

Нові рішення у сучасній техніці та технологіях

УДК 621.182

DOI: 10.31471/1993-9868-2020-2(34)-75-83

УДОСКОНАЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

В. О. Мельник

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. 097 9089840,
e-mail: victor_11@ukr.net*

Під час спалювання рідкого палива виникають проблеми, пов'язані із забезпеченням екологічних вимог та ефективністю його використання. Процес якісного горіння рідкого палива (переважно мазуту) ускладнюється наявністю у ньому надмірної кількості води. Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є використання водоемульсійних палив (ВЕП), при якому високовартісна стадія зневоднення палива замінюється стадією емульгування – рівномірного розподілу води у об'ємі палива. При цьому можна усунути її розшарування не лише з використанням дорогих поверхнево-активних речовин (ПАР), а із застосуванням технологій, які забезпечують стійкість такого палива за рахунок утворення дрібнодисперсної емульсії. Стійкість та ефективність горіння такої паливної емульсії (ПЕ) буде значно залежати від наявної кількості та дисперсності води у ВЕП. Сьогодні такі технології емульгування ВЕП та їх особливості вивчені недостатньо і тому мають велике наукове та практичне значення. Існуючі класифікації методів емульгування (МЕ) є різноманітними, що унеможливує аналіз можливостей, функціональності та доцільності вибору оптимального МЕ для отримання якісної емульсії. На основі проведеного аналізу існуючих класифікацій МЕ запропонована удосконалена класифікація, в якій поєднані можливі МЕ і апарати, що їх реалізують. Доцільність використання конкретного МЕ залежить від параметрів ПЕ та її потреби, сфери, умов та мети застосування. Для промислових масштабів найефективніше використовувати апарати, які працюють із використанням технології дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Проте для лабораторних досліджень можливо використовувати звукові МЕ з диспергатором УЗДН-А та генератором УЗГ-34.

Ключові слова: методи емульгування, пристрої емульгування, мазут, емульсія, паливо, дисперсність.

При сжигании жидкого топлива возникают проблемы, связанные с обеспечением экологических требований и эффективностью его использования. Процесс качественного горения жидкого топлива (преимущественно мазута) осложняется наличием в нем избыточного количества воды. Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является использование водоземulsionных топлив (ВЭТ), при котором дорогостоящая стадия обезвоживания топлива заменяется стадией эмульгирования – равномерного распределения воды в объеме топлива. При этом можно устранить ее расслоение не только с использованием дорогих поверхностно-активных веществ (ПАВ), а с применением технологий, обеспечивающих устойчивость такого топлива за счет образования мелкодисперсной эмульсии. Устойчивость и эффективность горения такой топливной эмульсии (ТЭ) будет значительно зависеть от имеющегося количества и дисперсности воды в ВЭТ. Сегодня такие технологии эмульгирования ВЭТ и их особенности изучены недостаточно и имеют большое научное и практическое значение. Существующие классификации методов эмульгирования (МЭ) разнообразны, что не позволяет провести анализ возможностей, функциональности и целесообразности и выбор оптимального МЭ для получения качественной эмульсии. На основании

проведенного аналізу існуючих класифікацій МЭ пропонується удосконалена класифікація, в якій об'єднані можливі МЭ і апарати, її реалізуючі. Цілесобразність використання конкретного МЭ залежить від параметрів ПЭ і його потреби, сфери, умов і цілей застосування. Для промислових масштабів ефективно використовувати апарати, які працюють з використанням технології дискретно-імпульсного введення енергії (ДИВЭ). Однак для лабораторних досліджень можна використовувати звукові МЕ з диспергатором УЗДН-А і генератором УЗГ-34.

Ключеві слова: методи емульгування, пристрої емульгування, мазут, емульсія, паливо, дисперсність.

When burning liquid fuel, the problems arise related to ensuring the environmental requirements and the efficiency of its use. The process of high-quality liquid fuel combustion (mainly fuel oil) is complicated by the presence of excess water in it. One of the promising directions for solving this problem is the use of water-emulsion fuels (WEF), in which the expensive stage of fuel dehydration is replaced by the stage of emulsification – the uniform water distribution in the volume of fuel. In this case, it is possible to eliminate its stratification not only with the use of expensive surfactants, but also with the use of technologies, ensuring the stability of such fuel due to the formation of a finely dispersed emulsion. The stability and efficiency of combustion of such a fuel emulsion (FE) will significantly depend on the amount and water dispersion in the WEF. Nowadays such WEF technologies for emulsifying and their features are insufficiently studied and therefore have great scientific and practical importance. The existing classifications of emulsification methods (EM) are diverse, which makes it impossible to analyze the possibilities, functionality, and practicability of choosing the optimal EM for obtaining a high-quality emulsion. On the basis of the analysis of the existing EM classifications, the improved classification is proposed, which combined the possible EM and devices. The expediency of using a specific EM depends on the parameters of the FE and its needs, scope, conditions and purpose of application. It is effective to use for an industrial scale the devices that work with discrete-pulse energy input technology (DPEI). However, you can use the sound EM, using the UZDN-A disperser and the UZG-34 generator for laboratory studies.

Key words: emulsification methods, emulsification devices, fuel oil, emulsion, fuel, dispersion.

