

11. Yu, W. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications [Text] / W. Yu, H. Xie // Journal of Nanomaterials. – 2012. – Vol. 2012. – P. 1–17. doi: 10.1155/2012/435873
12. Konynenburg, P. H. V. Critical lines and phase equilibria in binary van der Waals mixtures [Text] / P. H. V. Konynenburg, R. L. Scott // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 1980. – Vol. 298, Issue 1442. – P. 495–540. doi: 10.1098/rsta.1980.0266
13. Nishigaki, K. Ultrasonic Study of Critical Mixing of n-Heptane and Nitrobenzene [Text] / K. Nishigaki // Journal of the Physical Society of Japan. – 1980. – Vol. 45, Issue 1. – P. 182–190. doi: 10.1143/jpsj.45.182
14. Fameli, N. Coexistence curve of the n-heptane+nitrobenzene mixture near its convolute point measured by an optical method [Text] / N. Fameli, D. Balzarini // Physical Review B. – 2007. – Vol. 75, Issue 6. – P. 064203–064212. doi: 10.1103/physrevb.75.064203
15. Железний, В. П. Влияние наночастиц на параметры фазовых равновесий жидкость – жидкость. Часть 1 [Текст] / В. П. Железний, П. В. Борзенков // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – Т. 6, № 152. – С. 4–9.
16. Peng, D. Y. A New Two-Constant Equation of State [Text] / D. Y. Peng, D. B. Robinson // Industrial and Engineering Chemistry: Fundamentals. – 1976. – Vol. 15, Issue 1. – P. 59–64. doi: 10.1021/i160057a011
17. Molerup, J. Calculation of thermodynamic equilibrium properties [Text] / J. Molerup, M. Michelsen // Fluid phase equilibria. – 1992. – Vol. 74. – P. 1–15. doi: 10.1016/0378-3812(92)85049-e

Вивчені склад і основні властивості нафтових шламів, утворених в результаті переробки нафти на нафтопереробних заводах. Вивчені основні закономірності процесу термічної деструкції органічної частини нафтошламів та процесу одержання окиснених нафтових бітумів з використанням залишку цього процесу. Запропоновано комплексну поточну схему переробки нафтових шламів

Ключові слова: нафтовий шлам, термічна деструкція, окиснений бітум, нафтопереробний завод, екологічна безпека

Изучен состав и основные свойства нефтяных шламов, образованных в результате переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах. Изучены основные закономерности процесса термической деструкции органической части нефтешламов и процесса получения окисленных нефтяных битумов с использованием остатка этого процесса. Предложена комплексная текущая схема переработки нефтяных шламов

Ключевые слова: нефтяной шлам, термическая деструкция, окисленный битум, нефтеперерабатывающий завод, экологическая безопасность

УДК 502.7:665.612:665.637.8

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37502

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ НАФТОШЛАМІВ

С. В. Вдовенко

Аспірант*

E-mail: vdovenko1@gmail.com

С. В. Бойченко

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: test@nau.edu.ua

*Кафедра екології

Інституту екологічної безпеки

Національний авіаційний університет

пр. Космонавта Комарова, 1,

м. Київ, Україна, 03680

1. Вступ

Під час переробки нафти на нафтопереробних заводах (НПЗ) утворюється значна кількість нафтових шламів. В умовах роботи нафтопереробних заводів вони знаходяться у спеціально відведених для них місцях – амбарах-накопичувачах, спеціальних ставках-відстійниках тощо. Явище утворення нафтошламів є негативним з двох причин. По-перше, вуглеводні, які входять до складу нафтошламів, відносять до втрат вуглеводнів на НПЗ, що в свою чергу знижує глибину переробки нафти. По-друге, відкриті ємності для зберігання нафтошламів є значною загрозою для навколишнього середовища через постійне випаровування вуглеводнів і забруднення повітряного простору,

а також через забруднення ґрунтів і ґрунтових вод небезпечними компонентами [1]. Тому розробка методів утилізації нафтошламів та раціонального використання окремих його компонентів з метою одержання товарних нафтопродуктів або проміжних нафтових фракцій є дуже актуальною сьогодні.

