

УДК 547.261+547.024+ 661.721.43

*О.Б. Целіщев<sup>а</sup>, С.О. Кудрявцев<sup>а</sup>, М.Г. Лорія<sup>а</sup>, С.В. Бойченко<sup>б</sup>, В.Г. Ланецький<sup>б</sup>,  
І.В. Матвєєва<sup>б</sup>, С.В. Леоненко<sup>а</sup>, М.О. Целіщева<sup>а</sup>*

## МОДИФІКАЦІЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОКОНДЕНСАТНИХ БЕНЗИНІВ БІОЕТАНОЛОМ У КАВІТАЦІЙНОМУ ПОЛІ

<sup>а</sup> Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєверодонецьк, Україна  
<sup>б</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Наведено результати дослідження впливу вмісту біоетанолу та параметрів кавітаційного поля на октанове число автомобільних газоконденсатних бензинів. Показано вплив параметрів кавітаційного поля на модифікацію палива, зміну якісного та кількісного складу бензину. Встановлено вплив вмісту біокомпоненту на приріст октанового числа. З'ясовано, що проблему розшарування спирто-бензинової суміші можна вирішити за допомогою використання динамічної кавітації. Наведені результати досліджень зміни октанового числа в залежності від інтенсивності кавітаційного оброблення для газового конденсатного бензину із добавкою біоетанолу. Показана можливість використання газового конденсатного бензину, модифікованого біоетанолом і кавітаційним полем, як високоякісного автомобільного бензину. Доведено, що низькооктанові газоконденсатні бензини можуть бути перетворені у високоякісне моторне паливо модифікацією біоетанолом у кавітаційному полі. Встановлено, що кавітаційне оброблення спирто-бензинової суміші приводить до її гомогенізації та забезпечує стабільність суміші до розшарування не менше 30 діб. Доведено, що при збільшенні вмісту біоетанолу в суміші кількість циклів кавітації (інтенсивність), що необхідна для досягнення сталого значення октанового числа, зменшується від 8 циклів для газоконденсатного бензину без біоетанолу до 4 циклів при вмісті біоетанолу 3% та вище.

**Ключові слова:** газовий конденсатний бензин, біоетанол, динамічна кавітація, фракційний склад, фізична стабільність, октанове число.

DOI: 10.32434/0321-4095-2020-133-6-171-178

### *Вступ*

Конкурентна боротьба серед автовиробників приводить до постійного вдосконалення двигунів внутрішнього згорання: збільшення потужності, зменшення споживання моторного палива, покращення екологічних показників транспортних засобів тощо. Це, у свою чергу, є підґрунтям для формування нових завдань перед виробниками автомобільних палив, у тому числі бензинів. Сучасні автомобільні бензини є сумішшю вуглеводнів різних класів [1]. В Україні якісний склад бензину відповідно до стандарту Євро-5 встановлюється ДСТУ 7687:2015. Відповідно до вимог цього стандарту бензини можуть містити спирти (до 3% метанолу, до 10% етанолу) та до 15% етерів, що можуть бути одер-

жані з цих спиртів. У світі успішно експлуатується транспорт на бензино-спиртових сумішах в різних концентраціях: Е5, Е7, Е10, Е40 та Е85 що містять 5%, 7%, 10%, 40% та 85% етилового спирту відповідно. Лідерами у використанні таких бензино-спиртових сумішей є США, країни Латинської Америки, Китай. Перелік країн, де використовують бензино-спиртові суміші з кожним роком зростає [2]. Відповідно до затвердженого «Технічного регламенту щодо вимог автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив» (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2013 р. № 927) в Україні дозволено використовувати автомобільні бензини Е5, Е7 та Е10.

Сучасні екологічні вимоги до якості моторних палив, а також підвищені вимоги до детонаційної стійкості автомобільних бензинів обумовлюють актуальність додавання спиртовмісних органічних високооктанових добавок до складу бензинів, особливо до газоконденсатних (ГК) бензинів. Для України найбільш перспективною добавкою є біоетанол. Існує сировинна база, розвинута інфраструктура із його виробництва та зрозуміла логістика поставок по території України [3].

Незважаючи на значні досягнення нафтопереробної промисловості, актуальними є дослідження, що спрямовані на покращення економічних та екологічних показників автомобільного транспорту, а також якості автомобільних бензинів, а саме, на збільшення детонаційної стійкості (октанового числа, ОЧ) [1–3].

Додавання спирту, наприклад, етанолу (біоетанолу) до базового ГК бензину дозволяє вирішити обидва завдання. Однак існують деякі проблеми та обмеження: по-перше, можливий вміст спирту обмежений ДСТУ, а по-друге, спиртобензинові суміші є нестабільними до розшарування.