Вступ

Енергетика є пріоритетною галуззю для розвитку будь-якої держави. Проте, сьогодні енергетична галузь України знаходиться у важкому становищі, особливо це стосується теплових електростанцій (ТЕС), теплоелектроцентралей (ТЕЦ) і комунально-побутового сектору, які для роботи використовують рідке паливо – мазут. Під час його спалювання виникають проблеми, пов'язані із забезпеченням екологічних вимог та взагалі – ефективності його використання.

Процес якісного горіння рідкого палива (мазуту, нафти, оливи тощо) ускладнюється наявністю у ньому надмірної кількості води. Наприклад, у нафтопереробній промисловості [1] вологість мазуту не повинна перевищувати 0,3–1,0%, однак при його тривалому зберіганні у резервуарах вона може досягати 20 %. Під час підготовки паливної сировини до спалювання значну увагу приділяють процесу її зневоднення, який, в свою чергу, є складним за рахунок наявності у ньому (ПАР) – асфальтенів (природних емульгаторів) [2].

Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є використання ВЕП [3], що містять нафту, мастила, оливи тощо. ВЕП – це система, яка складається з двох рідких фаз, одна з яких диспергована у вигляді крапель в іншу. Рідина, яка подрібнена на краплі, називається дисперсною фазою, а рідина, у якій зна-

ходяться ці краплі, називається дисперсійним середовищем. Дві рідини, наприклад, мастило (М) та вода (В), можуть утворювати два види емульсії: мастило у воді (М/В) – пряму емульсію, і вода в мастилі (В/М) – зворотну [3]. Отже, під час використання ВЕП високовартісна стадія зневоднення палива замінюється на стадію емульгування – рівномірного розподілу води у об'ємі палива [3]. При цьому можна усунути її розшарування не лише з використанням дорогих ПАР, а із застосуванням технологій, які забезпечують стійкість такого палива за рахунок утворення дрібнодисперсної емульсії. Зрозуміло, що стійкість та ефективність горіння такої ПЕ буде значно залежати від наявної кількості та дисперсності води у ВЕП. Сьогодні такі технології емульгування ВЕП та їх особливості вивчені недостатньо і тому мають велике наукове та практичне значення.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Технології емульгування паливної сировини та її спалювання відомі досить давно. Вони застосовуються під час видобування і переробки нафти, створення нових матеріалів, змішування і активації багатокомпонентних сумішей, покращення реакційності і отримання нових видів палива з використанням відновлюваних джерел [4].



Рисунок 1 – Механізм розпаду крупних крапель дисперсної фази в процесі диспергування (за моделлю Ребіндера)

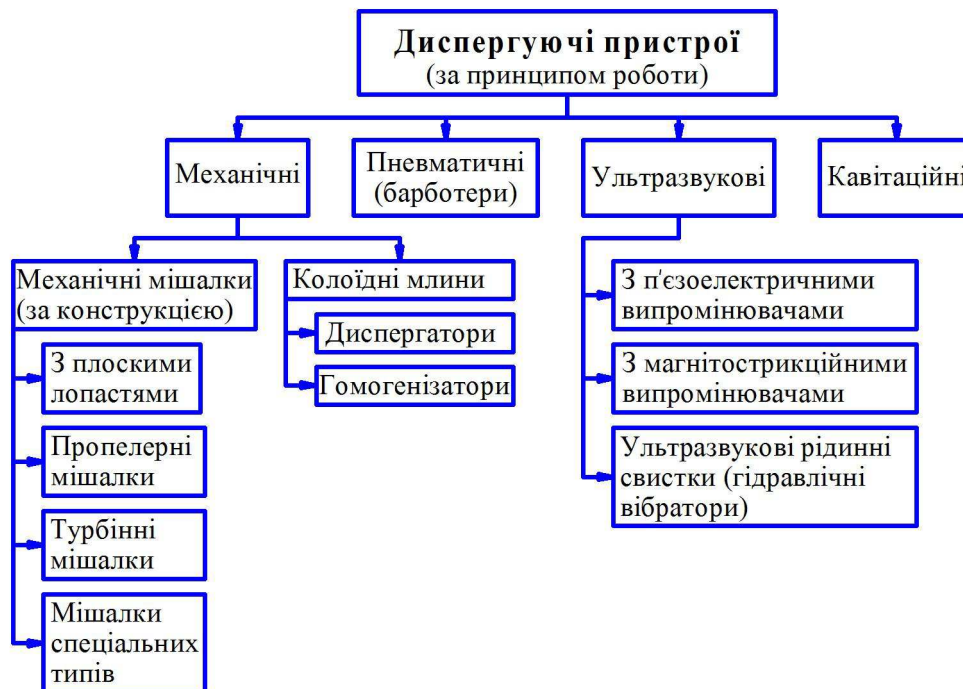


Рисунок 2 – Класифікація диспергуючих пристроїв за Івановим В.М.

Одними із перших у вивчення процесів, що протікають при емульгуванні рідин, виготовленні паливних емульсій та їх горінні були William Clayton [5], Philip Sherman [6], В. М. Іванов [2], І. А. Тув [7] та ін. Наукову цінність мають сучасні дослідження А. М. Павленка, А. А. Долінського, Б. І. Басока [8], Г. Б. Горелика [9].

