

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

АММАР В. САЇД



УДК 622.794.2

**ЗАКОНОМІРНОСТІ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ГІДРОКРЕКІНГУ
І ГІДРОГЕНОЛІЗУ ВУГЛЕВОДНІВ У РОТОРНИХ
ГІДРОКАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТАХ**

Спеціальність: 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій, процесів і апаратів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Лаврова Інна Олегівна, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології переробки нафти, газу і твердого палива

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Білецький Едуард Володимирович, Харківський торгово-економічний інститут Київського національного торгово-економічного університету, м. Харків, заступник директора з навчально-методичної та науково-педагогічної роботи

кандидат технічних наук, доцент

Васькін Роман Анатолійович, Сумський державний університет, м. Суми, доцент кафедри прикладної екології

Захист відбудеться «02» вересня 2016 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Автореферат розіслано «29» липня 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 64.050.05



Литвиненко О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. У теперішній час паливно-енергетичний комплекс багатьох держав світу переживає не кращі часи через проблеми, пов'язані із забезпеченістю сировиною для виробництва палив та енергії. Серед чинників, що ускладнюють цю проблему, слід назвати безперервне збільшення у загальному балансі відсотку нафт з високим вмістом сірчаних сполук, а також нафт з відносно невисоким вмістом "світлих" фракцій; розвиток каталітичних процесів із застосуванням активних і селективних каталізаторів, які вимагають попереднього глибокого гідроочищення та підготовки сировини; необхідність подальшого поглиблення ступеню переробки нафти.

Серед відомих гідродинамічних методів впливу на технологічні процеси нафтопереробки, які надають можливість суттєво їх інтенсифікувати, одним з найефективніших є кавітація. Використання кавітаційних процесів для вирішення проблем нафтопереробки можливе в напрямках гомогенізації двох (або більше) гетерофазних середовищ та утворення композитних палив; використання механохімічних реакцій розщеплення для збільшення кількості легких вуглеводнів у нафті чи мазуті та зменшення їх в'язкості; інтенсифікації процесів сіркоочищення та знесолювання.

У зв'язку з цим набуває актуальності необхідність розробки комплексу дій, здатних за умов посередньої якості сировини та важких технологічних умов, забезпечити стабільне виробництво якісних нафтопродуктів для паливно-енергетичного комплексу країни.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій, процесів і апаратів НТУ «ХПІ» у рамках держбюджетної теми НДР МОН України «Створення теоретичних основ логістики енергоефективності та ресурсозбереження для забезпечення енергетичної та екологічної безпеки промислових комплексів з хіміко-технологічними системами» (ДРН_№ 0112U000409) та госпдоговірної НДР, № 100Д-2011 від 30.03.2011 р. (ЗАО «Трипласт», м. Харків), де здобувач був виконавцем окремих етапів роботи.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є встановлення механізму та фізико-хімічних закономірностей інтенсифікуючого впливу гідродинамічної кавітації на масообмінні процеси отримання вуглеводневих палив та розробка на цій основі практичних рекомендацій щодо удосконалення технологічних рішень для кавітаційних установок, які використовуються для отримання композитних моторних та котельних палив, підготовки та знесірчення нафт та нафтових дистилатів.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі:

- на основі теоретичних досліджень сформулювати робочу гіпотезу щодо механізму інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у масообмінних процесах нафтопереробки;

- експериментально оцінити вплив кавітації на властивості рідких вуглеводнів (сирої нафти та нафтових дистилятів) для отримання високоякісних палив та паливних емульсій на основі вуглеводневої сировини;
- оцінити доцільність використання процесу гідрокавітаційної обробки нафтових дистилятів для їх очищення від сірковмісних сполук;
- експериментально оцінити фізико-хімічні показники оброблених нафтопродуктів, водопаливних емульсій та композитних палив;
- узагальнити отримані результати та розробити на їх основі комплексну функціональну схему установки кавітаційної обробки вуглеводневої сировини для отримання якісних палив в умовах напівпромислового виробництва;
- запровадити результати наукових досліджень у виробництво і навчальний процес.

Об'єкт дослідження – масообмінні процеси отримання вуглеводневих палив, що здійснюються в гідрокавітаційних роторних апаратах.

Предмет дослідження – закономірності протікання процесів гідрокрекінгу, гідрогенолізу та емульгування під час кавітаційної обробки досліджуваних середовищ.

Методи дослідження. Під час виконання роботи застосовувались сучасні методи фізико-хімічного аналізу: газорідинна хроматографія для встановлення групового хімічного складу досліджуваних вуглеводнів до і після обробки, стандартні методики визначення фракційного складу та вмісту води у зразках. Для узагальнення результатів досліджень використовувались методи математичного моделювання та математичної статистики, основні положення теорій масообміну, гідродинаміки. Обробка експериментальних даних проводилась за допомогою комп'ютерної техніки і прикладних програмних пакетів (Excel, MathCad, Statistica)

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- розкрито механізм інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації на водопаливні емульсії та композитні палива за рахунок виникнення мікрокрекінгу молекул речовин, що входять до складу нафтопродуктів та відщеплення протону (гідруючого агенту) від молекули води з утворенням водню з подальшими процесами гідрогенізації важких фракцій;
- встановлено напрямки інтенсифікації процесу кавітаційної обробки нафтових дистилятів для отримання якісних моторних та котельних палив на базі обраних обґрунтованих параметрів ведення процесу (частота обертання ротора, яка необхідна для досягнення потрібного ступеню перетворень, температурний режим ведення процесу, а також вміст води та альтернативного пального в реакційній суміші);
- обґрунтовано та експериментально підтверджено запропоновані основи технологічного процесу кавітаційної обробки вуглеводневої сировини в роторних гідродинамічних апаратах для отримання якісних палив в умовах напівпромислового виробництва.

Практичне значення одержаних результатів для нафтопереробної промисловості полягає в тому, що запропоновано удосконалену технологію кавітаційної обробки нафти та нафтових сумішей для збільшення виходу світлих фракцій, зниження в'язкості та знесолення останніх. Розроблено комплексну функціональну схему та сформульовано вихідні дані для проектування установи кавітаційної обробки нафти, газового конденсату та дизельного пального для зниження в них вмісту сірчаних сполук до прийнятних норм. Удосконалено пристрій для отримання водопаливних емульсій на базі обводнених мазутів. Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива НТУ «ХП» при викладанні дисциплін «Основи технології переробки паливних копалин» та «Устаткування процесів переробки нафти й газу».

