

УДК 66.074:661

Лаврова І.О., Аммар Валід Саїд, Владимиренко В.В., Сорокотяга К.М.

АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ ПРОЦЕСУ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НАФТОВИХ ФРАКЦІЙ ТА ДИСТИЛЯТІВ

Вступ. Попри те, що на цей час фізико-хімічні механізми кавітаційної обробки нафтопродуктів та сумішей на їх основі ще не достатньо вивчені, в широкій промисловій практиці кавітатори знаходять все більше використання, а результати їх впровадження більш ніж позитивні.

Метою дослідження було виявлення оптимальних параметрів роботи гідродинамічного роторно-кавітаційного пристрою нової конструкції для використання останнього у процесах обробки нафтових сумішей та приготування композитних палив.

Більшість реальних рідких систем відносяться до неньютоновських рідин, які мають складну будову й тією чи іншою мірою структуровані. Структура таких рідин порушується при відхиленні від стану рівноваги, а їхні властивості залежать від величини прикладених зусиль, швидкості деформації й виражаються реологічними рівняннями.

Гідродинамічні явища, що виникають під час обертання пристроїв, що перемішують, становлять основу процесів перемішування в рідких середовищах. Останнім часом запропоновано багато математичних моделей, що описують явища, які відбуваються. Однак визначення коефіцієнта математичних моделей вимагає емпіричного пошуку, що перешкоджає встановленню меж застосованості моделей і можливості масштабування процесів [1–3].

Для інтенсифікації процесів змішування й емульгування в ємнісних апаратах, використовуваних для готування ряду рідин, додатково встановлюють занурені апарати роторно-пульсаційного принципу дії різних типів.

Застосування механічних коливань має деякі відмінні риси в порівнянні з використанням активних гідродинамічних режимів. Збільшення інтенсивності перемішування не завжди приводить до помітного збільшення важливої для масообміну відносної швидкості руху фаз. У полі ж механічних коливань у наслідок прояву інерційних властивостей відносна швидкість переміщення фаз зростає більш істотно, що приводить до додаткового зниження товщини прикордонних шарів і до інтенсифікації масопереносу (особливо зовнішньої дифузії), крім того пульсаційні явища в деякій мірі можуть збільшити й швидкість процесів переносу в капілярах і порах твердих часток. Остання обставина є важливим чинником підвищення швидкості процесів екстрагування з матеріалів пористої структури [4–6].

Закономірності роботи роторно-пульсаційних апаратів або кавітаторів багато в чому визначаються конструкцією їхніх робочих органів. Основною конструктивною ознакою апаратів роторно-пульсаційного типу є наявність нерухомих й обертових (або обертових з різними кутовими швидкостями) соосно встановлених тіл з перфорацією у вигляді прорізів або отворів, через які проходить оброблюване середовище. При цьому такий пристрій може бути безпосередньо занурено в ємність з компонентами середовища або встановлено в окремому корпусі, через який циркулює оброблюване середовище.

Типовий апарат роторно-пульсаційного типу складається з ротора і статора, розміщених у корпусі і виконаних у вигляді коаксіальних циліндрів, що чергуються, із

прорізами (отворами) або у вигляді концентрично розташованих зубів. У внутрішній зоні ротора можуть бути встановлені лопати або ножі, що забезпечують здрібнювання (різання) великих фракцій дисперсної фази поліпшуючі умови перемішування й транспортування оброблюваного середовища, що надходить, як правило у вхідний патрубок і видаляється після обробки через вихідний патрубок. Апарати заглибного типу, що розміщують безпосередньо в ємність із оброблюваним середовищем, вхідного й вихідного патрубків не мають [1,5].

Апарат роторно-пульсаційного типу наведений на рис. 1. Він містить корпус з впускним і випускним отворами, статор у вигляді набору перших концентричних циліндрів з активаційними елементами, кожна пара з яких утворює концентричний зазор, та встановлений на приводному валу дископодібний ротор у вигляді набору інших концентричних циліндрів з активаційними елементами, які входять у зазори між першими концентричними циліндрами статора. При цьому активаційні елементи кожного концентричного циліндра статора і ротора виконані у вигляді періодично розташованих отворів. Середовище, яке підлягає обробці, надходить крізь впускний отвір 2 у середину корпусу 1. При цьому середовище під дією вхідного тиску перетікає крізь активаційні елементи, виконані в концентричних циліндрах 5 статора 4 у середину ротора 7, якому надається обертовий рух завдяки обертам приводного вала 6. При періодичному співпадинні отворів у концентричних циліндрах 5 і 8 ротора 7 та статора 4 відбувається зміна швидкості і тиску плина середовища, яка ініціює кавітаційні процеси. 9 – крильчатка.