Враховуючи сказане, додавання біоетанолу шляхом механічного змішування може виявитись недостатнім для повного вирішення завдання із підвищення детонаційної стійкості ГК бензину. Тому пошук методів щодо додаткового збільшення ОЧ та запобігання розшарованості бензино-спиртової суміші є актуальним науковим і практичним завданням.

Перспективним є застосування технології кавітаційного оброблення спирт-вуглеводневих сумішей для створення високооктанових бензинів. [2] Кавітаційна обробка на сьогодні використовується досить успішно для вирішення проблеми покращення тих чи інших властивостей як паливних нафтових фракцій, так і товарних нафтопродуктів.

Як відомо, кавітація є явищем виникнення в крапельній рідині бульбашок (порожнин). Якщо зниження тиску здійснюється в наслідок появи великих місцевих швидкостей у потоці рухомої крапельної рідини, то кавітація називається динамічною, а якщо внаслідок проходження у рідинні акустичних хвиль – акустичною. Енергія схлопування бульбашок призводить, зокрема, до гомогенізації продукту, що обробляється. Це є важливим фактором, враховуючи високу схильність бензино-спиртових сумішей до розшарування [3,4].

З огляду [5] впливає, що у світі постійно

зростає обсяг споживання біопалива, в тому числі біоетанолу. Додавання біоетанолу до складу автомобільного бензину через збільшення у реакційному об'ємі додаткового кисню призводить до покращення екологічних показників автотранспорту [3]. Крім того, двигуни внутрішнього згорання, що працюють на такому паливі, не потребують значних переробок.

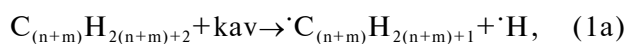
Огляд [6] дозволяє дійти висновку, що введення у бензин біоетанолу шляхом механічного змішування приводить до покращення економічних та екологічних показників техніки. Однак, при цьому виникають складнощі, пов'язані з забезпеченням стійкості до розшарування такого палива. Зусилля дослідників спрямовані на пошук стабілізаторів, що дозволять усунути цей недолік.

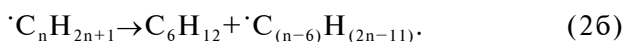
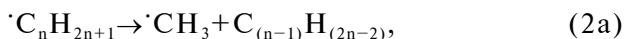
В Україні існує достатньо велика кількість газового конденсату, що утворюється при видобуванні та переробці газу. Одержання з ГК високоякісного моторного палива, а саме високооктанового автомобільного бензину, є важливою задачею. Однак одне тільки введення біоетанолу механічним змішуванням не дозволяє вирішити цю проблему. Відомо, що для змішування різноманітних рідин, в тому числі й тих, що не змішуються, можна використати кавітацію [3,4]. При створенні кавітаційних змішувачів особливо увагу приділяють розрахунку параметрів кавітаційної установки.

У роботі [7] наведена конструкція кавітаційного реактора для переробки вуглеводневої сировини. Особливістю цього реактора є те, що його конструкція дозволяє отримати три зони динамічної кавітації. У роботі [8] показано, що в кавітаційному полі відбувається розкладання перекису водню на гідроксильні радикали, що в подальшому беруть участь у синтезі метанолу. Отже в такому реакторі можна не тільки одержати однорідну рідину з бензину та біоетанолу, а й здійснити хімічні перетворення бензину [9].

Відповідно до теоретичних основ кавітації, в кавітаційних кавернах, які спочатку утворюються при проходженні сировини через кавітаційну форсунку, а потім колапсують, виникають зони високих температур та тисків. Таким чином, кавітаційні каверни можна розглядати як міні-реактори, де відбуваються реакції, подібні до термічного піролізу.

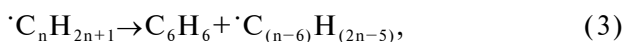
Утворення радикалів з алканів, можливо, відбувається за реакціями термічної дисоціації:





З врахуванням того, що енергія зв'язку між атомами вуглецю в молекулі алкану є майже на 20% меншою за енергію зв'язку між атомами вуглецю та водню, то ймовірність реакції (26) в умовах кавітаційного оброблення є вищою. Такими чином, реакції (1a) та (16) є реакціями зародження ланцюга в радикально-ланцюговій реакції в кавітаційному полі.

Реструктуризація утворених алкільних радикалів в стійкі сполуки може відбуватися за декількома напрямками: утворення олефінів (2a) та циклоаклканів (26) переважно із шістьма атомами вуглецю в циклі; утворення ароматичних сполук (3) та взаємодія з одноатомними первинними спиртами (наприклад, біоетанол) з утворенням простих етерів (4):

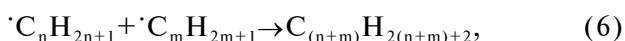


Ланцюгова реакція може уриватися за наступними шляхами:

– взаємодія з матеріалом реактора (в реальних умовах спостерігається незначна корозія устаткування):



– рекомбінація радикалів:



– інші шляхи.