Особистий внесок здобувача. Всі результати роботи, що виносяться на захист, здобувачем отримані особисто, серед них: аналіз стану наукового завдання, обґрунтування і розробка ідеї і теми дисертації, обґрунтування напрямків удосконалення технологій кавітаційної обробки нафти, нафтових дистилятів та сумішей на їх основі, експериментальні дослідження на лабораторній установці з узагальненням і обробкою результатів, пропозиція ефективних технічних рішень з розробки нових кавітаційних установок промислового масштабу, узагальнення результатів і формулювання основних висновків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались на: XVII, XIX, XX, XXI Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2009, 2011, 2012, 2013 р.р.), на засіданнях технічної ради ЗАТ «Трипласт» (м. Харків, 2013 р.) та хімічного відділу Українського науково-дослідного вуглехімічного інституту (м. Харків, 2016 р.). засіданні наукового семінару кафедр інтегрованих технологій, процесів та апаратів та технології переробки нафти, газу і твердого палива Національного технічного університету «ХП» (м. Харків, 2016 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи опублікований у 9 наукових публікаціях, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України (3 – у науково-метричних базах даних), 4 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 157 сторінок, з них 30 рисунків та 21 таблиць по тексту, 1 таблиця на окремій сторінці, список використаних джерел із 124 найменувань на 12 сторінках, 7 додатків на 24 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність обраної тематики, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи. Наведено відомості щодо апробації роботи і публікацій, зазначено особистий внесок здобувача.,

У першому розділі проведено аналітичний огляд науково-технічної і патентної інформації щодо існуючих процесів та апаратів, які використовуються для обробки нафти та нафтопродуктів та отримання композитних палив та водопаливних емульсій, виявлено їх можливості та умови використання. На базі аналізу теоретичних основ процесу та існуючого стану речей у промисловій практиці показано, що можливості інтенсифікації досліджуваних процесів далеко не вичерпані, використання кавітаційної обробки вуглеводневої сировини здатне здійснювати суттєвий інтенсифікуючий вплив. Сформульовано робочі гіпотези щодо можливостей інтенсифікуючого впливу кавітаційної обробки на масообмінні процеси гідрокрекінгу та гідрогенолізу вуглеводневої сировини, розкриті механізми процесів, що протікають. Визначено основні напрямки досліджень дисертаційної роботи та обрано шляхи їх реалізації.

У другому розділі наведено методологію досліджень, виконаних у дисертаційній роботі (рис.1).



Рисунок 1 – Загальна схема досліджень дисертаційної роботи

Описано методики проведення експериментів, алгоритми обробки отриманих даних. Обрано основні об'єкти, методику та інструментарій досліджень. Наведено опис експериментального лабораторного стенду (рис.2), методик досліджень та аналітичного визначення цільових компонентів. На основі комплексного аналізу хіміко-технологічних процесів нафтопереробки та особливостей гідродинамічного кавітаційного впливу на рідкі середовища досліджуваними процесами обрано:

- обробка нафт та композитних палив на їхній основі для підвищення виходу «світлих» фракцій;
- обробка дизельного пального у процесі його сорбційного очищення від сірковмісних сполук;
- обробка некондиційних обводнених мазутів для отримання якісних водопаливних емульсій.

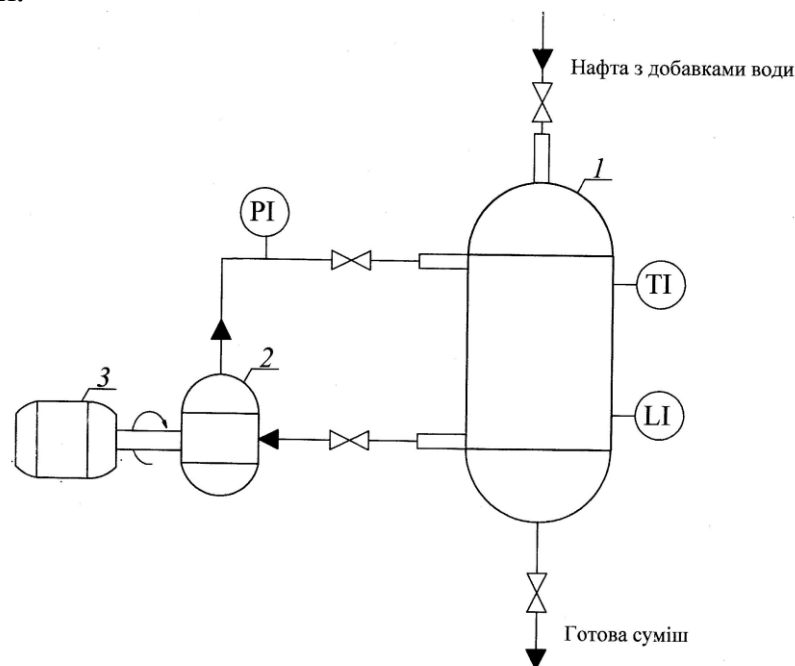


Рисунок 2 – Принципова схема стендової кавітаційної установки :

1 – ємність, 2 – роторно-пульсаційний кавітатор; 3 – електродвигун

Експериментальні дослідження виконані у лабораторії ЗАТ «Трипласт» (м. Харків)

Третій розділ присвячено результатам експериментальних обробок вуглеводнів (нафт, нафтових дистилатів та композитних палив на їх основі) на лабораторній установці. Кавітаційна обробка проводилась у роторно-пульсаційному апараті за різних частот обертання ротора. У робочому режимі оброблюване середовище циркулює по контуру «ємність1 – кавітатор2», кавітатор створює розрідження на вхідному патрубку, тобто сам працює, як насос. Завантажуваний об'єм – 10л суміші; до нафти або нафтової суміші додавалася вода у кількості від 10 до 50%, частота обертання ротора задавалася у діапазоні від 3000 до 6000 об/хв. Встановлено, що ефективними умовами здійснення процесу є: вміст води 15%, частота обертання ротора 6000 об/хв. Результати експериментальних розгонок контрольних зразків та зразків, які піддавали кавітаційній обробці, наведено в табл.1. та на рис. 3 і 4.

Таблиця 1 – Результати розгонки вуглеводневих сумішей до і після кавітації

Показники	Нафта сира		Експериментальна суміш: 75% нафти та 25% альтер- нативного пального		Експериментальна суміш: 50% нафти та 50% альтерна- тивного пального	
	до кавітації	після кавітації	до кавітації	після кавітації	до кавітації	після кавітації
Густина, ρ_4^{20} , кг/м ³	841	840	832	833	824	824,5
Розгонка, : Початок кипіння, °C	68	75	62	66	71	75
10%, °C	120	125	128	121	125	127
20%, °C	150	159	152	149	153	152
30%, °C	191	193	191	184	174	176
40%, °C	246	237	231	224	206	209
50%, °C	281	276	263	257	245	247
60%, °C	322	303	295	293	275	273
70%, °C	384	328	330	324	306	303
80%, °C		340	345	338	331	312
Кінець кипіння	384 °C, 70%	340 °C, 80%	345 °C, 80%	345 °C, 85%	342 °C, 84%	341 °C, 91%
Вихід, %	73	83	81	87,5	87	93,5
Залишок, %	26,5	16,5	18,5	12	12	6
Втрати, %	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5