В основі методу емульгування покладено поступове подрібнення дисперсної фази яке відбувається у три стадії (рис. 1) [2]:

– на першій стадії краплинки рідини витягуються у формі циліндра, при цьому відбувається збільшення поверхні дисперсної фази. На подолання сил поверхневого натягу витрачається певна робота.

– друга стадія настає у момент, коли довжина витягнутих краплин рідини є більшою від довжини периметру її поперечного перерізу. Краплинки рідини стають нестійкими та розпадаються на дрібніші, які набувають сферичної форми. При цьому зменшується поверхня дисперсної фази та вільна поверхнева енергія.

– на третій стадії одночасно відбуваються процеси коалесценції при зіткненні утворених краплин та їх диспергування. Краплини стають

дрібнішими, тож їх витягування ускладнюється. Збільшується капілярний тиск, дрібні краплини стають більш стійкими та не змінюють своєї форми. Диспергування відбувається не тільки при розтягуванні краплин, але й за їх незначного стиснення.

Для реалізації процесу диспергування застосовують й інші відомі методи та пристрої (апарати). Зокрема, Іванов В.М. [2] для отримання емульсії використовував диспергуючі пристрої, які за принципом роботи класифікував на механічні, пневматичні (барботери), ультразвукові та кавітаційні (рис. 2).

При дослідженні емульсій автори [6, 8] запропонували поділити методи емульгування на: конденсаційний, дисперсійний (переривчастого струшування, змішування, колоїдного млина, гомогенізації), звуковий та ультразвуковий, електричний (рис. 3.)

В роботі [10] описуються хімічні, механічні та електричні способи отримання емульсії конденсацією парової фази або фаз, самоемульгуванням.

У роботі [4] автор, оперуючи терміном «змішувачий пристрій», класифікує їх за принципом роботи:

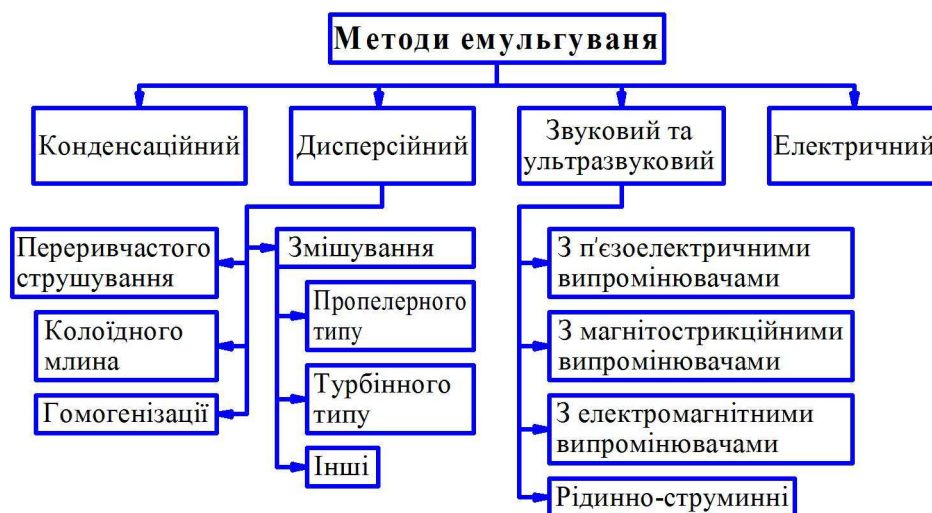


Рисунок 3 – Класифікація методів емульгування згідно з [6, 8]

- механічні (мішалки, золотники, злиття двох трубопроводів, колоїдні млини, пневматичні);

- кавітаційні з рухомими елементами (п'єзоелектричні, роторні, струменеві, вібраційні);

- кавітаційні статичні (плоскі, об'ємні, вихрові).

Очевидно, що наведені класифікації МЕ мають різний вигляд та зміст. Таке різноманіття класифікацій унеможливує проведення оптимального аналізу та вибору МЕ для отримання якісної емульсії. Наприклад, у класифікації [2] виділяють окремо пневматичні (барботери) пристрої. Проте, дивлячись на класифікацію [6, 8], незрозуміло, який метод емульгування реалізується барботерами. Відсутній тут і кавітаційний принцип емульгування. Те ж саме стосується і змішуючого пристрою – злиття двох трубопроводів [4], що не входить до жодної згадуваної класифікації.

Отже, спостерігається плутанина у термінології та ознаках класифікації: між «методами емульгування» та пристроями (апаратами) за допомогою яких ці методи реалізуються; між домінуючими процесами і явищами (які є основними та переважаючими рушійними силами емульгування) та супутніми (можливо пасивними, рецесивними) процесами (які є наслідковими, другорядними, додатковими) явищами які протікають під час емульгування. Не виключено, що автори говорять про одне і теж але різними термінами.

Такі класифікації ускладнюють аналіз, можливість, функціональність та доцільність застосування конкретних МЕ.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Метою роботи є аналіз існуючих МЕ та пристроїв для їх реалізації, оптимізація класифікації та вибір оптимального МЕ для отримання паливних емульсій з необхідними параметрами, описаними у роботі [3].

