

УДК 628.543

*І. В. ХИТРОВА, О. С. КРИВОРУЧКО***ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО МЕЗОПОРИСТОГО ВУГІЛЛЯ ЛЬВІВСЬКО-ВОЛИНСЬКОГО РОДОВИЩА В ЯКОСТІ ДЕШЕВОГО АДСОРБЕНТУ**

Було проведено елементарний і технічний аналіз природних мезопористих вугілля, була досліджена пористість та насипна щільність довгополум'яного мезопористого вугілля, вивчені особливості процесу адсорбції природного мезопористого вугілля по відношенню до нафтопродуктів та модельних сполук, для дослідів використовували два типи модельної води і стічну воду прокатного цеху «Дніпровського металургійного комбінату ім. Дзержинського» проведені порівняльні дослідження сорбційної ємності мезопористого вугілля та активованого вугілля.

**Ключові слова:** мезопористе вугілля, адсорбція, вуглецеві сорбенти, сорбційна здатність, стічна вода, пористість, насипна щільність.

Был проведен элементарный и технический анализ природных мезопористых углей, была исследована пористость и насыпная плотность длиннопламенного мезопористого угля, изучены особенности процесса адсорбции природного мезопористого угля по отношению к нефтепродуктам и модельным соединениям, для опытов использовали два типа модельной воды и сточную воду прокатного цеха «Днепропетровского металлургического комбината им. Дзержинского» проведены сравнительные исследования сорбционной емкости мезопористого угля и активированного угля.

**Ключевые слова:** мезопористый уголь, адсорбция, углеродные сорбенты, сорбционная способность, сточная вода, пористость, насыпная плотность.

Was held elementary and technical analysis of natural mesoporous carbons who that the content of carbon, sulfur, nitrogen and hydrogen, was investigated by the porosity and bulk density of long-flame mesoporous carbon, studied peculiarities of the adsorption process of natural mesoporous carbon with respect to oil and model compounds for the experiments used two type model of water and waste water rolling mill "Dnieper Metallurgical combine them. Dzerzhinsky ". Comparative studies of the sorption capacity of the mesoporous carbon and activated carbon. Studies have shown that the degree of purification with activated carbon is significantly higher but the waste for the production and regeneration of activated carbon is 40 times more than a waste to use mesoporous carbon. As a result of research we can conclude Lviv that natural mesoporous carbons as the sorbents have a high adsorption capacity, low cost, availability, and because of this it can be recommended as a cheap businesses sorbents for purification of waste water from oil with further burning them in the boiler.

**Keywords:** mesoporous carbon adsorption, carbon sorbents, sorption capacity, waste water, porosity, bulk density.

**Вступ.** Для очищення і доочищення стічних вод промислових підприємств використання сорбентів визнано перспективним у всьому світі. Метод сорбції може бути ефективно застосований для очищення і доочищення (в залежності від вихідних концентрацій забруднюючих речовин) промислових стічних вод від нафтопродуктів і барвників. Перевагою методу є висока ефективність, можливість очищення стічних вод, що містять кілька речовин, а також рекуперації цих речовин.

У якості сорбентів можуть бути використані різні штучні й природні пористі матеріали: зола, коксова дрібниця, торф, селикогелі, алюмогелі, активні глини та інші. Ефективним сорбентом є активоване вугілля різних марок. Адсорбційні властивості того чи іншого сорбенту залежать в основному від структури пор, їх величини і розподілу за розмірами. Залежно від переважачого розміру пор сорбенти підрозділяють на дрібно- і великопористі та змішаного типу.

Ефективність адсорбційного очищення досягає 80 – 95 % і залежить від хімічної природи адсорбенту, величини адсорбційної поверхні і її доступності, від хімічної будови речовини і її стану у водному розчині.

Адсорбція розчинених речовин – результат переходу молекули розчиненої речовини з розчину на поверхню твердого сорбенту під дією силового поля поверхні. При цьому спостерігається два виду міжмолекулярної взаємодії: молекул розчиненого реагенту з молекулами поверхні сорбенту і з молекулами води у розчину (гідратація). Різниця цих двох сил і визначає можливість утримування речовини на поверхні сорбенту. Чим більше енергія гідратації молекул розчиненої речовини, тим більшу протидію відчують ці молекули при переході на поверхню сорбенту і тим слабше адсорбується речовина з розчину [1, 2].