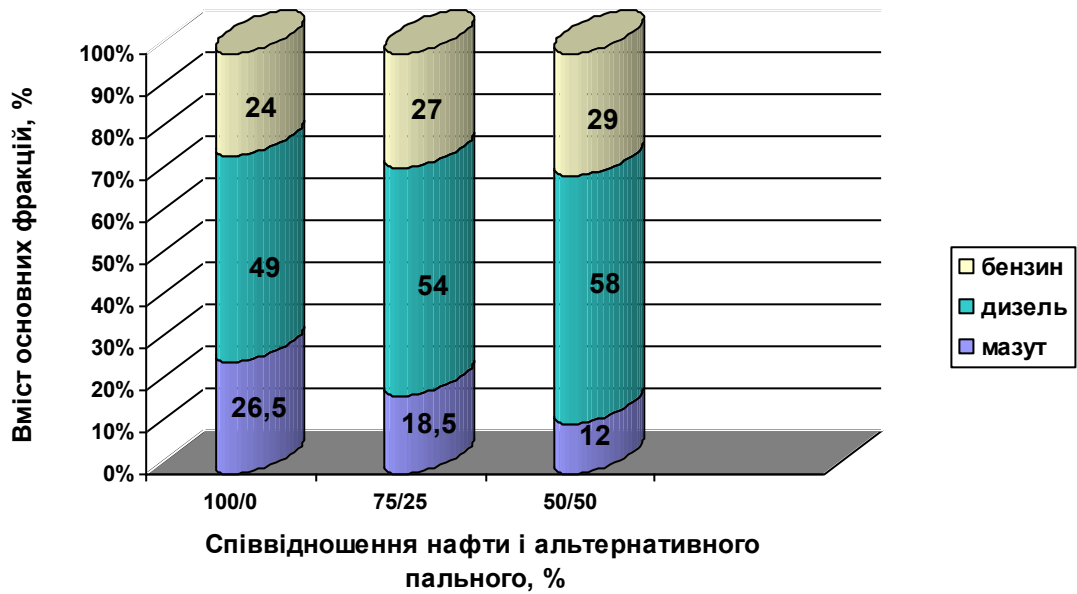


Рисунок 3 – Залежність вмісту основних фракцій до кавітаційної обробки від співвідношення компонентів.

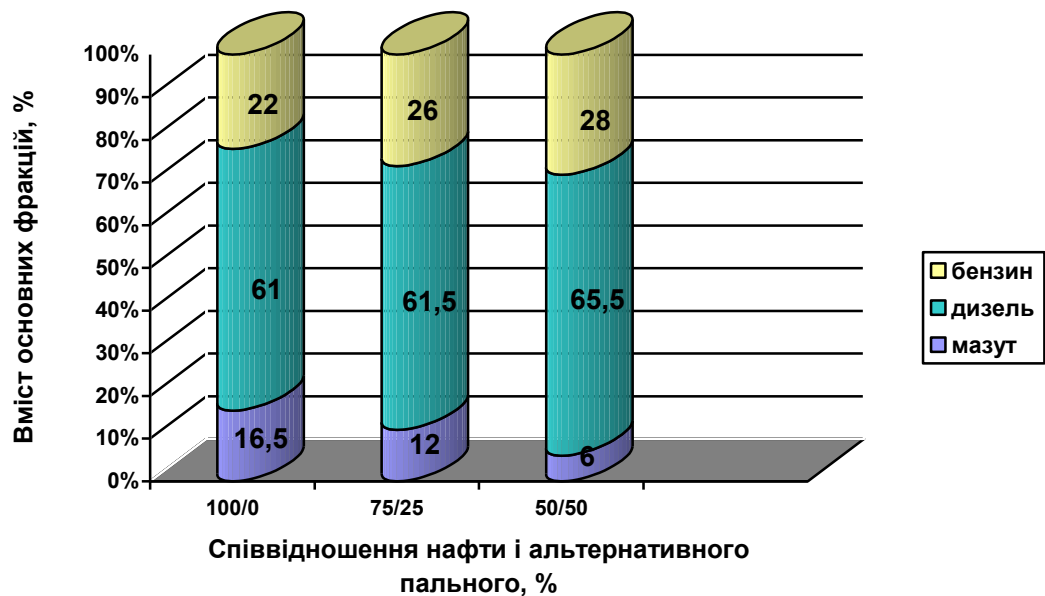


Рисунок 4 – Залежність вмісту основних фракцій після кавітаційної обробки від співвідношення компонентів

Доведено, що при гідрокавітаційній обробці в інтенсивному режимі сумішей на базі вуглеводневої сировини можливе збільшення виходу «світлих» фракцій до 83-94% (проти 73-87% у вихідній сировині після обробки в режимі

емульгування). Показано, що процес кавітації позитивно впливає на збільшення виходу світлих фракцій, зокрема дизельної. Вміст мазутної фракції, навпроти, зменшується майже вдвічі, за рахунок часткового переходу в дизельну. Частка бензинової фракції «важчає», також поповнюючи дизельну фракцію. Проведення розгонок контрольних зразків ускладнилось через вміст у нафтах диспергованої води, а після обробки на кавітаторах вода відганялась, не заважаючи основній розгонці. Узагальнені результати дослідження дії кавітації на нафтові суміші різного складу наведені на рис. 5.