Аналіз потенційно можливих шляхів хімічних перетворень алканів і біоетанолу в кавітаційному полі дозволяє зробити висновок, що продукти кавітаційної переробки є високооктановими компонентами моторних палив. При цьому реакція утворення простих етерів з біоетанолу дозволяє розв'язати проблему стійкості емульсії до розшарування та відкриває новий шлях модифікації низькооктанових автомобільних бензинів біоетанолом.

Авторами праці [10] описано кавітаційну установку для переробки вуглеводневої сировини. Установка дозволяє вести процес перероблення за тиском до 30 МПа. З'ясовано, що пе-

ретворення н-алканів у присутності перекису водню у спирти, а саме в метанол, відбувається при тиску 9–21 МПа. При цьому, максимальна конверсія н-алканів відбувається при тиску 19 МПа.

Досліджено вплив кавітаційного оброблення бензину на зміну його ОЧ [11]. Показано, що при кавітаційній обробці бензину при тиску порядку 20 МПа відбувається збільшення його ОЧ на приблизно 4 одиниці. Відбувається це шляхом перетворення лінійних алканів з низьким ОЧ в ізоалкани та ненасичені вуглеводні, що мають високе ОЧ.

У роботі [12] досліджено вплив перекису водню в кавітаційному полі на процес перетворення лінійних алканів у високооктанові компоненти моторних палив, у тому числі в метанол. Встановлено, що без перекису водню процес переважно протікає в напрямі синтезу толуолу. Його концентрація в продуктах перероблення збільшується до 5%. При введенні в систему водного розчину перекису водню поряд з толуолом утворюються метанол. Концентрація метанолу в умовах експерименту сягає 3%. Визначено масовий склад бензину до та після кавітаційного оброблення. Досліджено зміни в групах вуглеводнів зі складу бензину в залежності від тиску, що відбуваються в процесі перероблення з перекисом водню та без нього. Встановлено, що додавання до складу бензину, що подається на кавітаційне перероблення, перекису водню дозволяє збільшити ОЧ бензину до 14 одиниць.

Таким чином, можна зробити висновок, що розв'язати проблему покращення якості моторних палив, а саме автомобільних газоконденсатних бензинів, можна додаванням до складу базового бензину біоетанолу з подальшою кавітаційним переробленням цієї суміші. Однак процеси, що відбуваються зі спирто-бензиноюю сумішшю у кавітаційному полі, на сьогодні досконально не досліджені.

Метою роботи є визначення впливу вмісту біоетанолу та параметрів кавітаційного поля на ОЧ автомобільних ГК бензинів при їх модифікації у кавітаційному полі.

Завданнями роботи є модернізація лабораторної установки кавітаційної обробки бензинових сумішей для вивчення впливу параметрів кавітації на ОЧ палив, дослідження впливу вмісту біоетанолу на ОЧ ГК бензинів та дослідження впливу кавітації на абсолютний приріст ОЧ бензинових сумішей при різних кількостях добавки біоетанолу.

### Опис лабораторної установки та методологія проведення експерименту

Експериментальні дослідження проводилися на оригінальній лабораторній установці (рис. 1).

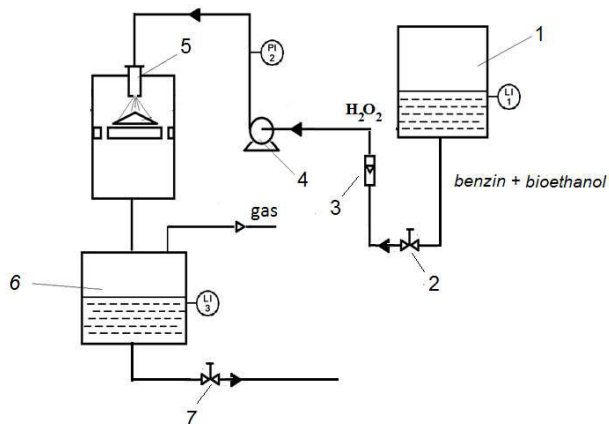


Рис. 1. Схема установки для вивчення впливу кавітації на детонаційну стійкість ГК бензинів: 1 – ємність для сировини; 2 – регулюючий вентиль; 3 – витратомір; 4 – насос високого тиску; 5 – кавітаційний реактор; 6 – ємність для продуктів; 7 – вентиль для відбору проб

До складу установки входить ємність для сировини 1, регулюючий вентиль 2, витратомір 3, насос високого тиску 4, кавітаційний реактор 5, ємність для збору продуктів переробки 6, вентиль для відбору проб 7.

