

Р. О. БОНДАР

аспірант кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0008-9383-4130

І. А. ГРИШКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-5709-1359

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВАЖКИХ НАФТОПРОДУКТІВ

Стаття присвячена аналізу інноваційних рішень у сфері переробки важких нафтопродуктів за допомогою ультразвукової кавітації. У роботі підкреслюються переваги методу кавітаційного гідрування порівняно з іншими технологіями переробки нафтопродуктів. Зростаюча кількість досліджень та публікацій вказує на актуальність цього питання в міжнародному науковому середовищі. Наведено приклади успішного використання кавітації для зменшення сірковмісності сирової нафти та її трансформації у легші продукти з нижчою молекулярною масою. Особлива увага приділена вітчизняним розробкам, серед яких відзначено установку для ультразвукового крекінгу вуглеводневих сполук, яка демонструє конкурентні переваги.

Метою статті є визначення стану розвитку технологій кавітаційного гідрування в світі та в Україні через аналіз інноваційних розробок, зареєстрованих у відповідних профільних установах. Для аналізу було використано патентні бази, такі як Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій, PATENTSCOPE та Espacenet.

Стаття надає детальну картину розвитку технологій впливу ультразвукової кавітації на важкі вуглеводні на основі аналізу патентних джерел, що підтверджує зростаючу популярність цієї теми у світовій науковій спільноті. Згідно з проведеним пошуком, найбільша кількість патентів у цій сфері зареєстрована в Китаї, США та Канаді. Показано, що в Україні питання переробки важких нафтопродуктів залишається відкритим, проте існують перспективні дослідження.

Проведений аналіз показав, що зростає кількість патентів і розробок, спрямованих на застосування кавітації в переробці важких нафтопродуктів. Технології кавітаційного гідрування набули розвитку з 1970-х років, а за останні десятиліття відбувся суттєвий прогрес. Це вказує на перспективність цього напрямку у нафтопереробній галузі, де провідну роль відіграють Китай та США.

Ключові слова: кавітація, ультразвук, кавітаційне гідрування, переробка мазуту, переробка нафти, кавітаційна переробка мазуту.

R. O. BONDAR

Postgraduate Student at the Department of Applied Hydroaeromechanics
and Mechatronics
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0008-9383-4130

I. A. HRYSHKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Applied Hydroaeromechanics
and Mechatronics
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-5709-1359

ANALYSIS OF THE STATE OF INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE FIELD OF ULTRASONIC CAVITATION'S IMPACT ON HEAVY OIL PRODUCTS

The article is dedicated to the analysis of innovative solutions in the field of heavy oil product processing using ultrasonic cavitation. The paper emphasizes the advantages of cavitation hydrotreatment compared to other oil processing technologies. The increasing number of studies and publications indicates the relevance of this issue in the

international scientific community. Examples of successful use of cavitation to reduce the sulfur content of crude oil and its transformation into lighter products with lower molecular weight are provided. Special attention is given to domestic developments, including the ultrasonic cracking unit for hydrocarbon compounds, which demonstrates competitive advantages.

The aim of the article is to assess the state of development of cavitation hydrotreatment technologies on both global and Ukrainian levels through the analysis of patent data. It is shown that in Ukraine, the issue of heavy oil product processing remains open, although there are promising studies. For the analysis, patent databases such as the Ukrainian National Office of Intellectual Property and Innovation, PATENTSCOPE, and Espacenet were used. According to the search, the largest number of patents in this field is registered in China, the USA, and Canada.

The analysis showed a growing number of patents and developments focused on the application of cavitation in the processing of heavy oil products. Cavitation hydrotreatment technologies have developed since the 1970s, and significant progress has been made in recent decades. This indicates the potential of this direction in the oil refining industry, where China and the USA play leading roles. The article provides a detailed picture of the development of technologies related to ultrasonic cavitation's impact on heavy hydrocarbons based on patent sources, confirming the increasing popularity of this topic in the global scientific community.

Key words: cavitation, ultrasonic, cavitation hydration, fuel oil processing, oil processing, cavitation fuel oil processing.