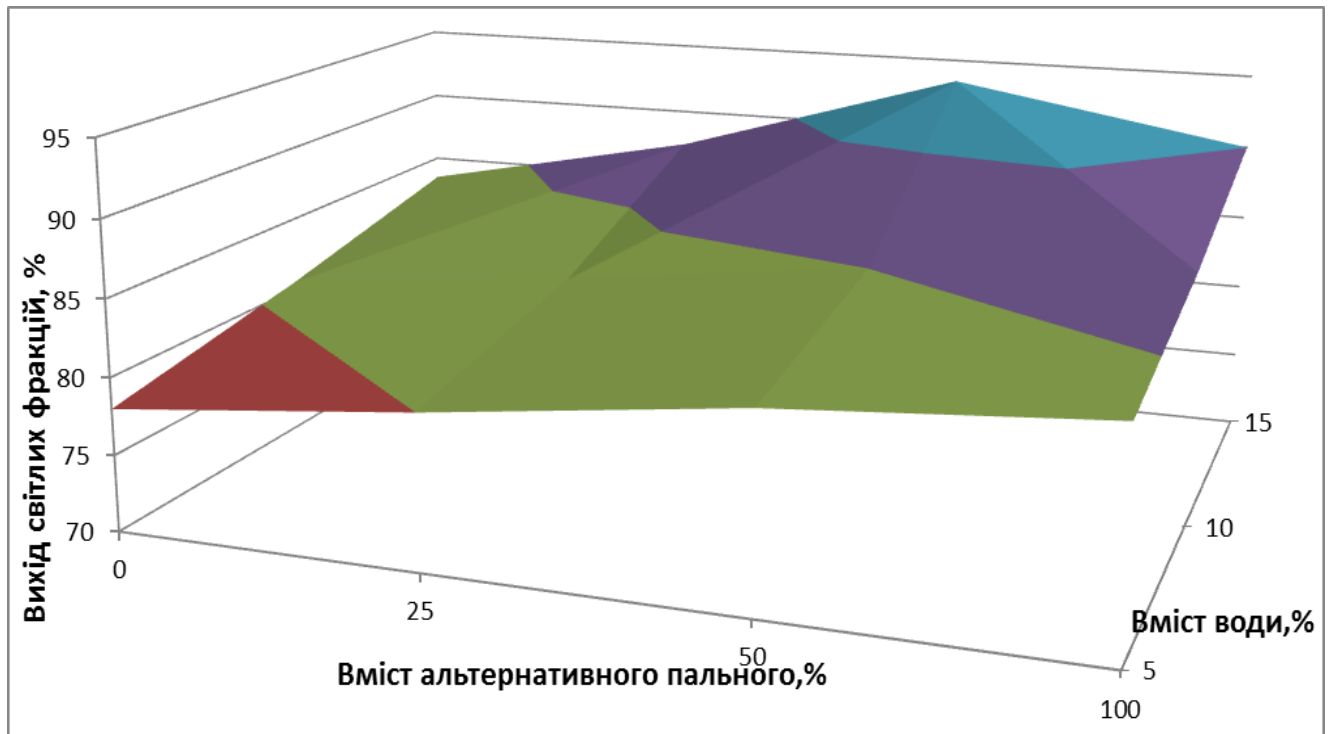


Рисунок 5 – Залежність виходу світлих фракцій з нафти від складу пального (вміст альтернативного пального та води)

Основними параметрами, що визначили режими обробки нафтопродуктів на гідродинамічному роторному кавітаторі, є частота обертання ротора і вміст води в паливі. Кількість води в паливі складала 5, 10, 15 та 20%, суміш оброблювалась при температурі 70° С, частота обертання ротора коливалась в діапазоні від 3000 до 6000 об/хв, верхня межа задавалась в залежності від технічних можливостей апарату. Оброблена емульсія зневоднювалась і фракціонувалась у відповідності до стандартних методик.

Дані експериментів щодо виявлення впливу частоти обертання ротора на інтенсивність досліджуваного процесу наведені на рис. 6.

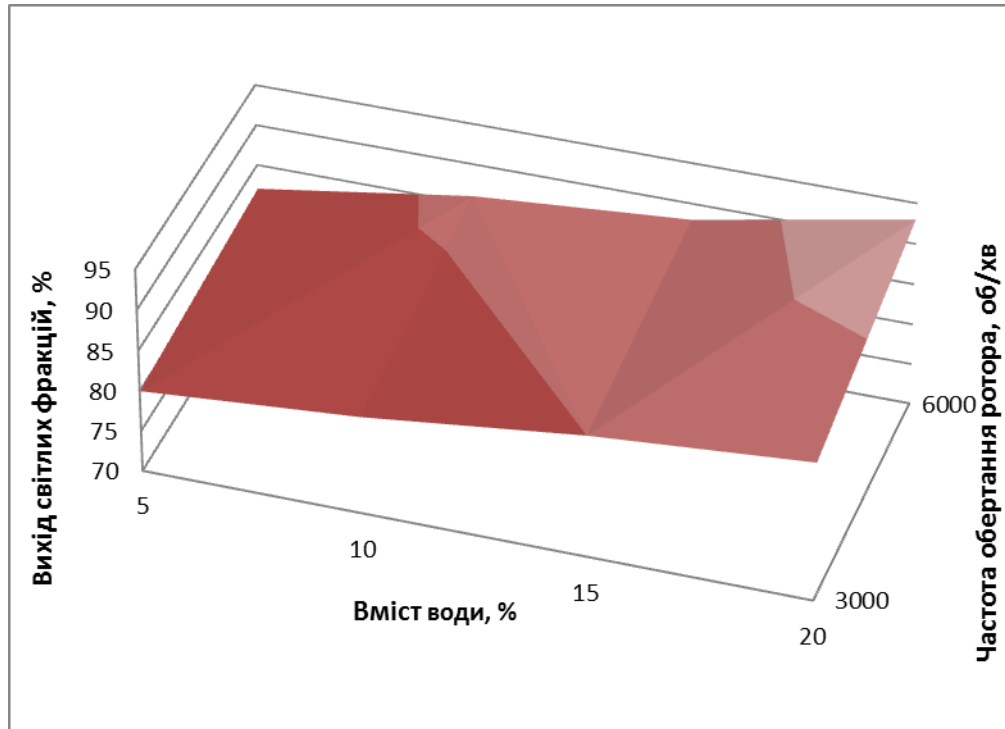


Рисунок 6 – Залежність виходу світлих фракцій від частоти обертання ротора та вмісту води в суміші.

Основним критерієм ефективності процесу було обрано вихід світлих фракцій (Y). Для прогнозування збільшення виходу світлих фракцій в залежності від частоти обертання ротора (X_1 , об/хв) та вмісту води в суміші (X_2 , %) за методом найменших квадратів при рівні значущості $\alpha=5\%$ з використанням програмного пакету MathCAD отримано регресійні залежності, адекватні реальним перетворенням, які мають вигляд:

- для чистої нафти

$$Y=0,1836 \cdot X_1 + 0,7839 \cdot X_2 - 0,0010602 \cdot X_1 \cdot (X_1 + X_2) + 72,5691, \quad (1)$$

- для суміші нафти з 25% альтернативного пального

$$Y=0,59 \cdot X_1 + 0,9907 \cdot 10^{-3} \cdot X_2 - 1,236 \cdot 10^{-4} \cdot X_2^2 + 71,8361, \quad (2)$$

- для суміші нафти з 50% альтернативного пального

$$Y=0,175 \cdot X_1 + 0,7375 \cdot X_2 - 0,0010788 \cdot X_1^2 + 73,0098, \quad (3)$$

- для суміші нафти з 75% альтернативного пального

$$Y=0,4003 \cdot X_1 + 1,8687 \cdot 10^{-3} \cdot X_2 - 7,5071 \cdot 10^{-3} \cdot X_1^2 + 71,4878. \quad (4)$$

Перевірка адекватності рівнянь здійснювалася з використанням критерію Фішера. Отримані залежності дозволяють здійснювати вибір раціональних режимів роботи кавітаційного обладнання в залежності від необхідного рівня ефективності і групового складу вихідної емульсії

Аналіз рівнянь математичного опису (1-4) та графічних залежностей (рис.5, 6) свідчить, що найбільш ефективно оброблено зразки із вмістом води 20% при частоті обертання ротора 6000 об/хв. Згідно отриманих результатів, можна зробити висновок про пряму залежність між інтенсивністю кавітації, що визначається в даному випадку тангенціальною швидкістю на робочих органах роторно-пульсаційного апарату, та ступенем перетворення нафти. Проте, слід відмітити, що отримані рівняння математичного опису справедливі лише для тих конструкцій апаратів, на яких проводилися дослідження.

