



Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU
<http://nv.ntu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40270431>

Article received 12.05.2017 р.

Article accepted 24.05.2017 р.

УДК 630.456:628.4:544.4

ISSN 1994-7836 (print)

ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

V. L. Chelyadyn

chvl@email.ua

В. Л. Челядин¹, М. М. Богославець², Л. І. Челядин³, О. А. Петришак³

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна

²ПАТ "Нафтохімік Прикарпаття", м. Надвірна, Івано-Франківська область, Україна

³Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ФІЗИКО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

Об'єм "недостатньо" очищених вод в Україні у 2016 р., які було скинуто у водні об'єкти, становив 2500-2625 млн м³, а в Івано-Франківській обл. – близько 85,5 млн м³, що підтверджує відсутність або недостатню потужність наявних очисних споруд та їх низьку ефективність. За результатами аналізу основних методів очищення стічних вод та конструкцій устаткування з'ясовано, що в основному використовують земляні відкриті відстійники та біологічне очищення, яке є енергоємним. Такі очисні споруди займають великі території, а ступінь очищення невисока – 55-65 % від завислих частинок і 45-55 % від нафтопродуктів, які значно впливають на забруднення водних ресурсів та атмосфери.

Для очищення стічних вод використано фізико-електрохімічний метод. Істотними перевагами електрокоагуляції є значне зменшення дози реагентів для очищення стічної води та просте регулювання дози іонів металів, необхідної для коагуляції за рахунок величини електричного струму. Технологія очищення стічної води, за якою проведено дослідження, така: на першому етапі її піддавали електрообробленню перед тонкошаровим відстійником, а на другому – додатково на вході у фільтр. Наведено результати очищення забруднених стоків методом відділення нафтопродуктів у верхній і важких завислих у нижній частинах тонкошарового відстійника, а доочищення інших шкідливих компонентів – фільтрацією з участю цеоліту кліноптилоліту. Показано, що електрооброблення стічних вод у процесах водоочищення підвищує ступінь очищення від нафтопродуктів від 55,1-65,6 % до 89,1-99,2 %, а від завислих частинок – від 58,9-63,0 %, до 89,9-98,2 %, що зменшує скид забруднень у довкілля і підвищує рівень екологічної безпеки об'єкта.

Ключові слова: забруднення водних ресурсів; технології; устаткування; тонкошаровий відстійник; електрохімічне очищення; ступінь відділення.

Вступ. Проблеми екології охопили всі країни та континенти і стосуються інтересів, потреб кожного мешканця на планеті, а тому набули загального, глобального характеру, які зумовлені низкою обставин, що пов'язано із впливом таких факторів. На всіх стадіях свого розвитку людина була тісно пов'язана з навколишнім світом. Однак з того часу, як з'явилося високоіндустріальне суспільство, небезпечно втручання людини у природу стрімко посилюється, стало різноманітнішим і зараз загрожує стати глобальною небезпекою для людства. Стічні води, що утворюються на різних об'єктах, очищаються від забруднень недостатньо, що призводить до забруднення водних ресурсів, а значить відбувається забруднення довкілля, яке є сучасною проблемою.

Згідно з даними (Dovkillia Ukrainy, 2014), в Україні у 2016 р. об'єм "недостатньо" очищених вод, які було скинуто у водні об'єкти, становить 2500-2625 млн м³, а в Івано-Франківській обл. – близько 85,5 млн м³, що підтверджує відсутність або недостатню потужність наявних очисних споруд та їх низьку ефективність. Огляд публікацій (Zapolskyi, et al., 2000; Gijadenov, 2001; Kotarovskyj & Monjak, 2016) з очищення стічних вод та конструкцій устаткування показав, що в основному використовують земляні відкриті відстійники та біологічне очищення, яке є енергоємним. Такі очисні споруди

займають великі території, а ступінь очищення невисока – 45-50 % від завислих частинок і ще менша від нафтопродуктів, які значно впливають на забруднення водних ресурсів та атмосфери.

Найпоширенішими забруднювачами стічних вод є нафтопродукти (н/п), які надходять у природне водне середовище різними шляхами. Наприклад, внаслідок фонтанування свердловини наприкінці процесу буріння, аварій на водному транспорті під час перевезення танкерами, внаслідок аварійних ситуацій із проливання нафтопродуктів та у процесах нафтоперероблення.

Для очищення стічних вод від нафтопродуктів використовують фізико-хімічні технології очищення стічних вод (Malovanyu, et al., 2014; Vieira & Monteiro, 2009; Berezuckij, 1989), які охоплюють стадію перемішування з необхідним реагентом та наступним фільтруванням стічної води через різні типи пористих перетинків, що відрізняються за хімічним складом та мають різні розміри частинок фільтрувального матеріалу і його пористість.