Постановка проблеми

Стабільна енергетична система є важливим елементом сучасної країни. Найбільш поширеним джерелом енергії є нафтопродукти. Через зниження доступності легких сортів нафти та зростаючу потребу у високоефективних методах їх перетворення постає питання у застосуванні ефективної переробки важких нафтопродуктів. Також галузь нафтопереробки стикається зі значними викликами, пов'язаними з ефективністю використання природних ресурсів та впровадженням новітніх технологій для зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Тому питання ефективної переробки важких нафтопродуктів стає все більш актуальним [1-4]. Традиційні технології переробки важких вуглеводнів потребують значних енергетичних та матеріальних ресурсів, що робить їх малоефективними в умовах сучасних ринкових та екологічних вимог [5-7].

Окрім цього, глобальні процеси енергетичної трансформації та прагнення до енергетичної незалежності стимулюють розвиток інноваційних рішень для обробки важких нафтопродуктів. Одним з таких рішень є кавітаційне гідрування, що забезпечує ефективне зменшення молекулярної маси та вмісту шкідливих домішок, таких як сірка, у важкій сирій нафті [8]. Однак, питання впровадження та масштабування таких технологій у виробничий процес в Україні та світі залишається відкритим через обмежену кількість досліджень та патентів у цій сфері, що вимагає глибшого вивчення та аналізу.

Тому, актуальним є дослідження ринку інноваційних технологій кавітаційного гідрування та визначення їх потенціалу для впровадження у нафтопереробну галузь як в Україні, так і на світовому рівні.

Метод кавітаційного гідрування важких нафтопродуктів має ряд переваг над іншими методами [8]. Тому, актуальним є питання дослідження ринку технології переробки важких нафтопродуктів за допомогою ультразвукової кавітації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні роки зросла кількість публікацій, в більшості іноземних дослідників, щодо інноваційних рішень в технологіях переробки важких нафтопродуктів. Так, в роботі Хан М Рашида «Перетворення важкої кислій сирій нафти/емульсії на легшу сиру нафту за допомогою кавітації та систем на основі фільтрації» наведено процес перетворення важкої сірковмісної сирій нафти в більш легку сиру нафту з меншим вмістом сірки і меншою молекулярною масою. Процес є низькотемпературним процесом з використанням контрольованої кавітації. Одними з важливих етапів даної технології є кавітація та фільтрація дисперсійного потоку в присутності газоподібного водню для отримання змішаного потоку, контроль кавітаційного тиску та температури кавітації під час етапу кавітації та фільтрації таким чином, щоб кавітаційний тиск підтримувався в основному в межах заздалегідь визначеного діапазону тиску, а температура кавітації підтримувалася в межах попередньо визначеного діапазону температур [9]. Про актуальність та реалізацію інноваційних рішень в галузі кавітаційного гідрування свідчить і вітчизняна розробка О.В. Войтовича «Установка для ультразвукового крекінгу вуглеводневих сполук», яка має ряд переваг у порівнянні з іншими методами переробки важких вуглеводнів [10].

Формулювання мети дослідження

Метою є визначення стану та кількості методів переробки важких нафтопродуктів за допомогою кавітаційного гідрування в Україні та світі, базуючись на проведеному патентно-інформаційному пошуку.

Викладення основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день в Україні відкрите питання енергетичної незалежності та видобуток вуглеводневого палива. Також постає питання у зміні підходів та методів в отриманні більшої кількості легких фракцій нафтопродуктів. Відповідно було проведено пошук наявних розробок та патентів в Україні. Їх кількість за запитом

«нафта та кавітація або ультразвук» в базі «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» в Україні сягає 4 (рис. 1–2).