У процесі імпульсної обробки нафт та нафтопродуктів енергія, що виділяється при «схлопуванні» кавітаційних бульбашок, використовується для розриву хімічних зв'язків між атомами в молекулах вуглеводнів, одночасно з цим, активно протікають іонізаційні процеси. У випадку обробки ультрадисперсної емульсії вуглеводень – вода, коли в зони дії кумулятивних струменів та колапсу кавітаційних бульбашок потрапляють одночасно мікрофракції води та вуглеводнів, відбувається одночасно деструкція води з утворенням водню та «ударний крекінг» важких вуглеводнів з подальшою гідрогенізацією останніх.

Для виявлення впливу кавітаційної обробки на знесолення чистих нафт (зниження вмісту хлоридів при обробці) проведено дослід на лабораторній установці з нафтами Прилукського та Перещепинського родовищ. Встановлено, що вода, яка за технологією додається до нафти у кавітатор, вимиває хлориди, значно зменшуючи їхню концентрацію.

Показники вмісту хлорид-іонів в нафтах до і після кавітації наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вплив кавітаційної обробки на вміст хлорид-іонів

Нафта	Вміст хлорид-іонів до кавітації, мг/дм ³	Вміст хлорид-іонів після кавітації, мг/дм ³
Прилукська	224	4, 47
Перещепінська	478	13

Проведені дослідження дозволили виявити вплив режимів кавітаційної обробки на ефективність процесів гідрокрекінгу та гідрогенолізу сирої нафти та композитних палив на її основі та обґрунтувати найбільш ефективні значення режимно-технологічних факторів.

У четвертому розділі викладено результати щодо обробки дизельного пального з підвищеним вмістом сірчаних сполук та обводненого мазуту в гідрокавітаційних пристроях.

Кавітаційна обробка дизельного пального проводилася для зниження вмісту загальної сірки. В результаті дослідження отримано позитивні результа-

ти як на лабораторній установці, так і на промисловому кавітаційному вузлі ЗАО «Трипласт» у м. Харків (табл.3).

Під час кавітації дизельного пального для зниження вмісту загальної сірки в суміш пального і води додавали адсорбент. Відомі дані про високу сорбційну ефективність в такого роду процесах природних каолінітів та цеолітів. Як сорбент обрано зелену глину з наступними показниками якості: зовнішній вигляд - аморфно-дрібна, з темно-зеленими блискучими включеннями; рН - (4,9-5,0); $S_{\text{заг}}$ - 0,06%; Al_2O_3 - 14%; SiO_2 - 54,8-56%; Fe_2O_3 - 5,8%; CaO - 6,8%; TiO_2 - 0,64%.

Таблиця 3 – Результати кавітаційної обробки дизельного пального

Показники	Дизельне пальне до кавітації	Дизельне пальне після кавітації на лабораторному кавітаторі	Дизельне пальне до кавітації	Дизельне пальне після кавітації на промисловому кавітаторі
Густина, ρ_4^{20} , кг/м ³	826	823	822	822
Температура спалаху, °С	50	70	53	70
Вміст сірки, %	0,1000	0,0340	0,1000	0,0360
Розгонка: початок кипіння, °С	156	165	156	176
10%, °С	198	194	194	195
20%, °С	208	204	205	209
30%, °С	217	214	218	219
40%, °С	231	224	230	229
50%, °С	242	240	242	244
60%, °С	262	255	257	260
70%, °С	280	273	278	279
80%, °С	308	293	300	301
90%, °С	344	321	333	334
Кінець кипіння	93%, 360°С	96%, 347°С	93%, 361°С	96%, 365°С
Вихід, %	94	97	94	97,5
Залишок, %	4,1	2,7	4,1	2,3
Втрати, %	1,9	0,3	1,9	0,2

Після кавітації суміш відстоювали протягом кількох годин від води і глини і виділяли дизельне пальне. Використання глини як сорбенту є виправданим тільки під час роботи з паливом з невисоким вмістом парафінів, оскільки у високопарафіністих нафтопродуктах сорбент набрякає, значно ускладнюючи відстоювання пального.

Доведено, що кавітаційна обробка сприяє підвищенню якості дизельного пального, а саме – зниженню вмісту сірчаних сполук, зміни кольору до світлого, що свідчить про зниження вмісту ненасичених вуглеводнів (потенційних смол), тобто про більшу стабільність і нижчу окиснюваність.

Досліджено процес обробки в гідрокавітаційних пристроях мазуту, що не відповідав необхідним вимогам до вмісту води, та композитів на його основі для отримання якісних водопаливних емульсій, використання яких дозволяє підвищити коефіцієнти згоряння пального, знизити викиди сажових часток і оксиду вуглецю, а також утилізувати сировину, непридатну для використання в якості палива. Результати дослідів показано у табл. 4.

Таблиця 4 – Параметри мазуту до і після кавітаційної обробки

Мазут	Час витікання через калібровану воронку, с (при $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$)			Температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$			Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$		
	початкові	після обробки	Δ , %	початкові	після обробки	Δ , %	початкові	після обробки	Δ , %
Зразок 1	155	90	42	120	127	5	925	920	0,5
Зразок 2	138	84	39	105	115	9	915	915	0
Зразок 3	165	120	25	135	145	7	920	920	0

Таким чином, на підставі виконаних стендових і напівпромислових досліджень доведено ефективність використання кавітаційної обробки у процесах сорбційного очищення палив від сірковмісних органічних сполук та отримання композитних палив.

П'ятий розділ присвячено обґрунтуванню та вибору основних режимно-технологічних параметрів ведення досліджуваного процесу у напівпромислових умовах.

На рис. 7 представлено комплексну функціональну схему установки процесу кавітаційної обробки нафти і нафтових дистилатів. Вихідна сировина з накопичувальної ємності Е3 подається в змішувачі Е6, Е7. У разі низьких температур навколишнього середовища ведеться підігрів вихідної сировини, а також сировини після кавітування з допомогою установки ОТ. Із зовнішнього водного резервуара технічна вода через накопичувальну ємність Е1 подається в ємність Е2 для приготування суспензії. Приготована суспензія подається в змішувачі Е6, Е7. Після емульгування суміш нафтопродукту, води і сорбенту подається в блок кавітаційної обробки, що складається з диспергатора і роторно-імпульсних гідродинамічних апаратів (кавітаторів) Кв1, Кв2. В цьому режимі проводиться декілька ітерацій після досягнення заданого часу кавітації. Час кавітації визначається експериментально для кожної нової партії вхідної сировини.