2. Аналіз досліджень і публікацій

Відомо, що нафтові шлами в результаті тривалого зберігання в ставках-накопичувачах розділяються на декілька шарів, які суттєво відрізняються за своїми складом і властивостями. Зверху ставка знаходиться нафтомасутний шар, що складається в основному з органічної

(вуглеводневої) частини та порівняно незначної кількості води і механічних домішок. До складу середнього (водного) шару входить вода, забруднена нафтопродуктами і механічними домішками. Під водним шаром знаходяться власне шари нафтошляму, склад яких також залежить від глибини залягання в ставку-накопичувачі [2].

Проблему утилізації нафтошляму неодноразово пробували вирішити багато вчених. Зроблено спроби вивчити склад та властивості нафтошляму, запропоновано класифікацію методів утилізації нафтових шляму, описані їхні переваги та недоліки [3, 4]. Основою всіх технологій є вирішення питання відділення органічної частини нафтошляму методами відстоювання, фільтрування або центрифугування [5, 6]. Виділена з нафтошляму органічна частина може використовуватися як компонент котельного палива [7], однак це негативно впливає на властивості останнього, а також збільшує кількість шкідливих викидів у довкілля. Одним з напрямків переробки нафтошляму є використання їх у виробництві будівельних матеріалів [8], мастильних матеріалів [9], або як сировини для процесів піролізу та коксування [10, 11] для одержання газів і дистилатів. Усі ці методи вивчені недостатньо, тому проблема переробки нафтошляму до цього часу залишається невирішеною.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження нових методів переробки нафтошляму є покращення рівня економічних та технологічних показників нафтопереробних заводів за рахунок переробки «свіжих» та застарілих нафтових шляму, а також зниження негативних екологічних та техногенних наслідків для навколишнього природного середовища.

Для досягнення зазначеної мети буди поставлені наступні задачі:

1. Дослідження фізико-хімічних властивостей нафтових шляму і в т.ч. органічної (вуглеводневої) складової.

2. Проведення термографічних і термогравіметричних досліджень органічної (вуглеводневої) складової нафтових шляму та визначення оптимального інтервалу температур для проведення процесу термічної деструкції.

3. Дослідження на лабораторній установці принципової можливості одержання бітумів з залишків термічної деструкції нафтошляму.

4. Розробка принципової поточної схеми комплексної переробки нафто шляму.

4. Дослідження органічної частини нафтошляму

Для проведення досліджень використовували порівняно недавно утворені («свіжі») нафтові шляму Туркменбашинського нафтопереробного заводу (Туркменістан). Усереднені проби нафтошляму відбирали з поверхні ставка-накопичувача (НШ-1) та з придонного простору (НШ-2), оскільки саме вони будуть в повній мірі відображати зміну властивостей нафтошляму по висоті ставка-накопичувача. Для порівняння вивчали нафтовий шлам тривалого зберігання з

ПАТ «НПК-Галичина» (НШ-3), відібраний з придонного простору амбара-накопичувача цього заводу.

Для відділення органічної частини нафтошляму використовували багатостадійний процес, що складався з відстоювання при підвищеній температурі, промивання водою, сушіння та фільтрування при підвищеній температурі. Фізико-хімічні показники виділеної органічної частини нафтошляму визначали за загальноприйнятими стандартизованими методиками [12].

Процес термічної деструкції органічної частини нафтошляму проводили в скляному реакторі, що знаходився в нагрівальній печі і був обладнаний системою конденсації і збору дистилату. Процес одержання окиснених бітумів проводили на лабораторній установці, що складалася з реактора, нагрівальної печі, системи подачі повітря та системи вловлювання летких продуктів окиснення.

Окиснені бітуми аналізували за стандартизованими методиками, зокрема: глибина проникнення голки (пенетрація) (ГОСТ 11501); температура розм'якшення за методом «кільця і кулі» (ГОСТ 11506); дуктильність (ГОСТ 11505). Груповий склад бітумів визначали за методикою Маркуссона [12].