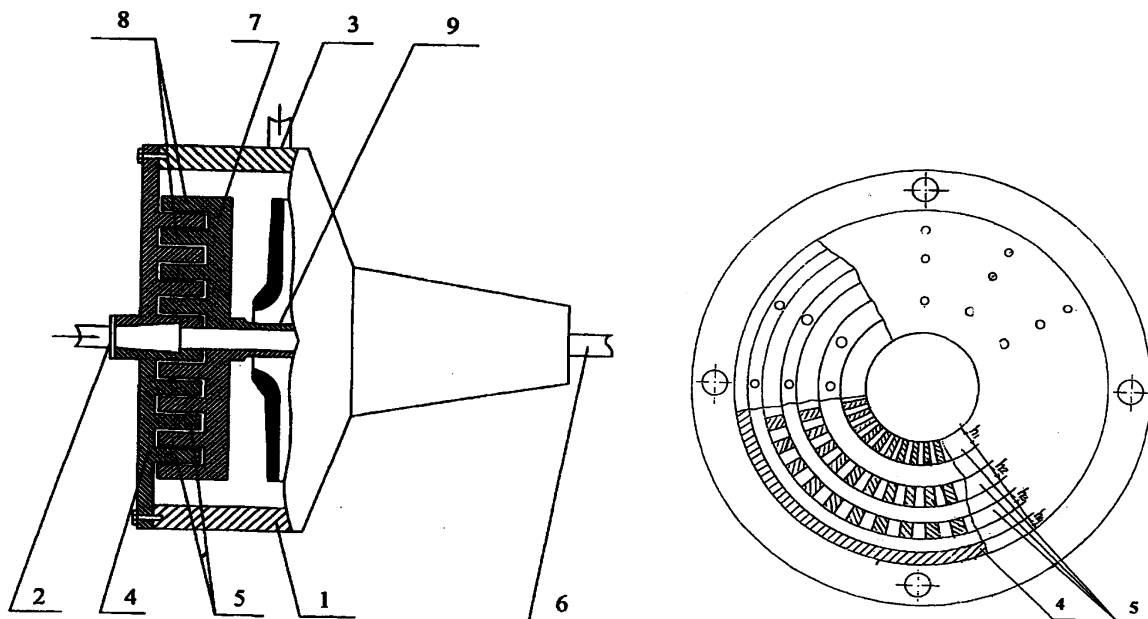


Рисунок 1

При роботі апарату відзначається інтенсивний механічний вплив на частки дисперсної фази, ефективна турбулізація й пульсації потоку, що виникають за рахунок періодичної зміни прохідного перетину потоку. Таким чином, у цьому пристрої одночасно здійснюються принципи роботи роторних змішувачів, дезінтеграторів і дисмембраторів, відцентрових і вихрових насосів, колоїдних млинів і рідинних сирен радикального типу.

У таких апаратах характерною рисою є чергування нерухомих й обертових елементів з розміром прорізів (проміжків між зубами) менше або порівняним з розмірами зубів (пальців). Ця відмінність приводить до посилення ролі пульсаційних явищ і наближає ці пристрої до рідинних сирен з тією особливістю, що робоче тіло являє собою оброблюване середовище. У РПА для підвищення технологічної ефективності застосовують кілька нерухомих й обертових циліндрів, що чергуються із прорізами. При цьому геометрія й число прорізів на кожному щаблі можуть бути різними.

Безпосереднє спостереження через прозору кришку апарату в імпульсному висвітленні показало, що в робочій зоні РПА має місце складний комплекс різних гідродинамічних явищ у тому числі високоградієнтний плин у зазорі між обертовими й нерухомими елементами конструкції, інтенсивна турбулізація потоку, насосний ефект, різнонаправлене поле швидкостей, вихреподібне, кавітація, пульсації потоку за рахунок зміни прохідного перетину й ін. найбільш активне в гідродинамічному відношенні простір – зазор між ротором і статором і прилягаючі до нього зони прорізів.

При обертанні ротора швидкість рідини в радіальному зазорі між ротором і статором різко змінюється від окружної швидкості ротора до нуля в поверхні статора.

Взаємодія окружного й радіального потоку з елементами статора приводить до зміни напрямку обертання потоку після проходження прорізів статора. У зоні зміни напрямку потоку можливо таке утворення стійких вихрів і зон кавітації. У центрі такого вихру можуть утримуватися значний час (кілька десятків періодів) дисперсні частки, які обертаються в напрямку обертання вихрячи. Вихреутворення також має місце при взаємодії потоку з гострими поверхнями робочих елементів ротора й статора.