Після обробки суміш подається на фільтр грубої очистки Фг.о., де відбувається відділення сировини від суспензії. Очищена сировина надходить в накопичувальну ємність Е5, а залишки суспензії - в багатоканальний відстійник

A2, де відпрацьована вода зливається в технічну каналізацію, а сорбент подається на регенерацію або у виробництво будматеріалів. Оброблений нафтопродукт з ємності E5 подається на фільтр тонкої очистки Фт.о. і далі в накопичувальну ємність E4 готової продукції.

Застосування мікропроцесорної системи управління дозволяє виконувати управління технологічним процесом, а також виконувати збір, обробку, зберігання та подання інформації про стан технологічного процесу і технологічного обладнання.

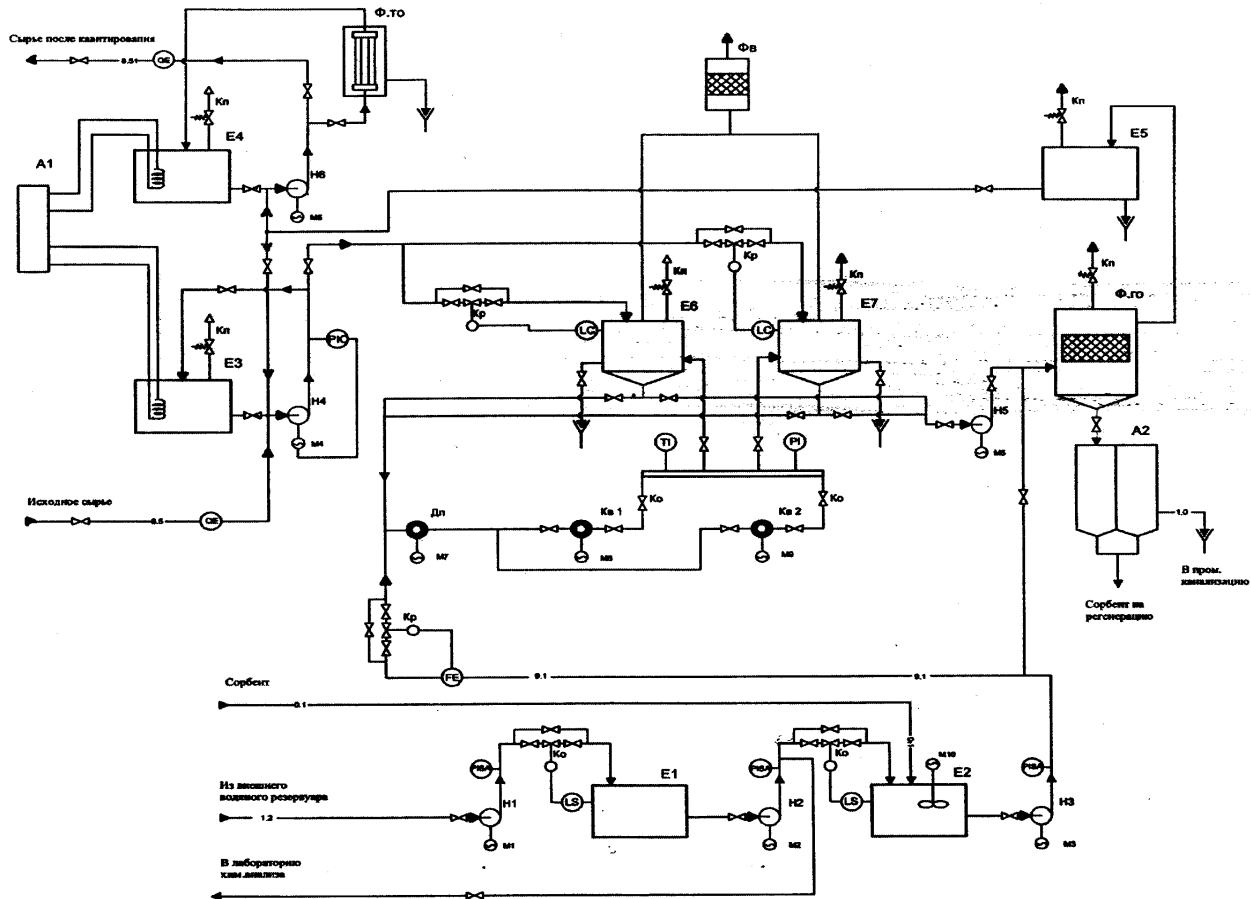


Рисунок 7 – комплексна функціональна схема установки процесу кавітаційної обробки нафт і нафтових дистилатів:

E3 – ємність вихідної сировини; E4 – ємність сировини після кавітування ; E1, E2, E5 – проміжні ємності; E6, E7 – емульгатори, A2 – відстійник багатоканальний; A1(OT) – установка високотемпературного теплоносія; Фг.о. – фільтри грубої очистки; Фт.о. – фільтри тонкої очистки; Ф – повітряний фільтр; Дп – диспергатор; Кв1, Кв2 – роторно-імпульсні апарати (кавітатори); Н1, Н2, Н3, Н4, Н5, Н6 – насоси.

Основним пристроєм установки є роторно-пульсаційний гідродинамічний кавітатор (рис.8).

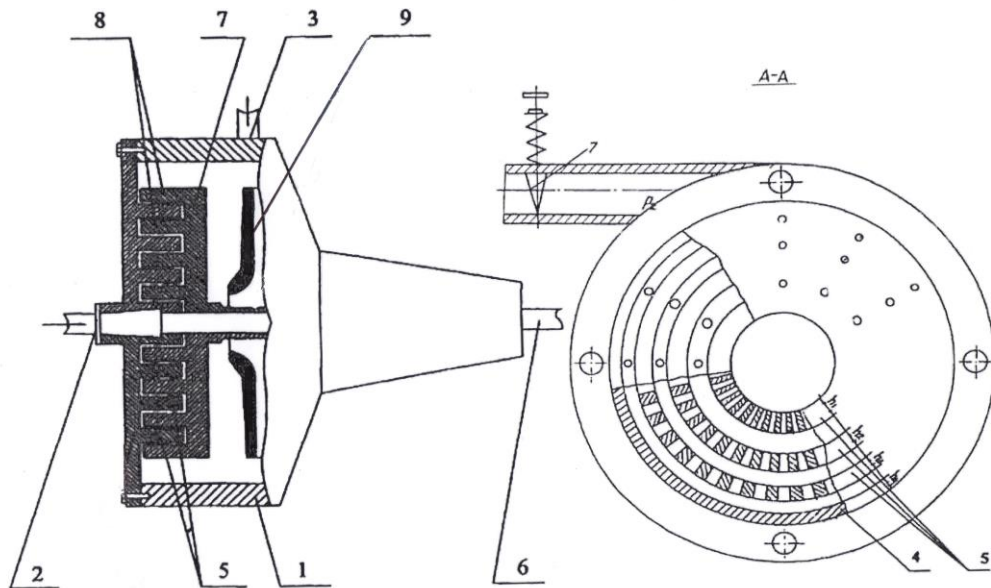


Рисунок 8 – Роторно-пульсаційний кавітатор:

1 – корпус апарату; 2 – вхід оброблюваного середовища; 3 – вихід обробленого продукту; 4 – бронезахист корпусу; 5 – радіальні отвори; 6 – приводний вал; 7 – регулятор надлишкового тиску; 8 – ротор; 9 – лопатки ротора.

