нових технологій процесів дроблення дисперсної фази емульсій показали, що при визначених за цією методикою розрахункових параметрах для апарату гідротермічного емульгування, можна наводити дисперсний склад МОР до нормативного і, як наслідок, багаторазово повторно повертати і використовувати оброблену після кожного циклу відпрацьовану МОР.

Список використаної літератури

1. Долінський А.А., Драганов Б.Х., Козирський В.В. Нанотехнології в енергетиці. К.: ЦП Компринт, 2015. 113 с.
2. Dolinsky A.A., Ivanitsky G.K. The principle of discrete-pulse energy input - new approach to the development of efficient power-saving technologies. *Ann.Review of Heat Transfer*. Vol.XIII. 2003. N.-Y, Wallingford (UK): Begell House Inc. P. 47–83.
3. Чайка О.І. Інтенсифікація процесу водно-спиртової екстракції з лікарської рослинної сировини при дискретно-імпульсному вводі енергії. *Фармацевтичний журнал*. 1999. № 4. С. 64–67.
4. Клімов Р.О. Процеси формування парової фази при закипанні емульсій *Збірник наукових праць ДДТУ: (технічні науки)*. Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2015. 1 (26). С.138–142.
5. Hesketh R.P., Etchells A.W., Russell T.W. Bubble breakage in pipeline flow. *Chem. Engng. Sci.* 1991. Vol.46. № 1. P. 1–10.
6. Клімов Р.О. Пристрій для емульгування водомазутних палив. *Збірник наукових праць ДДТУ: (технічні науки)*. Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2016. 1 (28). С.99–102.
7. Ramamurthi K., Sumil Kumar S. Collapse of vapor locks by condensation over moving subcooled liquid. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2001. Vol.44. № 16. P. 2983–2994.
8. Клімов Р.О. Вплив структурних та фізичних параметрів в процесах приготування рідких палив. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ. 2017. 1(30). С. 134–140.

TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF SELIDITION-RESISTANT LIQUID MIXTURES

Abstract

All existing calculation methods involve finding the operating characteristics of dispersion, emulsification or homogenization. There are different ways to obtain emulsions and their further processing. Rotary-pulsation processing of dispersed systems in rotary-pulsation devices and impact-type pulsation dispersants is promising.

The processes for preparing stable liquid water-oil fuels are one of the most energy-intensive processes in industry, which is associated with a significant overconsumption of heat and energy required for crushing the dispersed phase. To create dispersed systems, the most widely used method is

mechanical crushing. It is possible to use dynamic effects when boiling droplets of small sizes to crush larger droplets.

Almost every method of calculating the processes of crushing particles of the dispersed phase of an emulsion comes down to considering the main types of instability caused by the speed or acceleration of the flow. In this work, to crush particles of the dispersed phase, it is proposed to use a sharp release of pressure and the resulting sharp boiling of the thermolabile part of the emulsion (water). In this case, mechanical mixing devices are not used, and the crushing process itself involves particles of different sizes, which create various dynamic forces leading to the crushing of large particles by the forces acting from small particles when they boil.

The paper describes the basic methodology for determining the technological parameters of the process of homogenization of emulsion media, at which it is possible to achieve the lowest energy consumption for carrying out the process itself and obtaining an emulsion resistant to separation. Conducted studies of the reuse of waste cutting fluids after technological production zones based on the developed new technologies for crushing the dispersed phase of emulsions have shown that with the design parameters for a hydrothermal emulsification apparatus determined using this method, it is possible to bring the dispersed composition of cutting fluids to the standard and, as a result, repeatedly return and use the used cutting fluids processed after each cycle.

References

- [1] Dolinsky, A.A., Draganov, B.H., & Kozyrskyi V.V. (2015). *Nanotekhnolohiyi v enerhetyts [Nanotechnology in energy]*. K.: CP Comprint [in Ukrainian].
- [2] Dolinsky, A.A., & Ivanitsky, G.K. (2003). The principle of discrete-pulse energy input - new approach to the development of efficient power-saving technologies. *Ann.Review of Heat Transfer. Vol.XIII*. 47–83.
- [3] Chayka, O.I. (1999). Intensyfikatsiya protsesu vodno-spyrtovoyi ekstraktsiyi z likars'koyi roslynnoyi syrovyny pry dyskretno-impul'snomu vvodi enerhiyi [Intensification of the process of water-alcohol extraction from medicinal plant raw materials with discrete-pulse energy input]. *Pharmaceutical journal*. No. 4, 64–67 [in Ukrainian].
- [4] Klimov, R.O. (2015). Protsesty formuvannya parovoyi fazy pry zakypanni emul'siy [Processes of formation of the vapor phase during boiling of emulsions]. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*, 1(26), 138–142 [in Ukrainian].
- [5] Hesketh, R.P., Etchells, A.W., & Russell, T.W. (1991) Bubble breakage in pipeline flow. *Chem. Engng. Sci.* Vol.46, No. 1, 1–10.
- [6] Klimov, R.O. (2016). Prystryi dlya emul'huvannya vodomazutnykh palyv [Device for emulsifying water-based fuels]. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*, 1(28), 99–102 [in Ukrainian].
- [7] Ramamurthi, K., & Sumil Kumar S. (2001). Collapse of vapor locks by condensation over moving subcooled liquid. *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol.44, No. 16, 2983–2994.
- [8] Klimov, R.O. (2017). Vplyv strukturnykh ta fizychnykh parametriv v protsesakh pryhotuvannya ridkykh palyv [Influence of structural and physical parameters in the processes of preparation of liquid fuels]. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*, 1(30), 134–140 [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 08.04.2024