5. Результати дослідження та їх обговорення

Усі проби нафтових шляму складаються з органічної частини (вуглеводні, гетероатомні сполуки і асфальтено-смолисті речовини), водної фази та механічних домішок (пісок, глина тощо), які у більшості випадків утворюють складну емульсійно-суспензійну систему. Але вміст окремих фаз в окремих пробах нафтошляму є різним. Відрізняються таких властивості виділених органічних частин (табл. 1). Верхній шар нафтошляму НШ-1 характеризується низьким вмістом води і механічних домішок, а за своїми експлуатаційними характеристиками наближається до нафтового мазуту з підвищеним вмістом газойлевіх фракцій. Нафтові шляму НШ-2 і НШ-3 суттєво відрізняються вмістом води: в нафтошлямах тривалого зберігання вміст води значно вищий. А органічні частини цих нафтошляму мають схожі властивості, хоча в нафтошлямах тривалого зберігання (НШ-3) вона дещо важча і в'язкіша.

Одним з найбільш розповсюджених методів утилізації органічної частини нафтошляму є спалювання в складі котельного палива. Однак, цей метод пов'язаний з значною загрозою для навколишнього середовища. Крім цього для спалювання необхідно повністю відділити механічну частину нафтошляму і відрегулювати їх в'язкість методом розбавлення більш легкими компонентами. Тому, на нашу думку, він є неприйнятним для широкого застосування.

Ще одним методом переробки нафтошляму є їх термічна деструкція [13]. Однак на сьогодні він вивчений недостатньо, зокрема не вивчали термічного розкладу найважчих придонних шарів органічної частини нафтошляму.

З метою встановлення температурного інтервалу термічного розпаду компонентів органічної частини нафтошляму та вивчення їхньої поведінки при високих температурах проводили дериватографічні дослідження проби придонного шару нафтошляму Туркменбашинського НПЗ (НШ-2).

Таблиця 1

Склад нафтошламів та властивості їх органічної частини

Показник	Значення показника для нафтошламу		
	НШ-1	НШ-2	НШ-3
Склад нафтошламу, % мас.			
Вода	2,5	6,1	55,7
Механічні домішки	0,3	28,7	23,0
Органічна частина	97,2	65,2	21,3
Характеристика вуглеводневої частини нафтошламу			
Густина при 20°C, г/см ³	912	958	1028
В'язкість умовна при 100°C, ВУ ₁₀₀	1,2	3,8	7,4
Вміст сірки, % мас.	0,91	1,34	1,74
Температура застигання, °C	-7	21	34
Температура спалаху, °C	79	195	215
Коксивність, % мас.	2,3	8,9	18,4
Зольність, % мас.	0,18	0,38	0,59
Фракційний склад:			
до 200 °C википає, % мас.	4,2	0,3	0,1
до 350 °C википає, % мас.	25,7	8,2	2,3

Встановлено (рис. 1), що процес термодеструкції органічної частини нафтошламу складається з трьох стадій. Перша стадія (до 371 °C) характеризується випаровуванням легких компонентів і поліконденсацією найбільш високомолекулярних компонентів шламу. Вона характеризується втратою маси на кривій TG і екзоэффектом на кривій DTA. Друга стадія, що проходить в області температур 371–485 °C – це основна стадія термічної деструкції. За температур понад 485 °C починається третя стадія – ущільнення важкого залишку. На кривій DTA у цьому температурному інтервалі з'являється чіткий екзотермічний ефект, який відповідає процесам конденсації та коксування.

В результаті термографічних і термогравіметричних досліджень зразка нафтошламу НШ-2 встановлено, що оптимальним інтервалом температур для проведення процесу термічної деструкції, що характеризується найбільшою втратою маси, є 420–460°C. Тому саме цей температурний інтервал було обрано для подальших досліджень.