Спостерігається значне подорожчання хімічних реагентів, таких як окисники, відновники, кислоти, луги, коагулянти, флокулянти, а також така технологія спричиняє додаткове забруднення очищеної води аніонами та катіонами хімічних реагентів, що використовуються.

Цитування за ДСТУ: Челядин В. Л., Богославець М. М., Челядин Л. І., Петришак О. А. Фізико-електрохімічне очищення стічних вод нафтогазового комплексу. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(4). С. 140–143.

Citation APA: Chelyadyn, V. L., Bohuslavets, M. M., Chelyadyn, L. I., & Petryshak, O. A. (2017). Ecology of Water Resources and Physical and Electromechanical Wastewater Treatment in Oil and Gas Sector. Scientific Bulletin of UNFU, 27(4), 140–143.

<https://doi.org/10.15421/40270431>

На нафтопереробних заводах (НПЗ) використовують, в основному, механічне та біологічне очищення стічних вод після змішування вод 1 і 2 каналізаційних систем. Біологічний метод (Sarbak & Kramer-Wachowiak, 2002) застосовують за певних показників стічної води: рН – 5,5-8,5, температура – від 20 до 35 °С та вміст O_2 – не менше 1-2 мг/дм³, який забезпечується потужними повітрорудками, що енергозатратно.

Останніми роками набувають поширення електрохімічні методи (Chelyadyn, et al., 2013) очищення стічних вод промислових підприємств. Істотними перевагами електрокоагуляції є значне зменшення дози реагентів для очищення стічної води та просте регулювання дози іонів металів, необхідної для коагуляції за рахунок величини електричного струму.

Дослідження, які наведено у (Chelyadyn, et al., 2013; Chelyadyn & Chelyadyn, 2016), показали ефективність фільтрування стічних вод через вуглецевімінеральні матеріали та цеоліт клиноптилоліт, яке зменшує обсяг забруднень, а тому у наших дослідженнях використовували саме цей цеоліт.

Матеріали та методи дослідження. Для очищення стічних вод досліджували технологію фізико-хімічного очищення методом електрооброблення та фільтрації, яку проводили за допомогою установки, яку наведено на рис.

Дослідження на першому етапі проводили таким чином. Зі сировинної місткості стічна вода насосом подавалась у відстійник упродовж 1,5 год у кількості 30 дм³. Очищення стічних вод від завислих частинок проводили за допомогою горизонтального відстійника з похилими площинами (ПП) і з попереднім електрообробленням. Далі стоки надходять в електроапарат, де під дією електричного струму ($U=8-12$ в) у стоках відбуваються електрохімічні процеси. З електроапарата стоки протікають через фільтр, що заповнений фільтрувальним матеріалом (цеолітом клиноптилолітом), де із стічної води відділяються інші забруднення у процесі фільтрації та

адсорбції, а потім очищена вода надходить у місткість очищеної води. Дослідження процесу очищення проводили в динамічних умовах, а показники стічної води визначали за методиками (Lure, 1984).

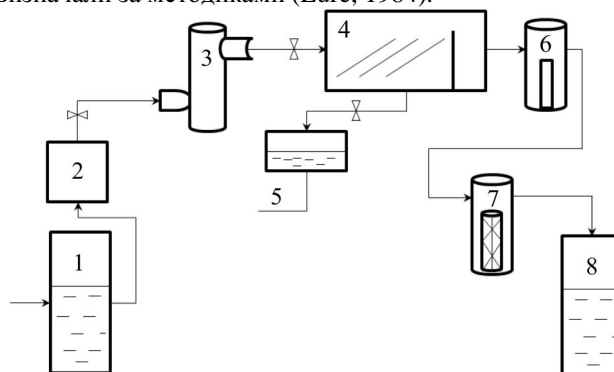


Рис. Схема лабораторної установки для очищення стічних вод: 1) місткість забруднених стічних вод; 2) насос, 3) електрокоагулятор; 4) тонкошаровий відстійник; 5) збірник шлама водоочищення; 6) електроапарат; 7) фільтр; 8) місткість очищеної води

Для підвищення ефективності очищення стічних вод НПЗ та ВАТ "Прикарпатського УБР" від н/п і завислих частинок провели дослідження з очищення стічних вод цих об'єктів. Склад стічних вод НПЗ та УБР наведено у табл. 1. Результати дослідження з очищення стічних вод у відстійнику від завислих частинок (мех. домішки) та н/п наведено в табл. 2. Дослідження на другому етапі за різних параметрів (напруга) оброблення стічних вод в електроапараті перед відділенням н/п у тонкошаровому відстійнику наведено в табл. 3, 4.