Досліди виконувались таким способом. Заздалегідь приготовлений механічним змішуванням розчин базового ГК бензину з заданим вмістом біоетанолу заливається в ємність 1. З ємності 1 досліджувана суміш через регулюючий вентиль 2 та витратомір 3 подається насосом високого тиску 4 у кавітаційний реактор 5. Особливістю кавітаційного реактора 5 є те, що в ньому створюються відразу три зони кавітації. Перша зона кавітації створюється на виході форсунки. Форсунка являє собою дозвукове сопло Лавала [13]. Швидкість протікання суміші через форсунку кавітаційного реактора має бути більшою за 145 м/с. Після форсунки суміш потрапляє на конусоподібну перешкоду. При відриві з поверхні конуса відбувається друга хвиля кавітації. Далі суміш на високій швидкості спрямовується на стінку реактора, де відбувається третя хвиля кавітації. Внаслідок такого впливу досліджувана суміш перетворюється на туманоподібну субстанцію. Для того, щоб її сконденсувати вико-

ристовується нижня частина реактора, де відбувається різке уповільнення руху суміші. Перероблена таким способом суміш збирається в ємності 6.

Аналіз технологічного процесу покращення показників якості спирто-бензинової суміші у кавітаційному полі дозволив зробити висновок, що вихідні параметри процесу (ОЧ та випаровуваність) регулюються шляхом зміни витрати суміші, вмісту біоетанолу та тиску на вході форсунки, який створюється насосом 4 [14].

Дослідження зміни ОЧ проводились із тиском перед кавітаційною форсункою 9 МПа. Для приготування суміші використовувався біоетанол (96% основного компоненту) та ГК. Як базовий ГК бензин використовувався ГК Кременського родовища. Густина 763,2 кг/м<sup>3</sup>. ОЧ: RON 78,6 одиниць; MON 76,0 одиниць.

Вимірювання ОЧ проводилося октанометром SHATOX SX-150, що працює на базі аналізатора SX-300. Відхилення між паралельними вимірами не перевищували 0,2 пункту. Максимальна похибка вимірювання ОЧ не перевищує 0,5 пункту. Діапазон вимірювання складає 40–135 пунктів. Постійний кавітаційний ефект досягається також шляхом декількох проходжень суміші через кавітаційні форсунки. Зменшення циклів кавітаційного оброблення може досягатися шляхом збільшення тиску на форсунці до 19 МПа, що підтверджено експериментально на дослідно-промисловій установці, де ефективний результат досягався за одну обробку. Більш низький тиск на вході форсунки лабораторної установки обрано для виявлення залежності впливу домішок біоетанолу на процес, що в перспективі може привести до зменшення тиску нижче за 19 МПа при оптимізації процесу для промисловості.

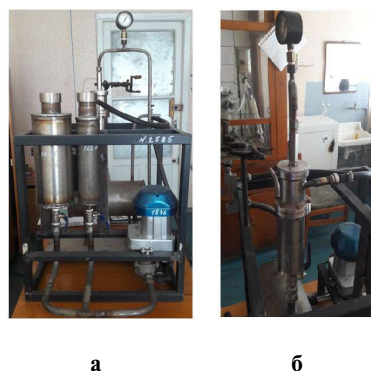


Рис. 2. Фотографія кавітаційної установки: а – загальний вигляд; б – кавітаційний реактор

**Результати експериментальних досліджень**

Важливим джерелом вуглеводнів для одержання автомобільних бензинів є ГК. Використання ГК як автомобільного бензину ускладнено низькими значеннями ОЧ останнього. Результати експериментальних досліджень модифікації ГК біоетанолом у кавітаційному полі наведені в таблиці.

Слід зазначити, що всі вимірювання ОЧ відбулись за температури 20°C. Підвищення температури до 30°C призводить до пропорційного збільшення ОЧ на 2–3 пункти. Зменшення температури нижче 20°C приводить до зменшення ОЧ на 1–1,5 пункти.

Для досягнення сталого значення ОЧ для ГК без додавання біоетанолу вистачило 8 циклів кавітаційної обробки на форсунці тиском 9 МПа. Аналогічна кількість циклів знадобилась і при додаванні 1% біоетанолу. При цьому розшарування суміші не відбулось. При додаванні 2% біоетанолу стале значення ОЧ біло досягнуте вже після чотирьох циклів кавітаційного оброблення. Відразу після кавітатора суміш була гомогенною. Потім (приблизно протягом 1 години) відбулось незначне відшарування водної фази, що зникло на сьомий день зберігання суміші. Гомогенізація суміші, що спостерігається у початковий момент після кавітаційного оброблення, може бути пояснена одночасним диспергуванням та набуттям електростатичного заряду

частинками води, що містилась у вихідному біоетанолі. У процесі зберігання одночасно відбуваються процеси релаксації заряджених частинок а також хімічна взаємодія молекул води з ненасиченими вуглеводневими сполуками, що утворилися в процесі кавітації.