Кількість встановлюваних гідродинамічних кавітаторів залежить від розмірів ротора і визначається з умов потужності ротора. Діаметри деталей і їх довжина знаходяться в певній залежності між собою і залежать від продуктивності апарату.

Наявність надлишкового тиску, а також ребриста поверхня бронедіска сприяють інтенсивному «закриттю» - зникненню кавітаційних бульбашок, що супроводжується появою ударних хвиль, та різким підвищенням температури до 2000°C і тиску до 10000 кг /см² .

Проведено техніко-економічний розрахунок ефективності наведених технологічних рішень, який показав, що економічний ефект від реалізації пропозицій цієї роботи складає приблизно 30,142 млн. грн./рік у цінах 2015 року.

У додатках наведено звіти хроматограм, акти лабораторних випробувань, акти впровадження у промислову практику технологічних рішень щодо обробки вуглеводневої сировини для підвищення вмісту легких фракцій та зниження сірчистості на ЗАТ «Трипласт» (м. Харків), а також впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива НТУ «ХП».

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішенням науково-практичного завдання інтенсифікації масообмінних процесів нафтопереробки із застосуванням гідродинамічної кавітації. Особливо ефективним слід визнати використання розроблених технічних рішень в умовах міні заводів, напівпромислового виробництва та при доведенні некондиційного товарного продукту до вимог стандартів.

До основних наукових та практичних результатів роботи слід віднести наступні:

1. На основі проаналізованих науково-технічних джерел сформульовано та експериментально підтверджено робочу гіпотезу, згідно якої при гідрокавітаційній обробці водно-вуглеводневих емульсій відбувається мікрокрекінг молекул нафти та можлива дисоціація води з утворенням водню (гідруючого агенту) та подальшою гідрогенізацією важких фракцій, що свідчить про доцільність використання кавітаційної обробки вуглеводневої сировини для інтенсифікації масообмінних процесів гідрокрекінгу та гідрогенолізу.

2. Експериментально встановлено, що на ефективність процесу гідрогенолізу вуглеводнів сирової нафти та емульсії «сирого нафта-вода» здійснюють вплив режими кавітаційної обробки та кількість води, що додавалася в якості активатора процесів, що протікають. З використанням апроксимаційних поліномів визначені раціональні умови проведення процесу, а саме: температура 80 С, вміст води 20% при частоті обертання ротора 6000об/хв.

3. В процесі обробки нафт та дизельного пального у кавітаторі поліпшеної конструкції зафіксовано суттєве зниження вмісту загальної сірки до прийнятних норм (з 0,1% до 0,03%), що свідчить про доцільність використання досліджуваного процесу для інтенсифікації сорбційного очищення палив від сірковмісних сполук. На основі альтернативного пального та нафти отримано гомогенні суміші, що стали джерелом світлих фракцій – сировини для виробництва моторних палив.

4. За результатами аналізу фізико-хімічних показників водопаливних емульсій, оброблених на кавітаційному стенді, доведено, що вихід легких фракцій досяг 94% (порівняно з 74% до обробки), що підтверджує протікання процесів м'якого гідрокрекінгу вуглеводневої сировини, а також утворення водню при гідрокавітаційній обробці.

5. Розроблено інженерно-технічні пропозиції щодо удосконалення процесів виробництва композитних палив та сіркоочищення нафт і нафтових дистилятів – запропоновано комплексну функціональну схему процесу кавітаційної обробки нафт і нафтових дистилятів для збільшення виходу світлих фракцій, знесірчення і знесолення нафтопродуктів.

6. Доцільність розроблених пропозицій та технічних рішень підтверджується техніко-економічними розрахунками та актами випробувань і впровадження у виробництво (ЗАО «Трипласт», м. Харків). Результати дисертаційної роботи використано у навчальному процесі кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Аммар В. Саїд. Обґрунтування методу очищення нафт і нафтових дистиллятів від сполук сірки / І. О. Лаврова, Аммар В. Саїд, К. М. Сорокотяга // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – №57. – С. 36 – 41.
Здобувачем досліджено ефективність сорбційного сіркоочищення дизельного пального під час його кавітаційної обробки
2. Аммар В. Саїд. Дослідження впливу процесу кавітації на якість нафтових дистиллятів / І. О. Лаврова, Аммар В. Саїд, А.В.Колеснікова // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №1. – С. 109 – 112.
Здобувачем досліджено вплив кавітаційної обробки на вихід світлих фракцій з вуглеводневих сумішей на основі нафт і оброблено результати експериментів
3. Аммар В. Саїд. Дослідження впливу технологічних факторів на ефективність процесу кавітаційної обробки нафтопродуктів / І. О. Лаврова, Аммар В. Саїд // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, 2013. – 6/6 (66). – С. 47 – 51.
Здобувач узагальнив результати експериментів та сформулював гіпотезу щодо механізму масообмінних процесів гідрокрекінгу та гідрогенлізу
4. Аммар В. Саїд. Исследование влияния кавитационной обработки на качественные показатели водомазутных эмульсий / І. О. Лаврова, Аммар В. Саїд // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – №7. – С.157 – 162
Здобувач спланував і провів експериментальні дослідження з метою отримання якісних водопаливних емульсій у пристрої поліпшеної конструкції
5. Аммар В. Саїд. Апаратурне оформлення процесу кавітаційної обробки нафтових фракцій та дистиллятів / І. О. Лаврова, Аммар В. Саїд, К.М. Сорокотяга, В.В. Владимиренко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ»; 2015. – №2. – С. 67 – 73.
Здобувач розробив комплексну функціональну схему установки кавітаційної обробки нафт і нафтових дистиллятів
6. Аммар В. Саїд. Розробка виробництва ПЕВТ на базі іракської нафти / Г.М. Черкашина, В. Саїд Аммар / Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції (20-22 травня 2009, Харків): у 2 ч. – Ч.2 / за ред. проф. Товажнянського Л.Л. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – С. 11.

Здобувачем проведено удосконалення процесу виробництва ПЕВТ із продуктів іракської нафти

7. Аммар В. Саїд. Експериментальні дослідження кавітаційного гідрокрекінгу нафтопродуктів та сумішей на їх основі / І.О. Лаврова, С.В. Череповська Аммар В. Саїд / Матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 1–3 травня 2011 р., Харків / під ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2011. – С. 288.

Здобувачем експериментально досліджено вплив кавітаційної обробки на вихід світлих фракцій з вуглеводневих сумішей на основі нафти.