Результати пошуку

Сортувати за: [11] + [21] + [22] + [46] +

Результати 1 - 4 з 4

1 СПОСІБ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КРЕКІНГУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СПОЛУК

Декларований патент на винахід | в кошик | патент не діє

(11) Номер патенту:	37716 A	(51) МПК (2006):	C10G 15/00
(21) Номер заявки:	2000041976	(72) Винахідник:	Родонов Валерій Євгенович (UA); Бенгер Євген Федорович (UA)
(22) Дата подання заявки:	06.04.2000	(73) Власник:	ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПЕВРОБІДНИКІВ НАН УКРАЇНИ, 03028, м. Київ-28, просп. Науки, 45, Інститут фізики напелвродників НАН України, патентний відділ (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права:	15.05.2001		

Патент опубліковано 15.05.2001, Бол. № 4/2001

7 СПОСІБ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КРЕКІНГУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СПОЛУК

Декларований патент на винахід | в кошик | патент не діє

(11) Номер патенту:	41575 A	(51) МПК (2006):	C10G 15/00
(21) Номер заявки:	2000074495	(72) Винахідник:	Родонов Валерій Євгенович (UA); Бенгер Євген Федорович (UA)
(22) Дата подання заявки:	26.07.2000	(73) Власник:	ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПЕВРОБІДНИКІВ НАН УКРАЇНИ, 03028, м. Київ-28, просп. Науки, 45, Інститут фізики напелвродників НАН України, патентний відділ (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права:	17.09.2001		

Патент опубліковано 17.09.2001, Бол. № 8/2001

Рис. 1. Результати пошуку в базі «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» частина 1 [11]

3 ПРИСТРІЙ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК І СИСТЕМА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ КРЕКІНГУ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Патент України (на 20 р.) | в кошик | патент не діє

(11) Номер патенту:	50002	(51) МПК (2006):	B01J 19/10 (2006.01); C10G 15/00
(21) Номер заявки:	2001107122	(72) Винахідник:	Прийцин Віктор Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки:	19.10.2001	(73) Власник:	ПРИЙЦИН ВІКТОР ІВАНОВИЧ (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права:	15.10.2002		

Патент опубліковано 15.10.2002, Бол. № 10/2002

4 УСТАНОВКА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КРЕКІНГУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СПОЛУК (ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ)

Патент на винахід

(11) Номер патенту:	92137	(51) МПК (2014.01):	C10G 3/00, C10G 7/00, C10G 37/00, C07C 15/00, C10G 15/00
(21) Номер заявки:	1201304638	(72) Винахідник:	Войтович Олександр Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки:	12.04.2013	(73) Власник:	ВОЙТОВИЧ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ, вул. 6 липня, 26, кв. 2, м. Ірпінь, Київська обл., 06200 (UA); ГОПІЛСВ ЮРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, вул. Молодіжна, 22, с. Муратово, Новоодарський р-н, Луганська обл., 93535 (UA); ЕЕСТЯВ ЛЕМБІТ, Kaupmehe 2-1, Tallinn 10114, Eesti (ES)
(24) Дата, з якої є чинними права:	11.08.2014		

Патент опубліковано 11.08.2014, Бол. № 15/2014

Рис. 2. Результати пошуку в базі «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій» частина 2 [11]

Також було проведено аналіз патентів та винаходів у світі. Для здійснення пошуку підготовлено пошуковий запит за ключовими словами для визначення коду міжнародної патентної класифікації (МПК), згідно якого далі буде проводитись власне пошук. Як ключові слова було обрано «Cavitation hydrotreatment heavy oil», «Cavitation oil recovery method», «Cavitation technology for heavy oils», «Hydrodynamic cavitation of heavy oil products», «Ultrasonic cavitation for fuel oil», «Cavitation method for obtaining synthetic oil». Відповідно до перелічених вище ключових слів, обрано рубрику МПК:

C10G – Крекінг вуглеводневих масел: виготовлення рідких вуглеводневих сумішей, наприклад, шляхом деструктивного гідрогенізування, олігомеризування, полімеризування.

Оскільки дана рубрика включає широкий спектр методів переробки вуглеводнів, запит було сформовано наступним чином: «C10G AND heavy oil AND cavitation AND (hydrotreatment OR Hydrodynamic OR Ultrasonic)». Використовуючи патентну базу PATENTSCOPE отримано результати представлені на рисунку 3.

Згідно з аналізом проведеним у базі PATENTSCOPE, найбільша кількість патентів та винаходів за даним пошуковим запитом у Китаї – 9, США – 5 та Канаді – 3.