Викладення основного матеріалу

Класифікацію МЕ слід виконати за ознаками фізичних процесів, які відбуваються під час емульгування (основних рушійних сил емульгування). У випадку використання різних фізичних процесів у одному МЕ будемо відносити його до того фізичного процесу, який є переважаючим. Для такого принципу розподілу найкраще підходить класифікація, наведена у роботах [6, 8]. Тому ця класифікація буде лежати у основі розроблюваної. З метою вдосконалення, доповнення та уточнення такої класифікації необхідно більш детально розглянути та проаналізувати суть фізичних процесів утворення емульсій.

Відомо, що метод емульгування полягає в подрібненні об'єму рідини на краплі малих розмірів. Таке подрібнення може мати механічну [8], гідродинамічну, електричну та хімічну природу.

При приготуванні емульсій на основі конденсаційного методу пара однієї рідини (дисперсна фаза) інжектуються під поверхню іншої, яка утворює дисперсійне середовище. В таких умовах пара стає перенасиченою і конденсується у вигляді крапель розмірами близько 1 мкм. Ці краплі стабілізуються у рідині за рахунок наявності відповідного емульгатора (ПАР). На розмір крапель істотно впливає тиск інжектованої пари, діаметр впускного сопла та емуль-

гатор. Навіть при високому вмісті води у емульсії за допомогою цього методу отримують краплі дисперсної фази з розмірами до 20 мкм.

Метод переривчастого струшування відноситься до дисперсійних МЕ. Цей метод застосовується переважно під час лабораторних досліджень. Переривчасте струшування з постійними інтервалами є ефективнішим порівняно із безперервним. Це пояснюється тим, що плоска поверхня між двома рідинами стає хвилястою і деформується при кожному поштовху. При вібраційному струшуванні краплі набувають форми кулі з розмірами 50-100 мкм. Тому для отримання крапель менших розмірів застосовують більш динамічне перемішування, використовуючи змішувачі, колоїдні млини чи гомогенізатори.

Принцип утворення сумішей з допомогою методу змішування полягає у рівномірному змішуванні рідини мішалками різного типу (пропелерного, турбінного тощо), які внаслідок дії відцентрових сил створюють імпульси як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках та розподіляють частки рідини у всьому об'ємі. Щоб отримати емульсію необхідної якості, застосовують мішалки періодичної чи безперервної дії. Діаметр крапель в емульсіях, одержуваних за допомогою змішування, становить близько 5 мкм.

У колоїдному млині емульгування відбувається під час видавлювання рідини у зазор між ротором, що обертається з великою швидкістю, і нерухомим статором. Рідина, що змішується, подається через відповідну трубу під дією власної ваги або під невеликим надлишковим тиском у порожнину статора. Далі вони протікають через зазор між поверхнями статора і ротора та витікають з млина. Ротор може розвивати швидкість 1000-20000 об/хв. Мінімальний зазор між поверхнями ротора і статора становить 0,025 мм. Внаслідок великої швидкості і малого зазору виникають великі дотичні напруження, які в поєднанні з відцентровими силами зумовлюють майже миттєвий розрив рідини. Діаметр крапель у емульсіях, одержуваних за допомогою колоїдного млина, складає близько 2 мкм.

Метод гомогенізації – це процес зменшення крапельок дисперсної фази емульсії до приблизно однакового розміру. Гомогенізатори – це пристрої, в яких диспергування рідини досягається пропусканням її крізь малі отвори під високим тиском. Такі гомогенізатори є клапанного типу. Їх використовують для отримання емульсій з розмірами дисперсійних крапель 1 мкм і менше. При низькому тиску можна отримати більш високодисперсні емульсії.

Ефективність гомогенізації зменшується зі збільшенням кількості дисперсної фази у вихідній емульсії. Як правило, в гомогенізаторі рідина під великим тиском продавлюється через кільцеподібну порожнину між нерухомим отвором і рухомим конічним стержнем. У кільцевому просторі виникають значні напруження та градієнти швидкостей, які викликають розрив рідини на краплі.

Метод емульгування звуком і ультразвуком полягає у деформуванні та подрібненні крапель рідини під дією звукових хвиль, що досягається шляхом перетворення електричної енергії в механічні високочастотні коливання. Джерела таких коливань (трансдуцери) бувають чотирьох типів: п'єзоелектричні, магнітострикційні, електромагнітні та рідинно-струминні.

Перебуваючи в змінному електричному полі, пластина п'єзоелектрика випромінює механічні коливання, амплітуда яких залежить як від прикладеної напруги, так і від властивостей самої пластини. Якщо прикладена частота збігається з частотою власних коливань пластини, то амплітуда коливань є резонансною. П'єзоелектричні трансдуцери використовують при частоті понад 100 кГц. Ультразвук такої високої частоти поширюється прямолінійно, що є перевагою під час лабораторних досліджень, оскільки дає можливість точно контролювати енергію ультразвуку. Крім того, продуктивність самого процесу емульгування на цих частотах є малою. Тому п'єзоелектричні трансдуцери зазвичай не застосовують в промисловості, хоча під час лабораторних досліджень вони ще досить широко використовуються.