Слід зазначити, що детонаційна стійкість суміші за показниками RON та MON відповідає бензину А-92 при експлуатації його за температури 20°C та вище. Стійке стале значення показників RON та MON, відповідних бензину А-92, за будь-якої нормальної температури експлуатації відбувається при вмісті біоетанолу 3 об.%, і при цьому також достатньо всього чотирьох циклів кавітаційного оброблення. Поведінка суміші аналогічна із попередньою: початкова гомогенізація, розшарування протягом години та наступна повторна гомогенізація за тижень зберігання суміші.

Для досягнення характеристик суміші, аналогічних бензину марки А-95 необхідно 4 об.% біоетанолу (температура експлуатації вище за 20°C) або 5 об.% біоетанолу (будь-яка температура експлуатації) і приблизно 5–6 циклів кавітаційного оброблення. При цьому суміш також гомогенізується після тижневого зберігання, а на дні ємності утворюється мутний осад в кількості не більше 0,1% від загального об'єму суміші. Сама суміш протягом трьох тижнях зберігання не мутніє і не змінює кольору.

**Зміна ОЧ за дослідницьким методом (RON) та за моторним методом (MON) від кількості циклів (інтенсивності) кавітаційного оброблення для ГК із добавкою біоетанолу на кавітаційній форсунці із тиском 9 МПа**

ОЧ, од.	Кількість циклів кавітаційної обробки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газовий конденсат без добавки біоетанолу											
RON	78,6	78,3	78,7	79,0	79,1	79,2	79,2	79,3	79,3	79,5	79,6
MON	76,0	75,8	76,2	76,3	76,4	76,5	76,5	76,6	76,5	76,7	76,7
Газовий конденсат із добавкою 1% об. біоетанолу											
RON	81,1	82,5	83,1	83,6	84,6	84,8	85,5	85,8	86,0	85,5	86,2
MON	77,6	78,4	78,7	78,5	79,6	79,6	79,9	80,0	80,1	79,9	80,2
Газовий конденсат із добавкою 2% об. біоетанолу											
RON	90,8	91,1	91,3	91,3	91,7	91,6	91,4	91,4	91,8	91,6	91,7
MON	82,4	82,5	82,7	82,6	82,8	82,8	82,8	82,7	82,9	82,8	82,9
Газовий конденсат із добавкою 3% об. біоетанолу											
RON	93,9	94,4	94,1	94,4	94,4	94,5	94,5	94,6	94,6	94,7	94,6
MON	84,1	84,4	84,1	84,4	84,4	84,5	84,5	84,6	84,6	84,7	84,6
Газовий конденсат із добавкою 4% об. біоетанолу											
RON	94,9	95,0	95,1	95,1	95,1	95,3	95,7	95,4	95,4	95,5	95,7
MON	84,9	85,0	85,1	85,1	85,1	85,3	85,7	85,4	85,4	85,5	85,7
Газовий конденсат із добавкою 5% об. біоетанолу											
RON	96,3	96,5	96,6	96,9	97,0	97,0	97,0	97,0	96,9	96,8	97,2
MON	86,3	86,7	87,0	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2

Вплив кавітації на приріст ОЧ для суміші ГК та біоетанолу показано на рис. 3.

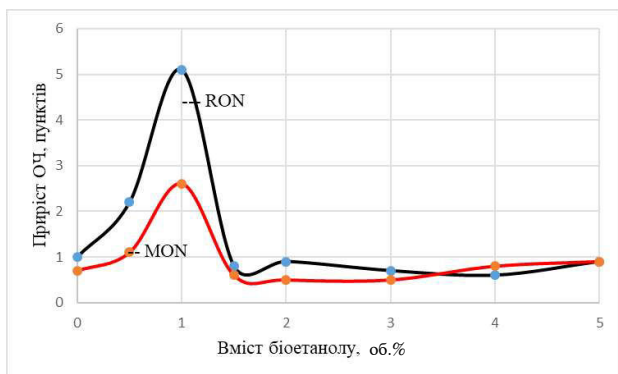


Рис. 3. Зміна приросту ОЧ за дослідницьким методом (RON) та за моторним методом (MON) від вмісту біоетанолу в суміші з ГК при кавітаційному обробленні (тиск перед форсункою 9 МПа)

Згідно з теорією динамічної кавітації при схлопуванні каверн локальне підвищення температури в цьому місці перевищує 1000 К. Але з урахуванням того, що сумарний об'єм каверн є меншим 1% від об'єму суміші, що переробляється, фактичне збільшення температури в реакторі не перевищує 10 К. Для даної лабораторної установки підвищення температури складає до 1 К за один цикл кавітаційного оброблення.