Country	Applicant	Inventor	IPC code	Publication Date
China	EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY	SUO XUDANG	C10G	2018
United States of America	SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE	JAMES WOOD	B01J	2018
ICT		NICHEL DAAGE	B01F	2017
Canada	FRACAL SYSTEMS INC	JATRIK LORING HANKS	F10	2018
Russian Federation	CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM BEIJING	SERGO TREVINO	C08B	2019
Mexico	ENERGY RAP VORTEX SERVICES SA DE CV	THOMAS FRANCIS DESMAN, JR.	C10L	2020
European Patent Office		GALEIV VLADIMIREVICH		
	NICHEL DAAGE	CHORNET ESTIBAN		
	PATRICK LORING HANKS	CHORNET, MICHEL		2023
	THOMAS FRANCIS DESMAN JR	DAAGE NICHEL		
	CHINA PETROLEUM AND CHEMICAL CO			
	CHORNET ESTIBAN			

Рис. 3. Кількість патентів в галузі впливу ультразвукової кавітації на важкі нафтопродукти у базі PATENTSCOPE за першим запитом [12]

Виходячи з того, що представлена вище рубрика була дуже вузькою, запит було сформовано наступним чином: «C10G AND heavy oil AND (cavitation OR hydrotreatment OR Hydrodynamic OR Ultrasonic)». Це дало значно більше результатів, що представлено на рисунку 4.

Китай	203	CHINA PETROLEUM AND CHEMICAL CO	104	LIU TAO	36	C10G	17	2015	32
Соединенные Штаты Америки	55	SINOPEC CO RESEARCH INSTITUTE OF PETROLEUM PROCESSING	44	YANG QINGHE	33	B01J	03	2016	15
ICT	38			HU DAMEI	29	C10L	12	2017	18
Япония	27			SUN SHULING	27	C10B	10	2016	17
Российская Федерация	22	SINOPEC DALLAN RESEARCH INSTITUTE OF PETROLEUM AND PETROCHEMICALS	17	SHAO ZHICAI	16	C08B	5	2020	17
Нидерланды	5			WANG ZHEN	14	B01F	4	2021	11
Канада	4	INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	11	DENG ZHONGHUO	11	C10C	4	2022	13
Германия	4			LIU TIEBIN	11	C07C	1	2023	26
Европейское патентное ведомство (EPTB)	3	SINOPEC FUSHUN RESEARCH INSTITUTE OF PETROLEUM AND PETROCHEMICALS	11	GENG XINGUO	12	F10	3	2024	1
Италия	2	ENI SPA	10						
		IFP ENERGIES NOUVELLES	10						
		SHELL OIL COMPANY	11						
		CHINESE PETROCHEMICAL INDUSTRY LIMITED COMPANY	8						
		IDEHITSU KOSAN CO LTD	8						

Рис. 4. Кількість патентів в галузі впливу ультразвукової кавітації на важкі нафтопродукти у базі PATENTSCOPE за розширеним запитом [12]

Це дало значно більше результатів, а саме знайдено 371. Найбільша кількість патентів та розробок представлена у Китаї – 203, США – 55 та Японія – 22 (Рис. 4).

Також був проведений пошук за запитом: «C10G AND heavy oil AND (cavitation OR hydrotreatment OR Hydrodynamic OR Ultrasonic)» в базі Espacenet. В результаті отримали результат патентів у кількості 446. Відповідно був сформований представлений графік на рисунку 5.

З графіків видно, що такі технології почали розвиватись з початку 70-х років минулого століття. Зі здійсненого аналізу слідує, що існує тенденція стрімкого розвитку у дослідженні та впровадженні технологій впливу кавітації та ультразвуку на важкі нафтопродукти, що вказує на те, що дана технологія розвивається і кількість досліджень в напрямку застосування кавітації на важкі вуглеводневі сполуки зростає.

Також сформовано пошуковий запит «SPUB=(ATAC=(heavy oil AND cavitation AND (hydrotreatment OR Hydrodynamic OR Ultrasonic)) and IC=(C10G))» в комерційній базі Patbase. Результати представлені на рисунку 6.