Магнітострикційний ефект – зміна розмірів феромагнітного матеріалу, розміщеного у змінному магнітному полі. Магнітострикційні генератори ультразвуку створюють велику амплітуду коливань. Потужність 100-5000 Вт може бути отримана на приладах, розрахованих на частоти 20-100 кГц, що відповідає резонансній довжині близько 10 см. До магнітострикційних трансдуцерів підводять напругу, при якій їх можна занурювати у рідину, що полегшує вплив звуку. Проте ці трансдуцери не знаходять широкого застосування для емульгування в промисловості. Ймовірно, це пов'язано з тим, що нижчу частоту (20 кГц) можна отримати і без застосування електронної апаратури, тобто за використання простіших методів, що описуються далі.

Трансдуцери електромагнітного типу – вібраційні пластинки, які коливаються під впливом магнітів.

Ультразвукові струменеві генератори можуть бути призначені для роботи з газами або з рідинами. Рідинно-струминні генератори (гідравлічні вібратори), що працюють на звукових частотах, дуже зручні для промислового емульгування. Схема роботи рідинно-струминного генератора (свистка) полягає у тому, що після ударяння до гострого ребра у струменя рідини виникає нестабільність у вигляді хвилі збурення. Рідину подають у внутрішню область рідинного свистка під тиском 100 атм, а у струменя швидкість становить 50 м/с. Рідина, що пройшла через вхідне сопло, набуває форми тонкої струминки і направляється на гостре ребро пластини, яка має у центральній частині особливі кріплення. В пластині збуджуються коливання, і при резонансі акустична енергія у струменя різко зростає. Вся система регулюється так, щоб резонансна частота пластини (15-30 кГц) досягалася при оптимальному тиску і швидкості рідини, а також відстані між соплом і краєм пластини.

Струминний генератор використовують як безперервний змішувач. Основне його застосування – апарат для емульгування, оскільки у малому об'ємі на краю віброуючої пластини концентрується велика акустична енергія, що обумовлює утворення крапель емульсії малого розміру. За рахунок цього звукові генератори є доволі ефективними.

Принцип емульгування за допомогою електричного методу полягає у тому, що рідину, яку потрібно диспергувати, поміщають у посудину, яка закінчується тонким капіляром (внутрішній діаметр складає близько 1 мм). При цьому електростатичний тиск врівноважений поверхневим натягом і крапля набуває форми витягнутого сфероїда. При отриманні рідиною високого позитивного потенціалу і повільному його збільшенні, краплі, які виходять з капіляра, поступово натягуються і утворюють стійкі нитки. При подальшому збільшенні потенціалу нитки стають тоншими і потім розбиваються на краплі, оскільки поверхневий натяг вже не може врівноважити електростатичні сили. Зрештою при досить високій напрузі туман з дрібних крапель зі значною швидкістю виділяється з капіляра. Встановлено, що радіус заряджених крапель, одержуваних цим методом, становить близько 1-10 мкм [6].

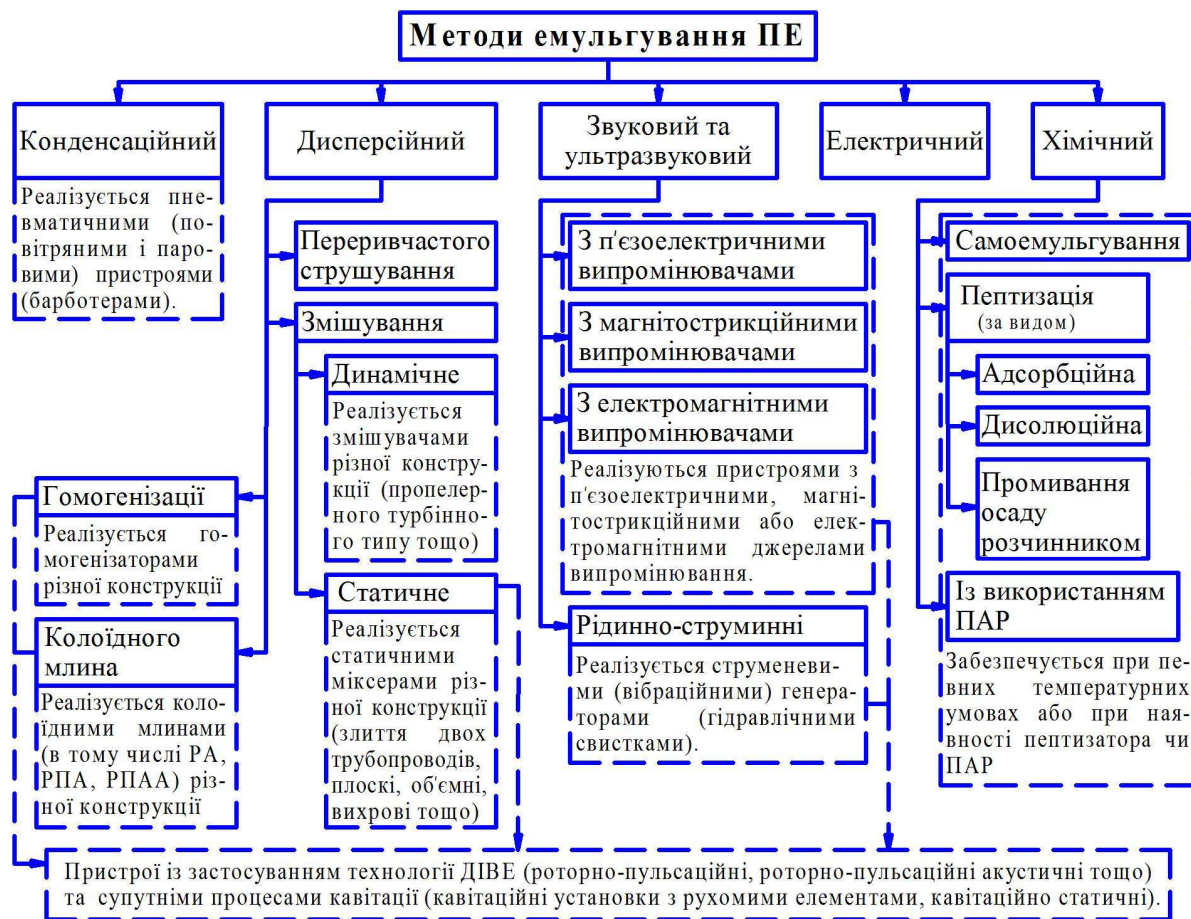
Особливе місце займають емульсії, які утворюються при самоемульгуванні (хімічні МЕ). Такий МЕ можливий при зниженні міжфазного поверхневого натягу майже до нуля. Ці емульсії утворюються при майже повному вирівнюванні різниці полярності обох фаз, що