Результати дослідження очищення стічних вод з електрообробленням за трьох показників напруги в електроапараті та кутом нахилу площин 45 °С у тонкошаровому відстійнику від завислих частинок (мех. домішки) наведено у табл. 3. Результати дослідження з очищення стічних вод за попереднім електрообробленням перед відстійником наведено у табл. 4.

Табл. 1. Середній вміст компонентів у забруднених стічних водах (мг/ дм³)

Назва	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}	завислі частинки	нафтопродукти
Стічна вода НПЗ	174,1	38,85	235,5	339,4	52,4	33,7	9,1
Пластова вода УБР	1254,3	424,6	356,2	8132,4	80,5	40,5	5,4

Табл. 2. Результати очищення стічних вод у тонкошаровому відстійнику

Проба стічної води	Показник	Показник стічних вод до очищення, мг/дм ³		Кут нахилу похилих площин α , град.	Показник стічних вод після очищення, мг/дм ³		Ступінь очищення, %	
		завислі частинки	нафтопродукти		завислі частинки	нафтопродукти	завислі частинки	НП
1	НПЗ	7,61	10,52	0	2,81	3,62	63,0	65,6
2	НПЗ	7,61	10,52	30	1,51	2,19	84,1	76,1
3	НПЗ	10,3	9,35	45	1,85	1,05	82,7	83,5
4	НПЗ	8,78	7,41	60	1,63	2,16	81,5	89,1
5	НГДУ	21,4	0,95	0	6,64	0,56	70,2	54,5
6	НГДУ	21,4	0,95	30	2,15	0,32	89,9	70,4
7	НГДУ	22,3	1,53	45	2,33	0,72	89,5	73,9
8	НГДУ	18,7	1,12	60	2,21	0,28	88,2	75,0

Табл. 3. Результати очищення стічних вод з попереднім електрообробленням у тонкошаровому відстійнику

Проба стічної води	Показник	Показники стічних вод до очищення, мг/дм ³		Параметри електрооброблення, В	Показники стічних вод після очищення, мг/дм ³		Ступінь очищення, %	
		завислі частинки	нафтопродукти		завислі частинки	нафтопродукти	завислі частинки	НП
1	НПЗ	7,61	10,52	0	3,13	4,72	58,9	55,1
5	НПЗ	7,61	10,52	8	1,35	1,81	82,2	76,2
6	НПЗ	7,61	10,52	10	1,24	1,65	83,7	78,3
7	НПЗ	7,61	10,52	12	1,13	1,56	85,2	79,5

Табл. 4. Параметри процесу очищення і показники стічних вод

№ проби, об'єкт	Параметри		До очищення, мг/дм ³		Після чищення, мг/дм ³		Ступінь очищення, %	
	напряга, В	кут нахилу площин, °	механічні домішки	НП	механічні домішки	НП	механічні домішки	НП
1 – НПЗ	8	30	50,2	20,5	8,3	0,53	83,5	97,5
2 – НПЗ	10	30	50,2	20,5	4,1	0,45	91,8	97,8
3 – НПЗ	12	30	50,2	20,5	3,3	0,55	93,4	98,0
4 – НПЗ	8	45	93,6	31,6	4,5	0,35	95,2	98,9
5 – НПЗ	10	45	98,6	31,6	1,8	0,25	98,2	99,2
6 – НПЗ	12	45	98,6	31,6	2,4	0,3	97,6	99,1
7 – НГДУ	8	60	132,5	56,4	5,3	0,45	96,0	99,2
8 – НГДУ	10	60	132,5	56,4	3,1	0,50	97,7	99,1
9 – НГДУ	12	45	132,5	56,4	4,2	0,65	96,8	98,8
10 – НГДУ	8	45	151,4	45,7	4,8	0,52	96,8	98,9
11 – НГДУ	10	30	151,4	45,7	5,1	0,54	96,6	98,8
12 – НГДУ	12	30	151,4	45,7	5,3	0,53	96,5	98,8

Обговорення отриманих результатів. На основі наведених вище результатів досліджень встановлено, що електрообробленням стічних вод перед протіканням їх через тонкошаровий відстійник впливає на ступінь очищення стічних вод, оскільки утворені мікробульбашки кисню та водню флотують н/п у верхню частину відстійника, де вони з поверхні води відділяються перед переливом (на гребні), а тому кількість їх після відстійника зменшується і ступінь очищення становить 95,3-98,2 %. Зміна кута нахилу похилих площин у тонкошаровому відстійнику, який виставляли під різним кутом нахилу, впливає на вміст завислих частинок таким чином: за кута нахилу похилих площин 30° – 84,1-89,9 %, 45° – 82,7-89,5 % і 60° – 81,5-88,2 %, що можливо пояснити гідродинамікою потоку води, оскільки за меншого кута нахилу площини завислі частинки не встигають сповзти вниз для виходу у шламонакопичувач, а частково змиваються із пластини потоком води, що збільшує їх кількість після відстійника.