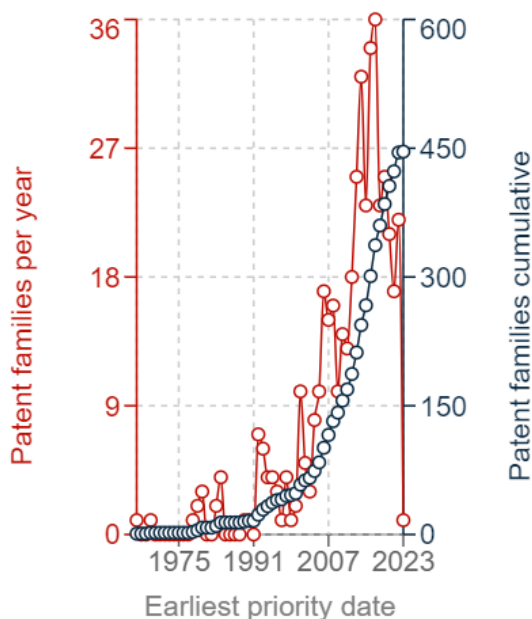


Рис. 5. Динаміка патентування рішень у галузі впливу ультразвукової кавітації на важкі нафтопродукти у світ [13]

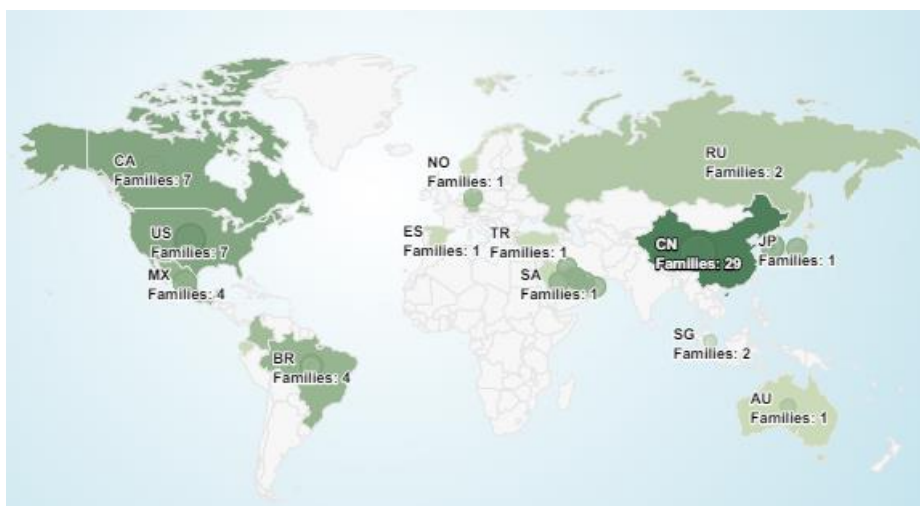


Рис. 6. Топ 20 юрисдикцій за родинями, заявами та грантами відповідно до комерційної бази Patbase [14]

Як видно з рисунку, найбільше патентних документів, таких як заявки на отримання патенту, звіти про пошук та патенти у Китаї. Також лідерами в розвитку даних технологій США та Канада.

Висновки

Незважаючи на те, що переробка нафти є одним з вирішальних процесів у світовій економіці і кількість запасів легкої нафти зменшується з кожним роком, кількість запатентованих технологій пов'язаних з впливом ультразвукової кавітації на важкі нафтопродукти в Україні є достатньо низькою.

Виходячи з проведеного аналізу слідє, що технологія кавітаційного гідрування важких нафтопродуктів у світі з кожним роком розвивається і кількість робіт по даній темі збільшується. Відповідно до проведеного аналізу у пошукових базах видно, що лідерами в розвитку даної технології є Китай та США. Також кількість патентних робіт та винаходів розроблених у світі по темі впливу кавітації та ультразвуку на важкі вуглеводні вказує на те, що дана технологія має перспективи і в цій галузі проводиться велика кількість досліджень.