співіснують, тобто при підвищенні температури майже до критичної точки повного взаємного зміщення. Тому такі емульсії мимовільно утворюються в критичній області і можуть бути критичними. Звичайний для утворення таких емульсій характерним є підвищення взаємної колоїдної розчинності обох фаз введенням порівняно великих кількостей поверхневого активного емульгатора [5].

Умовно до хімічного диспергування також можна віднести метод, заснований на пептизації [11] (перехід осадів під дією пептизаторів в стан колоїдного розчину). Розрізняють три види пептизації: адсорбційну, дисолюційну та промивання осаду розчинником. Пептизувати можна тільки свіжоприготовані осади, в яких частинки колоїдного розміру з'єднані в крупні агрегати через прошарки дисперсного середовища. При зберіганні осадів з часом відбуваються явище рекристалізації і старіння, що призводять до зрощення часток одна з одною, яка перешкоджає пептизації.

Хімічне емульгування використовують, наприклад, для виготовлення бітуму. Зокрема [12] хімічне емульгування бітуму відбувається за рахунок гетерогенних хімічних реакцій на межі розподілу фаз. Середній діаметр частинок бітуму бітумної емульсії, отриманої таким способом, складає близько 1 мкм. Такі емульсії є більш стійкими ніж ті, які отримані механічним способом емульгування. При хімічному емульгуванні витрачається приблизно в 10 разів менше механічної енергії, а теплової – в 1,5-2 рази [12]. Недоліком цього методу є значна вартість ПАР закордонного виробництва, що підвищує собівартість готової продукції.

Варто також згадати про метод ДІВЕ (дискретно-імпульсний ввід енергії) – прогресивну сучасну технологію, яку сьогодні дуже часто використовують дослідники, науковці та промисловість для отримання якісної дрібнодисперсної емульсії [13]. Зміст ДІВЕ полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно введену і довільним чином розподілену в робочому об'ємі енергію акумулювати (сконцентрувати) в локальних дискретних точках системи і надалі імпульсно реалізувати для досягнення необхідних фізичних ефектів. У ДІВЕ реалізуються надвисокі потоки і інтенсивності енергії. Це дозволяє отримати високий ККД ефектів тепло- і масообміну на міжфазній поверхні, які є ускладнені при використанні традиційних методів, наприклад, в класичних перемішувачах пристроях. Енергія, яка вводиться заздалегідь, може бути збережена в різноманітних формах: теплової, механічної, електричної, електромагнітної тощо.



Розглянувши зміст фізичних процесів утворення емульсій, зроблено висновок, що як ознаку класифікації МЕ можна і доцільно використовувати фізичний процес. На основі такого рішення пропонуємо узагальнену класифікацію МЕ (рис. 4), яка поєднує у собі більшість МЕ (а також пристроїв, які реалізують ці МЕ) оглянутих вище класифікацій.

У цій класифікації відсутній кавітаційний МЕ, оскільки кавітація не є першочерговим процесом – рушійною силою емульгування, вона ймовірно є наслідком умов, які утворилися від початково діючих процесів. Наприклад, кавітація з легкістю може утворюватись у пристроях, які реалізують дисперсійні методи (метод колоїдного млина, метод гомогенізації), звукові та ультразвукові методи (особливо часто зустрічається у рідинно-струминних генераторах).

Відповідно до мети даної роботи після аналізу існуючих МЕ та удосконалення класифікації МЕ наступним кроком є аналіз можливостей та енергетичної ефективності МЕ і пристроїв, що їх реалізують з подальшим вибором оптимального МЕ для отримання паливних емульсій з параметрами, описаними у роботі

[3], а саме з кількістю води в межах 3–30% (масових) та з дисперсністю 1-35 мкм.