Отже, встановлено, що за оптимальної напруги оброблення 10 В та кута нахилу похилих площин у тонкошаровому відстійнику 45° і повторного електрооброблення та фільтрування через клінопілоліт ступінь очищення стічних вод від механічних домішок становить 83,5-98,2 %, від нафтопродуктів – 97,8-99,2 %.

Отже, запропонована лабораторна установка дає змогу дослідити процес очищення стічних вод із встановленням оптимальних параметрів водоочищення, які можуть бути основою видачі технічних умов для розроблення технологічної схеми локальної промислової установки очищення стічної води певного галузевого об'єкта.

Висновки:

1. Згідно з результатами проведених досліджень з очищення стічних вод встановлено, що ступінь очищення стічних вод від нафтопродуктів внаслідок електрооброблення збільшується від 85,7-91,1 % до 95,6-98,5 %.

2. За результатами лабораторних досліджень тонкошарового відстійника встановлено, що ефективність удосконаленого експериментального тонкошарового відстійника дає змогу підвищити ступінь водоочищення від завислих частинок до 85,7-95,2 % та зменшувати площі землі для очищення стоків.

Перелік використаних джерел

- Berezuckij, V. V. (1989). *Lokalnye ustanovki dlja promyshlennykh stokov*, 1, 30–31. Moscow: Mashinostroitel, 260 p. [in Russian].
- Chelyadyn, L. I., Hryhorchuk, L. I., Chelyadyn, V. L., & Bohoslavets, M. M. (2013). Metody ta ustatkuvannia zmnshennia zabrudnennia vodnykh resursiv stokamy z ob'ektiv naftohazovoho kompleksu. *Rozroblennia ta ekspluatatsiia naftohazovykh rodovysch*, 2(47), 145–151. Ivano-Frankivsk. [in Ukrainian].
- Chelyadyn, V. L., & Chelyadyn, L. I. (2016). Processing Technologies of Technogenic Waste into Filter Media for Sewage Treatment Of Industrial Objects: Monohrafiia Liublińskiej politekhniki (pp. 15–25). Water Supply and Wastewater Removal, 350 p.
- Dovkillia Ukrainy. (2014). *Statystychnyi zbirnyk* (pp. 48–138). Kyiv, 640 p. [in Ukrainian].
- Gljadenov, S. N. (2001). Ochistka stochnykh vod: tradicii i novacii. *Je-kologija i promyshlennost Rossii*, 2, 15–17. [in Russian].
- Komarovskij, D. P., & Monjak, T. M. (2016). Primenenie aljumsoderzhashhix koagulyantov dlja obrabotki vody reki Zapadnaja Dvina. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehničeskogo unversiteta*, 2(98), 74–79. [in Russian].
- Lure, Yu. Yu. (1984). *Analiticheskaja himija promyshlennykh stochnykh vod*. Moscow: Nauka, 448 p. [in Russian].
- Malovanyu, A., Plaza, E., Trela, J., & Malovanyu, M. (2014). Combination of ion exchange and partial nitrification. Anammox process for ammonium removal from mainstream municipal wastewater. *Water Science, & Technology*, 70(1), 144–151.
- Sarbak, Z., & Kramer-Wachowiak, P. (2002). Porous structure of waste fly ashes and their chemical modifications. *Powder Technology*, 5, 53–58.
- Vieira, C. M. F., & Monteiro, S. N. (2009). Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. *Revista Matéria*, 14(3), 881–905.
- Zapolskyi, A. K., Mishkova-Klymenko, N. A., Astrelin, I. M. et al. (2000). *Fizyko-khimichni osnovy tekhnologii ochyshchennia stichnykh vod*. Kyiv: Libra, 552 p. [in Ukrainian].