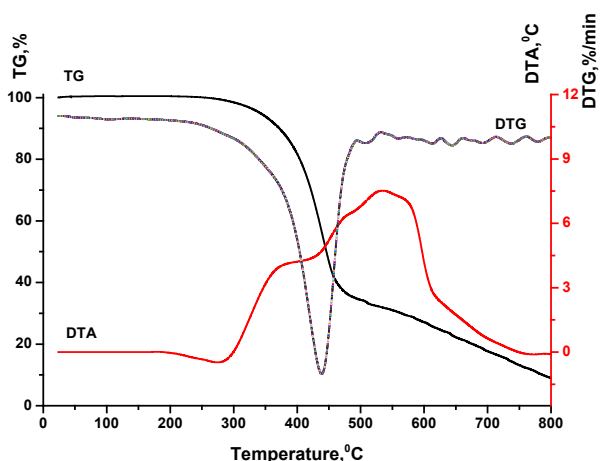


Рис. 1. Дериватограма органічної частини НШ-2: TG – крива втрати маси; DTG – крива швидкості втрати маси; DTA – диференціальна термоаналітична крива

Вивчено вплив температури процесу термічної деструкції органічної частини нафтошламів на ви-

хід продуктів і характеристику залишку (табл. 2). Встановлено, що з підвищенням температури термообробки нафтошламів вихід дистильатних фракцій збільшується.

Для залишку термодеструкції, якого в процесі утворюється велика кількість (58,6–77,6 % мас.) визначали умовну в'язкість, температуру застигання та коксивність.

Таблиця 2

Вихід продуктів і характеристика залишку термодеструкції органічної частини нафтошламів

Показник	Значення показника при температурі процесу		
	420 °C	440 °C	460 °C
Сировина – органічна частина НШ-2			
Вихід продуктів, % мас.:			
бензин	1,9	2,7	3,3
газойль	19,7	26,4	31,2
залишок	74,5	66,5	60,5
газ і втрати	3,9	4,4	5,0
Характеристика залишку:			
в'язкість умовна при 100°C, ВУ ₁₀₀	3,1	2,6	2,2
температура застигання, °C	10	7	5
коксивність, % мас.	12,1	12,8	13,2
Сировина – органічна частина НШ-3			
Вихід продуктів, % мас.:			
бензин	1,6	2,3	3,1
газойль	17,3	24,3	33,7
залишок	77,6	59,5	58,6
газ і втрати	3,5	3,9	4,6
Характеристика залишку:			
в'язкість умовна при 100°C, ВУ ₁₀₀	6,5	5,7	4,8
температура застигання, °C	20	16	13
коксивність, % мас.	24,1	25,7	26,9

Примітка: тривалість процесу – 10 хв.

Встановлено, що в результаті термічної деструкції нафтошламу утворюється залишок, який в порівнянні з вихідною сировиною характеризується значно нижчими температурою застигання і умовною в'язкістю і вищою коксивністю. Внаслідок підвищення температури процесу спостерігається збільшення коксивності залишку, а також зниження його в'язкості і температури застигання. Це, очевидно, є результатом того, що термічна стабільність різних груп вуглеводнів, що входять до складу сировини, є неоднаковою. Вона зростає в ряду: парафіни – нафтени – ароматичні вуглеводні. Саме тому утворюється високоароматизований залишок з високою коксивністю та низькою температурою застигання.

Враховуючи характеристики залишку термодеструкції нафтошламів, його можна використовувати як компонент котельних палив, однак такий метод застосування буде негативно впливати на глибину переробки нафти. Тому запропоновано використовувати його як сировину для виробництва бітумів.