Використовуючи конденсаційний МЕ, неможливо виготовити високодисперсну емульсію при великих концентраціях дисперсної фази (води). Адже максимальна межа це – 20 мкм. Цей МЕ у промисловості використовують досить рідко, зокрема, барботування паром і гарячою водою мазуту було здійснено в котельних умовах для практичної перевірки результатів теоретичного дослідження [14]. Проте утворення емульсій конденсаційним методом має ряд недоліків [2]:

- емульсії є крупнодисперсними і менш однорідними;
- при барботуванні газом, особливо паром, вивітрюються вуглеводні з пониженою температурою кипіння, внаслідок чого теплота згоряння знижується, а питома вага палива збільшується;
- енерговитрати при барботуванні більші, ніж при дисперсійних МЕ.

Зважаючи на такі аргументи, використовувати такий МЕ для отримання ПЕ недоцільно.

Хімічним емульгуванням можна забезпечити необхідну дисперсність за наявності від-

повідного ПАР, хоча у промислових умовах воно застосовується не часто. Переважно ПАР застосовують в уже готовій емульсії з метою підвищення її стабільності, запобігання процесів коалесценції та розшарування. Отже, через відсутність дорогих ПАР закордонного виробництва та негативний їх вплив на продукти згоряння цей МЕ також є недоцільним.

Електричні МЕ неможливо застосувати через високу в'язкість паливної сировини. Наявність заряду у крапель спотворює вимірювання [6].

Переривчастим струшуванням та динамічним змішуванням неможливо отримати емульсію необхідної дисперсності. Щодо методу гомогенізації, то його переважно застосовують для зменшення крапель дисперсної фази до однакового розміру та збільшення гомогенності готової емульсії. Названі МЕ у нашому випадку теж є недоцільними.

Емульсію з необхідними параметрами можливо отримати за допомогою звуку та ультразвуку і двома дисперсійними методами – колоїдного млина (реалізуються роторними, роторно-пульсаційними, роторно-пульсаційними акустичними апаратами у супроводі із технологією ДІВЕ) та статичними змішувачами. Ці МЕ знайшли широке застосування не лише у лабораторних дослідженнях, а й у промисловості для підготовки ПЕ до спалювання [4, 10, 15]. Основними недоліками таких апаратів є їх висока собівартість виготовлення і обслуговування, швидке спрацювання робочих поверхонь і ущільнень, великий гідравлічний опір (статичні змушувачі плоскі, вихрові, кавітаційні тощо) та високі робочі тиски (ультразвукові генератори).

Отже, найефективнішими апаратами є ті, у яких застосовується технологія ДІВЕ [8]. При дослідженні спалювання ПЕ особливу увагу варто звернути на звукові МЕ, які за наявності відповідного обладнання дуже зручно використовувати у лабораторних умовах для приготування ВЕП.

Висновки

На основі проведеного аналізу МЕ паливних емульсій запропонована їх удосконалена розгорнута класифікація, в якій поєднані методи емульгування та апарати, що їх реалізують.

Доцільність використання того чи іншого МЕ залежить від параметрів ПЕ та кількісної її потреби, сфери, умов та мети застосування. Зокрема, для отримання емульсії з параметрами, наведеними у роботі [3], у промислових масштабах найефективніше використовувати роторно-пульсаційні апарати, які працюють у супро-

воді технології ДІВЕ. Проте для лабораторних досліджень можливо користуватись звуковими методами емульгування.

Література

1. ДСТУ 4058-2001 Державний стандарт України. Паливо нафтове. Мазут. Технічні умови.
2. Иванов В. М. Топливные эмульсии. М.: Изд-во АН СССР. 1962. С. 407.
3. Мельник В. О. Вплив складу та дисперсності водоемульсійних палив на екологічні та економічні показники горіння. *Нафтогазова енергетика*. 2020. № 1(33), С. 124-131. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1\(33\)-124-131](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1(33)-124-131)
4. Юшков Николай Борисович. Исследования динамических процессов в проточном волновом генераторе плоского типа для формирования тонкодисперсных эмульсий из не смешивающихся сред: диссертация ... кандидата технических наук: 01.02.06 / Юшков Николай Борисович; [Место защиты: Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН – Учреждение Российской академии наук]. Москва, 2014. 142 с.
5. Клейтон В. Эмульсии. Их теория и технические применения: М.: Изд-во иностр. лит., 1950.-603 с.
6. Шерман Ф. Эмульсии: Пер. с англ. Л.: Химия, 1972. 448 с.
7. Тув И.А. Сжигание обводненных мазутов в судовых котлах. Л.: Судостроение. 1968. 314 с.
8. Долинский А. А., Павленко А. М., Басок Б. И. Теплофизические процессы в эмульсиях. Киев: Наукова думка, 2005, 264с.
9. Горелик Г. Б. Водотопливная эмульсия - альтернативное топливо XXI века: монография. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. 202 с.
10. Морозова Е. А. Разработка и исследование технологии эмульгирования мазута с целью оптимизации режимов горения в топке для повышения надежности, экономичности и экологической безопасности энергетических котлов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.14.01 [Место защиты: Моск. энергет. ин-т]. Москва, 2008. 143 с.
11. Мchedlov-Петросян М. О., Лебидь В. И., Глазкова О. М., Лебидь О. В. Колоїдна хімія: підручник / за ред. проф. М. О. Мchedlova-Петросяна. 2-ге вид., випр. і доп. Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. 500 с.