В. Л. Челядын, М. М. Богославец, Л. И. Челядын, О. А. Петрышак

*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина
ПАТ "Нефтехимик Прикарпаття", г. Наборная, Ивано-Франковская область, Украина
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина*

ФИЗИКО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Объем "недостаточно" очищенных вод в Украине на 2016 г., которые были сброшены в водные объекты, составил 2500-2625 млн м³, а в Ивано-Франковской обл. – около 85,5 млн м³, что подтверждает отсутствие или недостаточную мощность существующих очистных сооружений и их низкую эффективность. По результатам анализа методов очистки сточных вод и конструкций оборудования установлено, что в основном используются земляные открытые отстойники и биологическая очистка, которая является энергоемкой. Такие очистные сооружения занимают большие территории, а степень очистки не-

высокая – 55-65 % от зависших частиц и 45-55 % от нефтепродуктов, которые значительно влияют на загрязнение водных ресурсов и атмосферы.

Для очистки сточных вод использован физико-химический метод. Существенными преимуществами электрокоагуляции является значительное уменьшение дозы реагентов для очистки сточной воды и простая регулировка дозы ионов металлов, необходимой для коагуляции за счет величины электрического тока.

Технология очистки сточной воды, по которой проведены исследования, следующая: на первом этапе её подвергали электрообработке перед тонкослойным отстойником, а на втором – дополнительно на входе в фильтр. Приведены результаты очистки загрязненных стоков методом отделения нефтепродуктов в верхней и тяжелых зависших частиц в нижней частях тонкослойного отстойника, а доочистку других вредных компонентов – фильтрацией с участием цеолита клиноптилолита. Показано, что электрообработка сточных вод в процессах водоочистки повышает степень очистки от нефтепродуктов от 55,1-65,6 % до 89,1-99,2 %, а от зависших – от 58,9-63,0 % до 89,9-98,2 %, что уменьшает сброс загрязнений в окружающую среду и повышает уровень экологической безопасности объекта.

Ключевые слова: загрязнение водных ресурсов; технологии; оборудование; тонкослойный отстойник; электрохимическая очистка; степень отделения.

V. L. Chelyadyn, M. M. Bohuslavets, L. I. Chelyadyn, O. A. Petryshak

Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PJSC "Naftokhimik Prykarpattia", Nadvirna, Ivano-Frankivsk region, Ukraine

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

ECOLOGY OF WATER RESOURCES AND PHYSICAL AND ELECTROMECHANICAL WASTEWATER TREATMENT IN OIL AND GAS SECTOR

In 2016 the amount of insufficiently treated water emitted into the water pools in Ukraine constituted 2500-2625 mln m³, in particular in Ivano-Frankivsk region it was approximately 85.5 mln m³, confirms the absence or insufficient capacity of existing treatment facilities and their poor performance. The analysis of the main methods of wastewater treatment and treatment facilities showed that ground open tanks and biological treatment, which is energy intensive, are used mostly often. Such treatment facilities occupy large areas and have low degree of purification from suspended – 55-65 % and 45-55 % of oil that considerably affect water and atmosphere pollution. In the course of the research wastewater treatment was conducted using a physic-electrochemical method. Research was conducted at the first stage for this technology. Wastewater was pumped from raw material container in electrical apparatus for the previous electro treatment where in drains take place an electrochemical processes by an electric current within 1.5 hour in an amount of 30 dm³, and then waste water was purified from suspended and oil in a horizontal tank with inclined planes, that changed inclination starting from 30 degrees, then 45 degrees, and up to 60 degrees. In the second stage of the research drains entered the second electric vehicle, where under the influence of an electric current (U = 8-12V) in drains electrochemical purification from soluble contaminants occurred. From electric device drains flow through the filter filled with filter material (zeolite clinoptilolite) where waste water is separated from other impurities in the filtration and adsorption and then purified water comes into a clean water container. Research of purification process was performed in dynamic conditions. As a result electro treatment of wastewater in the process of purification increases the cleaning of oil from 55.1-65.6 % to 89.1-99.2 %, and of suspended from 58.9-63.0 % to 89.9-98.2 %, which reduces pollutants emission into the environment and increases the environmental safety of the facility. Consequently, the proposed technology of drains treatment is proved to be efficient and covers a small area, so after more research it can be used to clean effluent contamination in other towns in areas remote from sites.

Keywords: pollution of water resources; technology; equipment; thin-layer tank; electrochemical cleaning; the degree of separation.

Інформація про авторів:

Челядин Володимир Любомирович, канд. хім. наук, наук. співробітник, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна. **Email:** chvl@email.ua

Богославець Микола Михайлович, начальник управління охорони навколишнього середовища, ПАТ "Нафтохімік Прикарпаття", м. Надвірна, Україна. **Email:** uons@nnpz.com.ua

Челядин Любомир Іванович, д-р техн. наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна. **Email:** chelyadyn@ukr.net

Петришак Олег Андрійович, бакалавр, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна. **Email:** petrishak.oleg@gmail.com