З метою встановлення принципової можливості одержання бітумів з залишків термічної деструкції нафтошламів вивчали процес окиснення усереднених залишків, одержаних термодеструкцією органічної частини нафтошламів НШ-2 і НШ-3. Для проведення процесу було обрано умови, характерні для середньостатистичної промислової установки одержання окис-

нених бітумів. Окиснення проводили за температури 250 °С при об'ємній швидкості подачі повітря 3,0 хв⁻¹ протягом 6 год. Якість одержаного бітуму визначали за трьома основними стандартними показниками: температурою розм'якшення, дуктильністю та пенетрацією. Результати експериментів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика бітумів, одержаних окисненням залишку термодеструкції органічної частини нафтошламів

Показник	Сировина – залишок термодеструкції органічної частини нафтошламу	
	НШ-2	НШ-3
Температура розм'якшення за «кільцем та кулею», °С	31	36
Дуктильність при 25 °С, см	35	27
Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	194	157
Вміст у бітумі, % мас.:		
оливних компонентів	71	59
смолю	13	17
асфальтенив	16	24

Примітки: температура окиснення – 250 °С, об'ємна витрата повітря – 3,0 хв⁻¹ тривалість окиснення – 6 год.

Встановлено, що внаслідок окиснення залишків термоконверсії отримуються бітуми, які характеризуються занадто низькою температурою розм'якшення і підвищеною пенетрацією. Це результат недостатньої кількості смолю і асфальтенив, що входять до складу бітуму. Одержаний продукт не може використовуватися як товарний бітум, оскільки його властивості не задовольняють вимогам до жодної марки товарних бітумів.

Іншим методом використання залишку термічної деструкції органічної частини нафтошламів є введення їх в невеликій кількості до класичної сировини бітумного виробництва – нафтового гудрону.

Вивчено вплив вмісту залишку в сировині на властивості окиснених бітумів. Залишок додавали до гудрону в кількості 5–20 % мас. і проводили окиснення цієї суміші.

Встановлено (табл. 4), що про збільшенні вмісту залишку термодеструкції в сировинній суміші спостерігається зменшення температури розм'якшення і дуктильності бітуму, а пенетрація при цьому підвищується. Така закономірність змін властивостей бітуму від кількості залишку термодеструкції в сировині узгоджується із зміною групового складу. Зокрема, із збільшенням кількості залишку в сировині для одержання бітуму збільшується вміст в ньому оливних компонентів та знижується вміст смолю і асфальтенив.

В результаті проведених досліджень показано, що залишок термодеструкції можна вводити в сировину для одержання бітумів в кількості до 10 % мас. При вищому вмісті залишку в сировині властивості бітуму погіршуються. В даному випадку, окисненням гудрону ми одержали бітум, що відповідає вимогам до марки БНД 60/90 згідно ДСТУ 4044-2001. При введенні в гудрон понад 10 % мас. залишку термодеструкції одержується бітум, який не відповідає вимогам не тільки до цієї марки, але і до інших марок дорожніх бітумів.

Вивчення складу і властивостей різних типів нафтошламів, а також дослідження процесів термічної конверсії органічної частини нафтошламів і окиснен-

ня отриманих залишків лягли в основу вибору технології їх подальшої переробки. Принципова поточна схема комплексної переробки нафтошламів наведена на рис. 2.

Таблиця 4

Характеристика бітумів, одержаних окисненням суміші гудрону і залишку термодеструкції органічної частини нафтошламів НШ-2 і НШ-3

Показник	Вміст залишку в сировинній суміші, %мас.				
	0	5	10	15	20
НШ-2					
Температура розм'якшення за «кільцем та кулею», °С	49	48	46	43	40
Дуктильність при 25 °С, см	59	58	56	53	50
Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	78	82	89	96	104
Вміст у бітумі, % мас.:					
оливних компонентів	38	41	45	50	54
смолю	32	30	27	23	21
асфальтенив	30	29	28	27	25
НШ-3					
Температура розм'якшення за «кільцем та кулею», °С	49	48	47	45	43
Дуктильність при 25 °С, см	59	58	55	52	48
Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	78	82	87	93	98
Вміст у бітумі, % мас.:					
оливних компонентів	38	41	43	47	50
смолю	32	30	28	25	23
асфальтенив	30	29	29	28	27

Примітки: температура окиснення – 250 °С, об'ємна витрата повітря – 3,0 хв⁻¹ тривалість окиснення – 6 год.