Пошук ефективних сорбентів для очищення стічних вод йде як в напрямку активованих вуглецевих матеріалів, так і використання дешевого низькосортного вугілля і відходів виробництва без додаткової переробки. Тобто, для очищення промислових стічних вод необхідні найрізноманітніші сорбенти як високочисті і високоємні, так і поглиначі середньої місткості і вибіркості, а також сорбенти, де більш низька сорбційна ємність і селективність може компенсуватися доступністю і невисокою вартістю.

Адсорбенти, які мають високу сорбційну ємність,

дуже дорогі і дефіцитні. Використовувати такі сорбенти економічно доцільно лише за умови їх багаторазового використання. Тому необхідним елементом будь-якої технологічної схеми адсорбційного очищення є регенерація адсорбенту після насичення його речовинами, витягнутими зі стічних вод.

Висока вартість гранульованих сорбентів і великі витрати на їх регенерацію призводять до високих вартісних характеристик при очищенні виробничих стічних вод.

У зв'язку з цим перспективними є дослідження з розробки та пошуку адсорбентів з більш низькою сорбційною ємністю, ніж у гранульованих сорбентів, але таких, які мають невисоку вартість і більш доступні. В цьому напрямку великі перспективи має мезопористе природне вугілля Львівсько-Волинського родовища.

**Мета роботи.** Метою роботи є комплексне дослідження львівських природних мезопористих вугілля в якості адсорбентів для очищення стічних вод від нафтопродуктів і барвників

#### Методи експерименту

При проведенні експериментів в якості адсорбентів для очищення нафтовмісних стічних вод використовувалися довгополум'яне мезопористе вугілля Львівсько-Волинського родовища пласта  $n_7$  (шахта «Нововолинська» № 5) і пласта  $n_8$  (шахта «Нововолинська» № 1).

Вугілля подрібнювали на валковому млині і розсіювали на вісім фракцій. Всі зразки перед дослідом висушували протягом 2 – 3 годин при температурі 105 – 110 °С. Фракції вугілля розміром більше 0,2 мм попередньо відмивали від дрібних частинок дистильованою водою.

Механічна міцність вугілля на стирання визначалася (ГОСТ 16188-70) в металевому горизонтальному кульовому млині шляхом його подрібнення протягом 15 хв. Міцність – це відношення (у %) маси не розмеленої обеспиленої частини вугілля до маси вихідного зразка.

Вологість сорбенту (ГОСТ 12597-67) визначалася по різниці мас вихідного зразка та висушеного (при 110 °С протягом 1 години) зразка.

Зольність вугілля (ГОСТ 12596-67) знаходили, нагріваючи 1 г вугілля (при 200 °С протягом 2 – 2,5 год.).

Насипна щільність сорбенту (ГОСТ 16190-70) визначалася таким чином.

Висушений при 110 °С сорбент всипають порціями в циліндр ( $h = 240$  мм) на глибину  $h = 100$  мм, потім циліндр постукують дном о дерев'яний диск протягом 0,5 хв. в похилому положенні. Після цього

заміряють висоту сорбенту в циліндрі, а потім його зважують.

Для дослідів використовували два типи модельної води і стічну воду прокатного цеху «Дніпровського металургійного комбінату ім. Дзержинського». При приготуванні модельних вод брали індустріальне масло І-50А, яке застосовується в цеху і забруднює стічну воду. Для приготування модельної води (МВ-1) масло перед кожним дослідом диспергували в дистильованій воді шляхом інтенсивного струшування протягом 5 хв. Концентрація масла у воді становила 50 мг/л. Модельна вода 2(МВ-2) представляла собою білу емульсію з вмістом олії 26 мг/л. Готували її перед кожним дослідом шляхом додавання суміші МІ-40 з низькомолекулярним органічним емульгатором до дистильованої води і незначного перемішування. Емульсія не руйнується після відстоювання протягом місяця, кип'ятіння, виморожування.

Адсорбцію нафтопродуктів досліджували в статичному режимі при кімнатній температурі з перемішуванням на лабораторному стенді.

#### Результати експерименту та їх обговорення.

У даній роботі досліджене вугілля Львівсько-Волинського родовища пластів  $n_7$  (шахта «Нововолинська» № 5) і  $n_8$  (шахта «Нововолинська» № 1) в якості адсорбентів для очищення стічних вод.