12. Бауман К. В., Коц І. В. Кавітаційна технологія виготовлення бітумних емульсій : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2013. 128 с.

13. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А.А. Долинский, Б.И. Басок, С.И. Гулый, А.И. Накорчевский, Ю.А. Шурчкова. К.: Научная книга, 1996. 208 с.

14. Ведрученко В.Р., Крайнов В.В. Оптимизация подготовки тяжелого жидкого топлива к сжиганию в топках котельных и других топливосжигающих станков. *Омский научный вестник* (Омский государственный университет путей сообщения). 2015. № 2. С. 144-147.

15. Грабова Т. Л. Диспергирование гетерогенных систем в роторно-пульсационных аппаратах дисково-цилиндрического типа [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / Грабова Татьяна Леонидовна ; Ин-т техн. теплофизики НАН Украины. К., 2007. 221 с. Библиогр.: с. 178-189.

References

1. DSTU 4058-2001 Derzhavnyi standart Ukrainy. Palyvo naftove. Mazut. Tekhnichni umovy. [in Ukrainian]

2. Ivanov V. M. Toplivnyie emulsii. M.: Izd-vo AN SSSR. 1962. P. 407. [in Russian]

3. Melnyk, V. O. Vplyv skladu ta dyspersnosti vodoemulsiinykh palyv na ekolohichni ta ekonomichni pokaznyky horinnia. *Oil and Gas Power Engineering*. 2020. No 1(33), P. 124-131. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1\(33\)-124-131](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2020-1(33)-124-131) [in Ukrainian]

4. Yushkov Nikolay Borisovich. Issledovanie dinamicheskikh protsessov v protochnom volnovom generatore ploskogo tipa dlya formirovaniya tonkodispersnykh emulsiy iz ne smeshivayuschihnya sred: dissertatsiya ... kandidata tehnikeskikh nauk: 01.02.06 / Yushkov Nikolay Borisovich; [Mesto zaschityi: Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagovnavova RAN – Uchrezhdenie Rossiyskoy akademii nauk]. Moskva, 2014. 142 p. [in Russian]

5. Kleyton V. Emulsii. Ih teoriya i tehnikeskie primeneniya: M.: Izd-vo inostr. lit., 1950. 603 p. [in Russian]

6. Sherman F. Emulsii: Per. s angl. L.: Himiya, 1972. 448 p. [in Russian]

7. Tuv I.A. Szhiganie obvodnennykh mazutov v sudovykh kotlah. L.: Sudostroenie. 1968. P. 314. [in Russian]

8. Dolinskiy A. A., Pavlenko A. M., Basok B. I. Teplofizicheskie protsessy v emulsiyah. Kiev: Naukova dumka, 2005. 264 p. [in Russian]

9. Gorelik G. B. Vodotoplivnaya emulsiya - alternativnoe toplivo XXI veka: monografiya. Khabarovsk: Izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2019. 202 p. [in Russian]

10. Morozova E. A. Razrabotka i issledovanie tehnologii emulgirovaniya mazuta s tselyu optimizatsii rezhimov gorennya v topke dlya povysheniya nadezhnosti, ekonomichnosti i ekologicheskoy bezopasnosti energeticheskikh kotlov: dissertatsiya ... kandidata tehnikeskikh nauk: 05.14.01 [Mesto zaschityi: Mosk. energet. in-t]. Moskva, 2008. 143 p. [in Russian]

11. Mchedlov-Petrosian M. O., Lebid V. I., Hlazkova O. M., Lebid O. V. Koloidna khimiia: pidruchnyk / za red. prof. M. O. Mchedlova-Petrosiana. 2-he vyd., vypr. i dop. Kh.: KhNU imeni V. N. Karazina, 2012. 500 p. [in Ukrainian]

12. Bauman K. V., Kots I. V. Kavitatsiina tekhnolohiia vyhotovlennia bitumnykh emulsii : monohrafiia. Vinnytsia: VNTU, 2013. 128 p. [in Ukrainian]

13. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А.А. Долинский, Б.И. Басок, С.И. Гулый, А.И. Накорчевский, Ю.А. Шурчкова. К.: Научная книга, 1996. 208 p. [in Russian]

14. Vedruchenko V.R., Kraynov V.V. Optimizatsiya podgotovki tyazhelogo zhidkogo topliva k szhiganiyu v topkakh kotelnykh i drugih toplivoszhigayuschih stanovok. *Omskiy nauchnyy vestnik* (Omskiy gosudarstvennyy universitet putey soobscheniya). 2015. No 2. P. 144-147. [in Russian]

15. Grabova T. L. Dispergирование гетерогенных систем в роторно-пульсационных аппаратах дисково-цилиндрического типа [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / Grabova Tatyana Leonidovna ; In-t teh. teplofiziki NAN Ukrainyi. K., 2007. 221 p. - Bibliogr.: P. 178-189. [in Russian]