#### Обговорення результатів дослідження

При відсутності добавок біоетанолу ОЧ ГК зросло майже на 1 пункт за дослідницьким методом, та 0,7 пункту за моторним методом при здійсненні 10 циклів кавітаційного оброблення. У середньому відбувалось зростання на 0,1 пункт за кожний цикл оброблення.

Найбільш ефективною виявилась суміш 99% ГК, та 1% біоетанолу. Вже просте механічне змішування ГК та біоетанолу підвищило RON на 2,5 пункти, а MON зросло на 1,7 пункти (табл. 1). Загальний приріст RON при кавітаційного оброблення склав 5,1 (в середньому 0,5 пункти за цикл оброблення) пункти, а MON – 2,6 пункти (в середньому 0,25 пункти за цикл оброблення).

Подальше збільшення кількості біоетанолу в суміші зменшує ефект від кавітаційного оброблення, хоча початкові RON та MON значно вищі. Наприклад, для суміші 97% конденсату та 3% біоетанолу збільшилось майже на 15,3 пункти у порівнянні із чистим ГК, а приріст MON склав 8,1 пункти. Під час кавітаційного оброблення приріст RON та MON склав 0,7 та 0,5 пункти відповідно. Тобто, існує деяка оптималь-

на концентрація біоетанолу в суміші з ГК, за якої кавітаційне оброблення при тиску перед форсункою 9 МПа дає найбільший приріст ОЧ. Експериментально показано, що оптимально концентрація біоетанолу склала 1 об.%.

Будь-яке додавання біоетанолу в досліджуваному діапазоні у поєднанні з кавітаційного оброблення дає ефект у вигляді додаткового збільшення октанового числа у порівнянні з механічним змішуванням. Для концентрації 1% біоетанолу в газоконденсатному бензині цей ефект є максимальним (мова йде про приріст октанового числа, а не про його абсолютне значення).

Також, слід зазначити, що для установки кавітаційної обробки потужністю 0,3–0,6 м<sup>3</sup>/год сировини фактичні енерговитрати складають 3,5 кВт/год.

Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення впливу одноатомних спиртів та їх сумішей на модифікацію ГК бензинів у кавітаційному полі та на техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження в промисловість запропонованого способу модифікації ГК бензинів.

#### Висновки

Низькооктанові ГК бензини можуть бути модифіковані у високоякісне моторне паливо модифікацією біоетанолом у кавітаційному полі. Основними результатами даної роботи:

- модернізовано лабораторну установку кавітаційного оброблення бензинових сумішей для вивчення впливу інтенсивності та кількості циклів кавітації на ОЧ;

- встановлено, що кавітаційне оброблення спирто-бензинової суміші призводить до її гомогенізації та забезпечує стабільність суміші до розшарування не менш 30 діб;

- при збільшенні вмісту біоетанолу в суміші з ГК кількість циклів кавітації (інтенсивність), що необхідна для досягнення сталого значення ОЧ, зменшується від 8 циклів для ГК бензину без біоетанолу, до чотирьох циклів при вмісті біоетанолу 3% та вище;

- для досягнення значень ОЧ суміші ГК та біоетанолу 92–95, необхідно додавати в базовий ГК бензин 2–5 % біоетанолу та провести чотири цикли кавітаційної обробки при тиску перед форсункою 9 МПа;

- найбільш ефективною для дії кавітації виявилась суміш 99% ГК, та 1% біоетанолу, коли загальний приріст RON склав 5 пунктів, а MON 2,6 пункти.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Способи перетворення n-alkanів у високооктанові компоненти для моторних палив: монографія / Целищев О.Б., Лорія М.Г., Кудрявцев С.О., Бойченко С.В., Матвева І.В.* – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2019. – 241 с.

2. *Целищев А.Б., Захаров И.И., Лорія М.Г.* Моторные топлива: кавитационный способ повышения их качества // *Хімічна промисловість України*. – 2014. – № 2(121). – С.39-42.

3. *Дослідження впливу кавітаційної обробки на октанове число бензину / Бойченко С.В., Ланецький В.Г., Черняк Л.М., Радомська М.М., Личманенко О.Г.* // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – 2017. – № 2. – С.107-114.

4. *Main trend of biofuels production in Ukraine / Panchuk M., Kryshchop S., Shlapak L., Kryshchop L., Yarovyi V., Sladkovskiy A.* // *Transport Problems*. – 2017. – Vol.12. – No. 4. – P.95-103.