Це пласти наміюського ярусу нижнього карбону, мають найбільш інтенсивну вугленасиченість і характеризуються високим коефіцієнтом вугленосності.

Вугілля пласта  $n_7$  відноситься до маловідновленого типу «а», по петрографічному складу в ньому переважає вітриніт (близько 92 %), а пласт  $n_8$  – до дорено-кларенового і кларенового типу з вмістом вітриніту 72 %.

Дані аналізу вугілля наведені в таблиці 1 – таблиці 4.

Таблиця 1 – Елементарний аналіз дослідженого природного вугілля, %

Марка вугілля, пласт	Вміст С	Вміст Н	Вміст S	Вміст N
$Dn_7$	79,1	5,7	2,0	3,2
$Dn_8$	76,6	6,1	0,8	3,7

Таблиця 2 – Технічний аналіз дослідженого природного вугілля, %

Вологість, %	Зольність, %	Вихід летких речовин, %	Теплота спалювання, МДж/кг	Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г
5,6	12,2	41,6	32,8	72,8
8,9	8,9	38,8	34,2	65,1

Таблиця 3 – Характеристика пористості вугілля

Фракція вугілля, мм	Сумарний об'єм пор вугілля $n_7$ , $\text{см}^3/\text{г}$		Сумарний об'єм пор вугілля $n_8$ , $\text{см}^3/\text{г}$	
	По воді	По декану	По воді	По декану
5,03,0	0,237	0,105	0,176	0,072
3,0–1,6	0,240	0,148	0,185	0,080
1,6–1,0	0,251	0,157	0,208	0,076
1,0–0,63	0,255	0,180	0,181	0,093
0,63–0,40	0,277	0,203	0,230	0,111
0,40–0,20	0,304	0,261	0,244	0,143
0,20–0,10	0,347	0,309	0,276	0,171
0,10–0,063	0,441	0,308	0,284	0,193

Таблиця 4 – Насипна щільність вугілля

Фракція вугілля, мм	Вугілля $Dn_7$		Вугілля $Dn_8$
	Сухий, $\text{г}/\text{см}^3$	Природної вологості, $\text{г}/\text{см}^3$	Сухий, $\text{г}/\text{см}^3$
5,03,0	0,621	0,641	0,638
3,0–1,6	0,591	0,677	0,626
1,6–1,0	0,591	0,636	0,621
1,0–0,63	0,623	0,669	0,606
0,63–0,40	0,591	0,631	0,604
0,40–0,20	0,576	0,622	0,586
0,20–0,10	0,571	0,598	0,575
0,10–0,063	0,540	0,598	0,573

Довгополум'яне вугілля пластів  $n_7$  та  $n_8$  відносяться до низькосортного малометаморфізованого кам'яного вугілля, що застосовується як енергетична сировина.

Частина загального обсягу пор у вугіллі з вмістом вуглецю 76 – 84 % припадає на перехідні і макропори, що робить їх перспективними для адсорбції великих молекул органічних речовин зі стічної води.

Серед вугілля низької стадії метаморфізму Львову, виявлене мезопористе вугілля, що містить значну кількість пор діаметром близько 4 нм.

До них відноситься довгополум'яне вугілля пластів  $n_7$  та  $n_8$ .

Мезопористе вугілля  $Dn_7$  та  $Dn_8$  має досить високу питому поверхню (табл. 2), визначену методом низькотемпературної адсорбції газів.

І в силу цього може бути використане для очищення стічних вод.

Порівняння сорбційної активності мезопористого довгополум'яного вугілля і активованого вугілля представляє також певний інтерес.

Характеристики цього вугілля наведені в таблиці 5.

В якості адсорбтивів у дослідженні виступали: нафтопродукти, що містяться в стічних промислових

водах, а також модельні сполуки. Нафтопродукти, що знаходяться в стічних водах, відносяться до числа найбільш небезпечних забруднювачів. Через погану розчинність в воді, процес їх природного розкладання йде дуже повільно. Нерозчинна плівка нафти, що знаходиться на поверхні води, перешкоджає доступу в неї кисню [3].