Список використаної літератури

1. Top Lead. Довідник «Енергетика України». Київ, 2020. 30 с.
2. Мачинський О. Я., Топільницький П. І. Гідрокрекінг. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 348 с.
3. Склабінський В. І., Ляпощенко О. О., Артюхов А. Є. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навч. посіб. / за ред. В. І. Склабінського. Суми: Сум. держ. ун-т, 2011. 187 с.
4. Саранчук В. І. Хімія і фізика горючих копалин / Ільшов М. О., Ошовський В. В., Білецький В. С. Донецьк: Схід. вид. дім, 2008. 600 с.
5. Курта С. А. Основи нафтохімії: навч. посіб. ДВНЗ «Прикарпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника», 2020. 196 с.
6. Шевчук В. Я., Чеботько К. О., Разгуляев В. М. Біотехнологія одержання органіномінеральних добрив із вторинної сировини. Київ: ІСД МО, 2001. 214 с.
7. Білецький В. С., Бойко В. С., Букін С. Л. Мала гірнична енциклопедія. Т. 2 / за ред. В. С. Білецького. Донецьк: Донбас, 2007. 652 с.
8. Войтович О. В. Практична реструктуризація вуглеводнів та вуглеводів. Київ, 2018. 77 с.
9. Патент США № 8691083B2, 2014. Cavitation reactor for hydrotreatment of heavy oil / Lawrence W. Holbrook, Stuart I. Mitchell, Marco A. Castaneda-Zaldivar, James P. Hall, Igor S. Litvinenko, M. Rashid Khan. Опубліковано 08.04.2014.
10. Патент на корисну модель № 92137, Україна, МПК C10G 75/04. Спосіб підвищення ефективності процесу термічної переробки нафтопродуктів / Войтович О. В., Горкун Ю. В., Білецький О. О. Опубліковано 25.07.2014.
11. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>.
12. Всесвітня організація інтелектуальної власності. Патентна база «PATENTSCOPE» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid.
13. Патентна база «Espacenet» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://worldwide.espacenet.com/>.
14. Патентна база «PatBase» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.patbase.com>.

References

1. Top Lead. (2020). *Energy of Ukraine*. Kyiv.
2. Machynskyi, O. Ya., & Topilnytskyi, P. I. (2011). *Hydrocracking*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House.
3. Sklabinskyi, V. I., Lyaposhchenko, O. O., & Artyukhov, A. Ye. (2011). *Technological fundamentals of oil and gas processing* (V. I. Sklabinskyi, Ed.). Sumy: Sumy State University.
4. Saranchuk, V. I., Ilyashov, M. O., Oshovskiy, V. V., & Biletskyi, V. S. (2008). *Chemistry and physics of combustible minerals*. Donetsk: Skhid Publishing House.
5. Kurta, S. A. (2020). *Fundamentals of petrochemistry*. Precarpathian National University named after V. Stefanyk.
6. Shevchuk, V. Ya., Chebotko, K. O., & Razhulyayev, V. M. (2001). *Biotechnology for the production of organomineral fertilizers from secondary raw materials*. Kyiv: ISD MO.
7. Biletskyi, V. S., Boiko, V. S., & Bukin, S. L. (2007). *Small mining encyclopedia* (Vol. 2, V. S. Biletskyi, Ed.). Donetsk: Donbas.
8. Voitovych, O. V. (2018). *Practical restructuring of hydrocarbons and carbohydrates*. Kyiv.
9. Holbrook, L. W., Mitchell, S. I., Castaneda-Zaldivar, M. A., Hall, J. P., Litvinenko, I. S., & Khan, M. R. (2014). Cavitation reactor for hydrotreatment of heavy oil (US Patent No. 8691083B2). Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US8691083B2/en>
10. Voitovych, O. V., Horkun, Yu. V., & Biletskyi, O. O. (2014). Method of increasing the efficiency of the thermal processing of oil products (Utility Model Patent No. 92137, Ukraine, IPC C10G 75/04). Retrieved from <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>
11. Ukrainian Institute of Intellectual Property. (n.d.). *Patent search database*. Retrieved from <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>
12. World Intellectual Property Organization. (n.d.). *Patent database "PATENTSCOPE"*. Retrieved from https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid
13. Patent Database "Espacenet". (n.d.). *Patent search database*. Retrieved from <https://worldwide.espacenet.com/>
14. Patent Database "PatBase". (n.d.). *Patent search database*. Retrieved from <https://www.patbase.com/>