8. Аммар В. Саїд. Експериментальні дослідження кавітаційної обробки нафтових дистилатів / Лаврова І.О., Аммар В. Саїд / Матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 15 – 17 травня 2012 р., Харків / під ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2012. – С. 295.

Здобувачем сплановано та проведено експеримент, висунуто гіпотезу щодо механізму хімічних перетворень в вуглеводнях під час обробки.

9. Аммар В. Саїд. Експериментальні дослідження кавітаційної обробки нафтопродуктів/Лаврова І.О., Аммар В. Саїд / Матеріали XXI Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 29 – 31 травня 2013 р., Харків / під ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2013. – С. 31.

Здобувачем сплановано і проведено серії дослідів на напівпромисловому кавітаційному модулі.

АНОТАЦІЇ

Аммар В. Саїд. Закономірності масообмінних процесів гідрокрекінгу і гідрогенолізу вуглеводнів в роторних гідрокавітаційних апаратах – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08. – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

Дисертацію присвячено науковому обґрунтуванню та розробці напрямків інтенсифікації масообмінних процесів нафтопереробки .

Показано, що при гідрокавітаційній обробці водно-вуглеводневих емульсій відбувається мікрокрекінг молекул нафти та можлива дисоціація води з утворенням водню та подальшим гідрогенолізом важких фракцій. В результаті фракційної розгонки водопаливних емульсій, що були оброблені на кавітацій-

ному стенді, вихід легких фракцій досяг 94%, що підтверджує протікання гідрогенізаційних процесів вуглеводневої сировини, а також утворення водню при гідрокавітаційній обробці. В процесі обробки нафти та дизельного пального у кавітаторі нової конструкції було зафіксовано суттєве зниження вмісту загальної сірки до прийнятних норм, що свідчить про доцільність використання досліджуваного процесу для інтенсифікації сорбційної очистки палив від сірковмісних сполук. На основі альтернативного пального та нафти отримані гомогенні суміші, що стали джерелом світлих фракцій – сировини для отримання моторних палив. Особливо ефективним слід визнати використання цієї технології в умовах мінізаводів, напівпромислового виробництва або при доведенні некондиційного товарного продукту до вимог стандартів.

Ключові слова: масообмінний процес, гідрокрекінг і гідрогеноліз вуглеводнів, гідродинамічна кавітація, роторно-пульсаційні апарати, знесірчення, активація.

Аммар В. Саид. Закономерности массообменных процессов гидрокрекинга и гидрогенолиза углеводородов в роторных гидрокавитационных аппаратах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08. – процессы и оборудование химической технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена научному обоснованию и разработке направленной интенсификации массообменных процессов нефтепереработки в условиях значительного ухудшения сырьевой базы нефтепереработки, а также ужесточения требований к товарному продукту и настоятельной необходимости углубления степени переработки нефти. В работе установлены механизмы и физико-химические закономерности интенсифицирующего воздействия гидродинамической кавитации на массообменные процессы получения углеводородных топлив, на основе чего разработаны практические рекомендации по усовершенствованию технологических решений для кавитационных установок, которые используются для получения композитных моторных и котельных топлив, подготовки и обессеривания нефтей и нефтяных дистиллятов.

В результате исследований подтверждено, что при гидрокавитационной обработке водоуглеводородных эмульсий происходит микрокрекинг молекул углеводородов, входящих в состав нефти и отщепление протона от молекулы воды с последующей гидрогенизацией тяжёлых фракций. В результате фракционной разгонки водотопливных эмульсий, которые были обработаны на кавитационном стенде, показано, что выход лёгких фракций составил 94% по сравнению с 74% в сырье до обработки, что подтверждает протекание гидрогенизационных процессов и образование водорода при гидрокавитационной обработке.

Проведенные стендовые и полупромышленные испытания показали, что на эффективность процесса гидрогенизации сырой нефти и эмульсий «сырая

нефть-вода» оказывают влияние режим кавитационной обработки и количество воды, которая добавлялась в качестве активатора процессов гидрогенизации, гидрогенолиза и эмульгации.

В процессе обработки нефтей и дизельного топлива в кавитаторе усовершенствованной конструкции было зафиксировано существенное снижение содержания общей серы с 0,1 до 0,03%, т.е. до принятых норм, что свидетельствует о целесообразности использования изучаемого процесса для интенсификации сорбционной очистки топлив от серосодержащих органических соединений.

На основе альтернативного топлива и нефти получены гомогенные смеси, которые могут служить источником «светлых» фракций – сырья для получения моторных топлив, а на основе обводнённых мазутов – котельное топливо, отвечающее требованиям стандартов.

Проведенные экспериментальные исследования позволили предложить инженерно-технические решения, положенные в основу разработанной комплексной функциональной схемы процесса кавитационной обработки нефтей и нефтяных дистиллятов для увеличения выхода светлых фракций, обессеривания и обессоливания нефтепродуктов.

Технико-экономические расчёты доказывают целесообразность внедрения разработанных предложений. Особо эффективным следует признать использование этой технологии для условий минизаводов, полупромышленного производства и при доведении до требований стандартов качества некондиционных нефтепродуктов, что подтверждается актами внедрения и использования результатов работы.

Ключевые слова: масообменный процесс, гідрокрекинг и гидрогенолиз углеводородов, гидродинамическая кавитация, роторно-пульсационные аппараты, обессеривание, активация.

Ammar W. Saeed. Patterns mass transfer process of oils of hydrocracking and a gidrogenoliz of hydrocarbons in rotor hydrocavitational devices. – The manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.17.08. – processes and equipment of chemical technology. – National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, 2016.

The thesis is devoted to the scientific substantiation and development directions of intensification of mass transfer processes of oil refining. It is shown that at hydrocavitation the treatment of water-hydrocarbon emulsions occur micro cracking molecules of oil and the possible dissociation of water with formation of hydrogen and subsequent hydrogenation of heavy fractions. As a result of fractional distillation of water-fuel emulsions that were processed using the cavitation stand, the yield of light fractions reached 94%, which confirms the course of hydrogenation processes of hydrocarbons, as well as the formation of hydrogen at hydrocavitation processing. In the process of treatment of oil and diesel fuel in cavitator new construction recorded a significant decrease in the content of total sulfur to ac-

ceptable standards, indicating the feasibility of using the investigated process for the intensification of sorption purification of fuels from sulfur-containing compounds. On the basis of alternative fuel and petroleum obtained a homogeneous mixture, which became a source of light fractions of raw material for the production of motor fuels. Particularly effective should be recognized the use of this technology in terms of small plants, pilot plant production or proof of non-certified commodity product to the requirements of the standards.

Keywords: mass transfer process, hydrocracking and hydrogenolysis of hydrocarbons, hydrodynamic cavitation, rotary-pulsation apparatus, desulfurization, activation.



Підп. до друку 23.05.16. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Друк – ризографія. Ум. друк. арк. – 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. № 2496456

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В. Свідоцтво №В04№22953)
61002, м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
т.: 7-170-354
www.modelist.in.ua