Оскільки верхній шар нафтошламу, відібраний з ставка-накопичувача за своїми властивостями подібний до важких нафтових залишків, зокрема, вміст світлих фракцій в цій пробі досягає 30 % мас. при порівняно невисоких значеннях умовної в'язкості, коксивності та температури застигання, то в перспективі цей продукт, очевидно, можна додавати до сирової нафти і переробляти разом з нею на нафтопереробних заводах. Водний шар необхідно направити на очисні споруди, а вловлені нафтопродукти долучити до верхнього шару нафтошламу.

Нижні шари нафтошламу потрібно спочатку очистити від механічних домішок та відділити від них воду. Воду необхідно направити на очисні споруди. Для виділення з нафтошламу органічної частини можна використовувати два типи технологій. У випадку використання для розділення нафтошламу методів відстоювання, фільтрування чи центрифугування відділені механічні домішки містять залишкову кількість нафтопродукту. Тому їх слід направити на утилізацію (використання для облаштування нижніх шарів автомобільних шляхів, використання у виробництві будівельних матеріалів, біохімічне очищення з наступним захороненням тощо). В разі використання для виділення з нафтошламу органічної частини багатоступеневих процесів промивання, відстоювання, фільтрування, чи навіть екстрагування розчинниками одержуються механічні домішки, які містять мінімальну кількість нафтопродуктів, тому вони не є загрозою для навколишнього середовища і не потребують особливих умов утилізації.

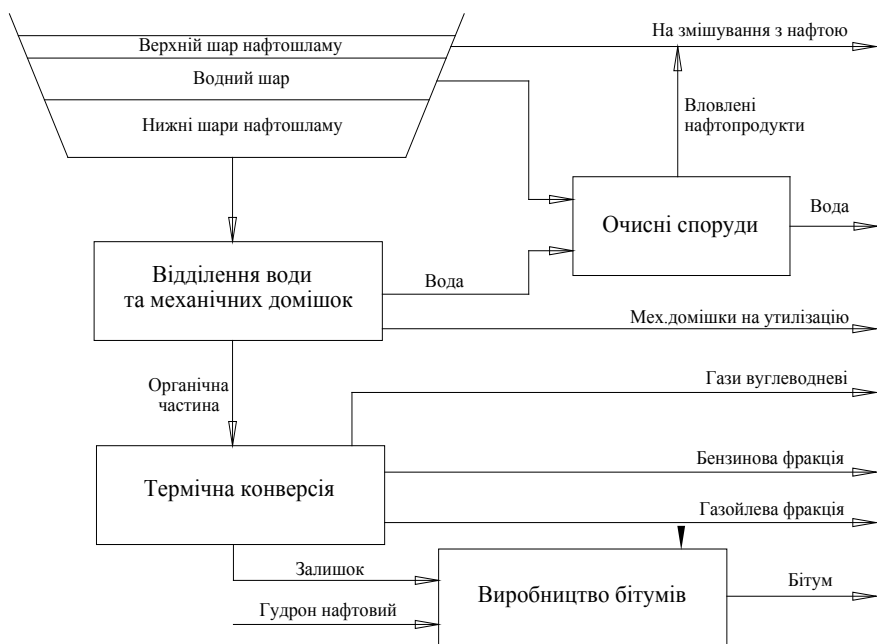


Рис. 2. Принципова поточна схема комплексної переробки нафтошламів

Одержану органічну частину нафтошламу доцільно направити на термічну конверсію (деструкцію). Отримані при цьому дистилати потрібно направити на нафтопереробний завод з метою виробництва з них товарних моторних палив. Залишок термодеструкції доцільно використати як сировину для виробництва окиснених нафтових бітумів.

Запропонований метод утилізації нафтошламів дасть змогу не тільки позбавитися від ставків-накопичувачів, що є загрозою для довкілля, але і одержати при цьому значну кількість різноманітних товарних нафтопродуктів або їх компонентів.