Високоградієнтний плин має складну несталу вдачу, що залежить від реологічних властивостей рідини, геометрії апарату й кутової швидкості потоку. Проте при невеликій ширині прорізів, малих радіальних швидкостях і зазорах рух густої рідини в кільцевому просторі (зазорі) апарату може бути приблизно розглянуте як сталий ізотермічний плин між двома гладкостінними коаксіальними циліндрами, один із яких обертається з постійною кутовою швидкістю. Перфорація циліндрів ротора й статора може бути різною: у вигляді прорізів, отворів круглої або овальної форми, з рифленням на циліндричній поверхні у вигляді накатки або насічки, а також з рифленням на стінках прорізу, у вигляді прорізів з гострими крайками, отриманих шляхом свердління з наступною проточкою. Проміжки між прорізами можуть мати скошені плоскі поверхні, а деякі циліндри можуть бути виконані без перфорації.

Ширина прорізів у стінках обертового і нерухомого циліндрів першого(внутрішнього) щабля визначається з можливостей виготовлення й умов надійної роботи, що унеможлиблює забивання апарата. Для цього необхідно, щоб ширина прорізів у першому щаблі приблизно в 1,5 рази або більше перевершувала максимальний розмір оброблюваних часток або можливих включень. У наступних щаблях у результаті диспергування часток ширина прорізів, як правило, зменшується при збільшенні їхньої кількості. При цьому робоча висота прорізів приймається рівною $(0,1-0,25)$ – зовнішній діаметр циліндра.

При обробці середовищ невисокої в'язкості циркуляція середовища через апарат здійснюється за рахунок його власної насосної дії. При обробці середовищ підвищеної в'язкості й з високим вмістом твердої фази додаткове перемішування в

завантажувальній ємності необхідно, а на вході в РПА повинен бути встановлений додатковий насос. [7,8].

Кавітаційна обробка проводилася у роторно-пульсаційному апараті при різних частотах обертання ротора. Спрощена схема експериментальної установки показана на рисунку 2.

Досліджувана нафта з добавками води завантажується через патрубок 4. У включеному режимі нафта циркулює по контуру «ємність 1 – кавітатор 2», Роторно-пульсаційний кавітатор створює розрідження на входному патрубку, тобто сам працює в насосному режимі.

Для досліджуваних проб з 5, 10 і 15 % добавками води частота обертання ротора задавалася в одному випадку 3000 об/хв (Проби П1, П2, П3), а у другому – 5600 об/хв (Проби П5, П6, П7).

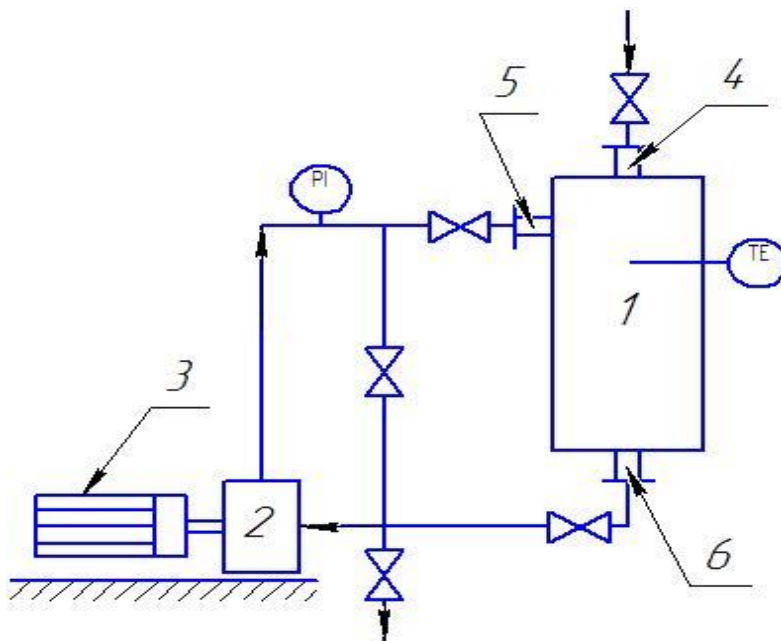


Рисунок 2 – Принципова схема кавітаційної установки
1 – ємність; 2 – роторно-пульсаційний кавітатор; 3 – електродвигун потужністю 4 кВт;
4, 5, 6 – патрубки

Як було показано на попередніх етапах дослідження [8,9], в гідродинамічних кавітаторах роторно-пульсаційного типу реалізується гідродинамічний та акустичне дію на рідину за рахунок розвиненої турбулентності, пульсацій тиску і швидкості потоку рідини, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і вторинних нелінійних акустичних ефектів. Нормуючий параметр в процесі обробки – досягнення оброблюваної середовищем температури 85 °С. Вимірювання температури проводилося терморпарою ХА, яка встановлена в ємності 1. Відбір проб емульсії з установки проводився при досягненні температури нафти 40 °С.