5. *Черняк Л.М., Бойченко С.В., Нешта М.В.* Порівняльна характеристика випаровуваності бензинів з різним вмістом оксигенатів // *Наукоємні технології*. – 2014. – № 4(24). – С.526-531.

6. *Research of change in fraction composition of vehicle gasoline in the modification of its biodethanol in the cavitation field / Tselishchev A., Loriya M., Boychenko S., Kudryavtsev S., Laneckij V.* // *EUREKA Phys. Eng.* – 2020. – Vol.5. – P.12-20.

7. *Synthesis of methanol from methane in cavitation field / Tselishchev O., Ijagbuji A., Loria M., Nosach V.* // *Chem. Chem. Technol.* – 2018. – Vol.12. – No. 1. – P.69-73.

8. *Целищев А.Б., Лорія М.Г., Захаров И.И.* Анализ физико-химических методов получения гидроксильного радикала // *Вестник ХПИ*. – 2011. – № 65. – С.111-124.

9. *Zakharov I.I., Ijagbuji A.A., Tselishev A.B.* The new pathway for methanol synthesis: Generation of methyl radicals from alkanes // *J. Environ. Chem. Eng.* – 2015. – Vol.3. – P.405-412.

10. *Целищев О., Лорія М.* Дослідження кавітаційної обробки моторних палив // *Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів*. – К.: Центр навчальної літератури, 2017. – Розділ 1. – С.29-32.

11. *Целищев О.Б., Лорія М.Г., Носач В.О.* Дослідження кавітаційного способу перетворення моторних палив // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 4/4(30). – С.26-32.

12. *Целищев О.Б., Лорія М.Г., Бойченко С.В.* Дослідження впливу перексиду водню на перетворення вуглеводнів в кавітаційному реакторі // *Питання хімії та хім. технол.* – 2018. – № 6. – С.148-158.

13. *Tselishev A.B., Loria M.G., Ijagbuji A.A.* Cavitation reactor installation for processing hydrocarbon // *ТЕКА Commiss. Motoriz. Energetics Aricult.* – 2016. – Vol.16(2). – P.37-42.

14. *Transformation of n-alkanes of gasoline into components of motor fuels in cavitation field / Tselishchev O.B., Loria M.H., Boichenko S.V., Nosach V.O., Shkilniuk I.O.* // *ТЕКА Commiss.*

*Motoriz. Energetics Aricult.* – 2017. – Vol.17(2). – P.25-30.

15. *Ивченко В.М., Кулагин В.А., Немчин А.Ф.* Кавитационная технология. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1990. – 200 с.

Надійшла до редакції 31.08.2020

## MODIFICATION OF MOTOR GASOLINE WITH BIOETHANOL IN THE CAVITATION FIELD

*O.B. Tselishev<sup>a,\*</sup>, S.O. Kudryavtsev<sup>a</sup>, M.G. Loria<sup>a</sup>, S.V. Boychenko<sup>b</sup>, V.G. Lanetsky<sup>b</sup>, I.V. Matveeva<sup>b</sup>, S.V. Leonenko<sup>a</sup>, M.A. Tselishcheva<sup>a</sup>*

<sup>a</sup> Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

<sup>b</sup> National Aviation University, Kyiv, Ukraine

\* e-mail: atp00@ukr.net

The article presents the results of the study on the influence of bioethanol content and parameters of cavitation field on the octane number of motor natural gasoline. The effects of the parameters of cavitation field on the modification of fuel and the changes of qualitative and quantitative composition of gasoline were investigated. The influence of the content of a biocomponent on the increase in the octane number was established. It was stated that the problem of the phase separation in alcohol-gasoline mixture can be solved by means of dynamic cavitation. The paper presents the results of the study of the change of octane number as a function of the intensity of cavitation treatment for gas condensate gasoline with addition of bioethanol. The physical stability of gas condensate and bioethanol mixture after cavitation treatment is investigated. It was shown that the gas condensate gasoline modified with bioethanol and cavitation field can be used as a high-quality motor gasoline. It was stated that low-octane gas condensate gasoline can be transformed into high-quality motor fuel by means of modification with bioethanol in the cavitation field. It was established that the alcohol-gasoline cavitation treatment leads to the homogenization and provides at least 30 days' mixture stability before separation. With increasing bioethanol content in the mixture, the number of cavitation cycles (intensity) required to achieve a constant octane number value decreases from 8 cycles for gas condensate gasoline without bioethanol to 4 cycles at the content of bioethanol of 3% and above.