6. Висновки

Розроблено комплексний метод переробки нафтових шламів, який дасть змогу знизити загальні втрати вуглеводнів на нафтопереробних заводах та запобігти негативним екологічним та техногенним наслідкам для навколишнього середовища.

Вивчено склад нафтошламів, утворених в результаті переробки нафти на нафтопереробних заводах та властивості органічної частини цих нафтошламів.

В результаті термографічних і термогравіметричних досліджень органічної частини нафтошламів встановлено, що оптимальними температурними межами процесу їх термічної деструкції є 420–460 °С.

Показано, що методом сумісного окиснення нафтового гудрону і залишку термічної деструкції органічної частини нафтошламу в кількості до 10 % мас. можна одержати товарні дорожні бітуми.

Запропонований варіант утилізації нафтових шламів, які знаходяться на зберіганні в ставках накопичувачів з одержанням окремих нафтових фракцій і товарних нафтових бітумів, яка на відміну від існуючих включає технологічну установку термічної деструкції (конверсії) органічної частини нафтошламів і установку виробництва нафтових бітумів сумісним окисненням залишку термодеструкції та гудрону нафтового.

Література

1. Хайдаров, Ф. Р. Нефтешламы. Методы переработки и утилизации [Текст]: монография / Ф. Р. Хайдаров. – Уфа: Экология, 2003. – 74 с.
2. Вдовенко, С. В. Анализ нефтяных шламов буферных прудов отстойников нефтеперерабатывающего завода [Текст]: тез. докл. науч.-техн. конф. / С. В. Вдовенко // Экологічна безпека держави-2014. – Київ, 2014. – С. 3–4.
3. Hu, G. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review [Text] / G. Hu, J. Li, G. Zeng // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 261. – P. 470–490. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.07.069
4. Вдовенко, С. В. Анализ технологий переработки нефтяных шламов нефтеперерабатывающих заводов [Текст] / С. В. Вдовенко // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2013. – № 1. – С. 60–66.
5. Келбалиев, Г. И. Технология подготовки и очистки нефтяных шламов и аппаратное оформление процесса [Текст] / Г. И. Келбалиев, Л. В. Гусейнова, С. Р. Расулов и др. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2013. – № 7. – С. 45–49.
6. Philemon, Z. B. Treatment of conditioned oily sludge from Cameroon petroleum refinery by centrifugation [Text] / Z. B. Philemon, N. M. Benoit // International journal of environmental sciences. – 2013. – Vol. 3, Issue 5. – P. 1373–1382.
7. Расветалов, В. А. Использование нефтяных отходов в качестве компонентов котельного топлива [Текст] / В. А. Расветалов, А. Б. Магид, А. В. Купцов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003. – № 5. – С. 18–22.
8. Шпербер, Е. Р. Методы переработки нефтеотходов [Текст] / Е. Р. Шпербер, Т. Н. Боковикова, Д. Р. Шпербер // Химия и технология топлив и масел. – 2011. – № 3. – С. 51–55.
9. Шпербер, Е. Р. Применение донных отложений мазутных резервуаров в производстве рельсовой смазки [Текст] / Е. Р. Шпербер, Т. Н. Боковикова, Д. Р. Шпербер и др. // Химия и технология топлив и масел. – 2011. – № 4. – С. 32–35.
10. Голинь, Ц. Перспективы развития процессов переработки нефтешламов [Текст] / Ц. Голинь, Л. Минмин, Ч. Тинтин // Химия и технология топлив и масел. – 2011. – № 4. – С. 44–54.
11. Миннигазимов, Н. С. Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов [Текст] / Н. С. Миннигазимов, В. А. Расветалов, Х. Н. Зайнуллин. – Уфа: Экология, 1999. – 299 с.
12. Исагулянц, В. И. Химия нефти [Текст] / В. И. Исагулянц, Г. М. Егорова. – М.: Химия, 1965. – 517 с.
13. Дьяков, М. С. Разработка технологии термоэнергетического обезвреживания избыточного активного ила нефтеперерабатывающих предприятий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / М. С. Дьяков. – Пермь, 2009.