Результати досліджень по впливу добавок води і різних режимів кавітації на властивості одержуваних нафтопродуктів представлені в табл. 1. У кожному з експериментів нафта після кавітаційної обробки перед проведенням вимірювань і фракційних перегонів зневоднювалася.

Фракційний склад нафти після кавітаційної обробки з різним вмістом води і на різних режимах роботи кавітатора представлений в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати вимірювання кінематичної в'язкості

Досліджувана проба	Кінематична в'язкість, мм ² /с
Вихідна нафта	3,18259
П1 – Нафта з 5 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,752
П2 – Нафта з 10 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,438
П3 – Нафта з 15 % води (частота обертання ротора 3000 /хв)	3,468
П4 – Нафта з 5 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,34
П5 – Нафта з 10 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,386
П6 – Нафта з 15 % води (частота обертання ротора 5600 /хв)	3,38

Таблиця 2 – Результати фракціонування нафти після кавітаційної обробки

Кількість нафтопродуктів, % (об.)	Температура, °С					
	П1	П2	П3	П4	П5	П6
Початок кипіння	82	83	86	70	73	83
5	96	105	105	104	97	103
10	111	118	119	117	113	116
20	136	142	141	143	139	142
30	161	168	166	175	165	165
40	194	198	198	207	198	197
50	223	235	238	247	237	235
60	270	264	268	281	274	274
70	310	314	310	318	313	319
80	345	344	347	348	320	345
90	350	347	357	360	371	357
Кінець кипіння	350	351	357	370	371	357
Залишок, мл	2,5	2	2,5	2	1,1	2,4
Втрати, мл	0,5	0,1	0,1	1	1,4	2,1

Висновки

Таким чином, узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновок, що кавітаційна обробка є вибіркоким (селективним) процесом, який має більший вплив на важкі молекули мазуту і дизельного палива, ніж на легкі вуглеводні бензинові. Зміна

в'язкості викликано двома різними механізмами: тимчасовим розривом Ван-дер-Вальсовських сил, які об'єднують молекули та зміною фракційного складу нафти.

Під впливом кавітації великої інтенсивності протягом тривалого часу порушуються С – С зв'язки у молекулах парафіну, внаслідок чого відбуваються зміни фізико-хімічного складу (зменшення молекулярної маси, температури кристалізації і інше) і властивостей нафтопродуктів (в'язкості, щільності, температури спалаху і т.п.). В процесі імпульсної обробки кавітації нафти і нафтопродуктів енергія, яка виділяється при схлопуванні бульбашок, використовується для розриву хімічних зв'язків між атомами великих молекул вуглеводневих сполук.

Енергія дисоціації зв'язків С – Н коливається в залежності від молекулярної маси та структури молекули в межах 322–435 кДж/моль, енергія дисоціації зв'язків С – С – 250–348 кДж/моль. При розриві зв'язків С– Н від вуглеводневої молекули відривається водень, при розриві С – С вуглеводнева молекула розривається на дві частини. При обробці кавітацією вуглеводневої сировини відбувається деструкція молекул, яка викликана мікрокрекінгом молекул і процесами іонізації. У разі обробки ультрадисперсної емульсії «вода-вуглеводень», коли в зоні дії кумулятивних струменів і колапсу кавітаційних бульбашок потрапляють одночасно мікрофракції води вуглеводнів, відбуваються одночасно деструкція води з утворенням водню і крекінг важких вуглеводнів з подальшим гідрогенізацією останніх.