**Keywords:** natural gasoline; bioethanol; dynamic cavitation; fractional content; physical stability; octane number.

## REFERENCES

1. Tselishchev O.B., Loria M.G., Kudryavtsev S.O., Boychenko S.V., Matveeva I.V., *Sposoby peretvorenn'ya n-alkaniv u visokooktanovi komponenty dl'ya motornykh palyv* [Methods of converting n-alkanes into high-octane components for motor fuels]. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University Publishers, Severodonetsk, 2019. 241 p. (*in Ukrainian*).

2. Tselishchev A.B., Zakharov I.I., Loria M.G., Yelisyeyev P.Y., Nosach V.A., Ijagbuji A.A. *Motornye topliva: kavitatsionnyi sposob povysheniya ikh kachestva* [Motor fuels: cavitation method to improve their quality]. *Khimichna Promislovist Ukrayiny*, 2014, vol. 2, no. 121, pp. 39-42. (*in Russian*).

3. Bojchenko S.V., Laneczkiy V.G., Chernyak L.M., Radomska M.M., Lichmanenko O.G. Doslidzhennya vplyvu kavitatsziinoyi obroby na oktanove chyslo benzynu [Study of the effect of cavitation treatment on the octane number of gasoline]. *Energetika: Ekonomika, Tekhnologii, Ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 107-114. (in Ukrainian).
4. Panchuk M., Kryshchyna S., Shlapak L., Kryshchyna L., Yarovy V., Sladkovskiy A. Main trend of biofuels production in Ukraine. *Transport Problems*, 2017, vol. 12, no. 4, pp. 95-103.
5. Chernyak L.M., Bojchenko S.V., Neshta M.S. Porivnyal'na kharakterystyka vparovuvannosti benzyniv z riznym vmistom oksigenativ [Comparative characteristic of evaporation of gasolines with different content of oxygenates]. *Naukovyemni Tekhnologii*, 2014, vol. 4, no. 24, pp. 526-531. (in Ukrainian).
6. Tselishchev A., Loria M., Boychenko S., Kudryavtsev S., Laneckij V. Research of change in fraction composition of vehicle gasoline in the modification of its biodethanol in the cavitation field. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2020, vol. 5, pp. 12-20.
7. Tselishchev O., Ijagbuji A., Loria M., Nosach V. Synthesis of methanol from methane in cavitation field. *Chemistry & Chemical Technology*, 2018, vol. 12, pp. 69-73.
8. Tselishchev A.B., Loria M.G., Zakharov I.I. Analiz fiziko-khimicheskikh metodov polucheniya gidroksil'nogo radikala [Analysis of physicochemical methods for preparation of hydroxyl radical]. *Vestnik NTU KhPI*, 2011, vol. 65, pp. 111-124. (in Russian).
9. Zakharov I.I., Ijagbuji A.A., Tselishev A.B., Loria M.G., Fedotov R.N. The new pathway for methanol synthesis: generation of methyl radicals from alkanes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2015, vol. 3, pp. 405-412.
10. Tselishchev O., Loria M. Doslidzhennya kavitatsziinoyi obroby motornykh palyv [Study of cavitation treatment of motor fuels]. In: S. Boychenko (ed.) *Problemi Khimotologii. Teoriya ta Praktika Ratsional'nogo vykorystann'ya tradytsiinykh i A'lternatyvnykh Palyvno-Mastylnykh Materialiv* [Problems of chemotology: theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels and lubricants]. Tsentr Navchal'noyi Literatury Publshers, Kyiv, 2017, chapter 1, pp. 29-32. (in Ukrainian).
11. Tselishchev O., Loria M., Nosach V. Doslidzhennya kavitatsiinogo sposobu peretvorenniya motornykh palyv [Investigation of the cavitation method of motor fuel conversion]. *Tekhnologicheskii Audit i Rezervy Proizvodstva*, 2016, vol. 4, no. 4(30), pp. 26-32. (in Ukrainian).
12. Tselishchev O.B., Loria M.H., Boichenko S.V., Yeliseiev P.Y., Matvieieva I.V. Doslidzhennya vplyvu peroksydu vodnyu na peretvorenniya vuglevodniv v kavitatsiinomu reaktori [Research on the influence of hydrogen peroxide on the transformation of carbohydrates in a cavitation reactor]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2018, no. 6, pp. 148-158. (in Ukrainian).
13. Tselishchev A.B., Loria M.G., Ijagbuji A.A. Cavitation reactor installation for processing hydrocarbon. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 37-42.
14. Tselishchev O.B., Loria M.H., Boichenko S.V., Nosach V.O., Shkilniuk I.O. Transformation of n-alkanes of gasoline into components of motor fuels in cavitation field. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 25-30.
15. Ivchenko V.M., Kulagin V.A., Nemchin A.F., *Kavitatsionnaya tekhnologiya* [Cavitation technology]. Krasnoyarskii Universitet Publishers, Krasnoyarsk, 1990. 200 p. (in Russian).