Література

1. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних та біологічних процесах [Текст] / Т.М. Вітенько. – Тернопіль: в-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 224 с.
2. И. Пирсол. Кавитация [Текст] : пер. с англ.– М: «Мир», 1975 – 95 с.
3. Буйвол В.Н. Тонкие каверны в течениях с возмущениями [Текст] / В.Н. Буйвол / К: Наукова думка, 1984. – 296 с.
4. Рождественский В.В. Кавитация [Текст] / В.В. Рождественский. – Л: Судостроение, 1977. – 248 с.
5. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах [Текст] / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин – К : Вища школа, 1984. – 68 с.
6. Геллер С.В. Гидродинамические источники тепла [Текст] / Геллер С.В., Мочалин И.В., Богун О.П. // Нефтегазовое дело, М:– 2006– с. 4–16.
7. Нестеренко С.В. Получение флотореагентов и водотопливных эмульсий на базе сырья и отходов коксохимического и нефтехимического производства нафтопродуктів [Текст] / Нестеренко С.В. Щebetун В.И. // Коммунальное хозяйство городов, Харків:– 2009.– с. 185–194.
8. Лаврова І.О. Дослідження впливу технологічних факторів на ефективність процесу кавітаційної обробки нафтопродуктів [Текст] / І.О. Лаврова, В. Саїд Аммар // Восточно-европейский журнал передових технологий.– Харків.– 2013.– с. 47–51.
9. Лаврова І.О. Обґрунтування методу очищення нафт і нафтових дистиллятів від сполук сірки [Текст] / І.О. Лаврова, В. Саїд Аммар, К.М. Сорочотяга // Вісник НТУ «ХП», Харків: НТУ «ХП».– 2010.– с. 57–61.

Bibliography (transliterated)

1. Vitenko T.M. Hidrodinamichna kavitatsiya u masoobminnih, himichnih ta biologichnih protsesah [Tekst]. T.M. Vitenko. – Ternopil: v-vo TDTU Im. I. Pulyuya, 2009.– 224 p.
2. I. Pirsol. Kavitatsiya [Tekst] : per. s angl.– M: «Mir», 1975 – 95 p.
3. Buyvol V.N. Tonkie kavernyi v techeniyah s vozmuscheniyami [Tekst]. V.N. Buyvol. K: Naukova dumka, 1984. – 296 p.
4. Rozhdestvenskiy V.V. Kavitatsiya [Tekst]. V.V. Rozhdestvenskiy. – L: Sudostroenie, 1977. – 248 p.
5. Fedotkin I.M. Ispolzovanie kavitatsii v tehnologicheskikh protsessah [Tekst]. I.M. Fedotkin, A.F. Nemchin – K : Vischa shkola, 1984. – 68 p.
6. Geller S.V. Hidrodinamicheskie istochniki tepla [Tekst]. Geller S.V., Mochalin I.V., Bogun O.P. Neftegazovoe delo, M:– 2006– P. 4–16.
7. Nesterenko S.V. Poluchenie flotoreagentov i vodotoplivnyih emulsiy na baze syirya i othodov koksohimicheskogo i neftehimicheskogo proizvodstva naftoproduktiv [Tekst]. Nesterenko S.V. Schebetun V.I. Kommunalnoe hozyaystvo gorodov, Harkiv:– 2009.– P. 185–194.
8. Lavrova I.O. Doslidzhennya vplivu tehnologichnih faktoriv na effektivnist protsesu kavitatsiynoyi obrobki naftoproduktiv [Tekst] / I.O. Lavrova, V. Sayid Ammar // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy.– Harkiv.– 2013.– P. 47–51.
9. Lavrova I.O. Obgruntuvannya metodu ochischennya naft i naftovih distillyativ vid spoluk sirki [Tekst] / I.O. Lavrova, V. Sayid Ammar, K.M. Sorokotyaga. Visnik NTU «HPI», Harkiv: NTU «HPI».– 2010.– P. 57–61.

УДК 66.074:661

Лаврова И.О., Аммар Валид Саид, Владимиренко В.В., Сорокотяга К.М.

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССА КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ И ДИСТИЛЛЯТОВ

Проведены экспериментальные исследования по обработке сырой нефти в роторных кавитаторах. Показано, что на эффективность процесса гидрогенизации сырой нефти и эмульсии «сырая нефть-вода» оказывают влияние режимы кавитационной обработки, температура обработки жидкости и количество добавляемой воды в качестве активатора процессов гидрогенизации. Подтверждено, что при гидрокавитационной обработке эмульсии «углеводород-вода» происходит микрокрекинг молекул нефти и возможна диссоциация воды с образованием водорода с последующими процессами гидрогенизации тяжелых фракций.

Lavrova I.O., Ammar Waleed Saeed, Vladimirenko V.V., Sorokotjaga K.M.

HARDWARE DESIGN PROCESS OF CAVITATION TREATMENT OF PETROLEUM FRACTIONS AND DISTILLATES

Experimental studies on the processing of crude oil in the rotary cavitator . It is shown that the efficiency of the process of hydrogenation of crude oil and emulsions "crude oil-water influence of the modes of cavitation treatment, the temperature of the processing liquid and the amount of water added as an activator in the processes of hydrogenation.

It is confirmed that when the hydro-cavitation processing of the emulsion, the hydro-carbon-water" occur microcracking molecules of oil and possible dissociation of water to form hydrogen with subsequent hydrogenation of heavy fractions.