Таблиця 5 – Характеристики мезопористого і активованого вугілля

Властивість	Мезопористе	Активоване
Зольність, %	5,58	
Об'єм пор по влогоємності, $\text{см}^3/\text{г}$	0,19	0,51
Активність по йоду, мг/г	9,07	25,37
Активність по метиленовому голубому, мг/г	0,58	1,87
Активність по нафтопродуктам, мг/г	39,60	108,30
Прочність на стирання, %	80	76

Основна частина складу сирової нафти припадає на вуглеводні: парафінові (0,1 – 30 %), циклопарафінові (5 – 30 %), поліциклічні, ароматичні (0 – 5 %), нафтоароматичні (5 – 30 %), високомолекулярні конденсовані гетероциклічні (10 – 70 %). У високомолекулярних фракціях нафти міститься до 5 % сірки, 1 % азоту і кисню, а також різні комплексуючі метали.

Щільність нафти в залежності від родовища коливається в межах 0,65 – 1,05  $\text{г}/\text{см}^3$ . Вміст різних фракцій в нафті наведено в таблиці 6.

Таблиця 6 – Фракційний склад нафти

Фракція	Вміст, %	Число атомів вуглецю в молекулі	Застосування
Гази	2	$C_1 - C_5$	Паливо
Бензин	32	$C_6 - C_{12}$	Моторне паливо
Петролейні ефіри	2	$C_5 - C_7$	Розчинники
Керосин	18	$C_{12} - C_{15}$	Дизельне та реактивне паливо
Газойль (важке дизельне паливо)	20	$C_{15}$	Пальне
Масило і залишок	2	$C_{19}$	Мастильні, парафін, вазелін, асфальт

При попаданні у воду ці нафтопродукти (бензин, масла та ін.) під дією різних фізичних і хімічних факторів змінюють склад води та її токсичність.

При цьому в товщі води утворюються емульсії, що складаються, головним чином, з вуглеводнів, які становлять найбільшу небезпеку для водойм.

Як було зазначено раніше для дослідів використовували два типи модельної води (МВ-1 та МВ-2) і стічну воду (СВ) прокатного цеху «Дніпровського металургійного комбінату ім. Дзержинського».

Стічна вода на заводі проходить ряд відстійників, де частина нафтопродуктів спливає на поверхню, основна кількість присутніх в ній оксидів заліза осідає на дно і сорбує на себе деякі компоненти масла.

В результаті кількість (мг/л) речовин в ній, що екстрагуються чотирьоххлористим вуглецем, становить 1,6 – 3, зважених речовин – 10 – 16, вміст сульфатів – 700 – 900; хлоридів – 300 – 750, нітратів – 5 – 17, заліза – 0,2 – 0,5; рН 7 – 8.

Кількість нафтопродуктів в воді в 5 – 10 разів перевищує ГДК, що вимагає її доочистки.

Сумарний обсяг пор (табл. 3) різних фракцій вугілля пласта  $n_7$  в цілому вище, ніж пласта  $n_8$ .

Ця величина в основному зростає при переході від великих фракцій до дрібних для обох пластів.

Обсяг пор, обчислений за кількістю адсорбованої води, у всіх випадках вище, ніж по декану.

На відміну від більшості вугілля, що мають монодисперсні мікропористі структури, ці вугілля крім мікропор містять так звані мезопори (з діаметром близько 4 нм).

Результати досліджень сорбційної здатності мезопористих вугілля наведені в таблиці 7 та таблиці 8.

Таблиця 7 – Адсорбція нафтопродуктів з води природним вугіллям марки  $Dn_7$

Фракція вугля, мм	Вугілля $Dn_7$				
	залишкова кількість нафтопродуктів у				
	МВ-1		МВ-2		СВ
	мг/л	%	мг/л	%	
5,0 – 3,0	16,3	32,6	18,2	64,7	76,6
3,0 – 1,6	15,0	29,0	16,8	59,8	79,4
1,6 – 1,0	11,8	23,6	16,1	57,9	71,8
1,0 – 0,63	8,2	16,2	15,5	55,0	68,2
0,63 – 0,40	6,9	10,8	15,5	52,0	60,8
0,40 – 0,20	3,8	7,6	13,9	45,1	61,8
0,20 – 0,10	4,4	8,8	14,2	40,4	58,6
0,10 – 0,063	1,8	2,8	8,9	31,7	40,4

З таблиці 6 та таблиці 7 видно, що в обраних умовах експерименту МВ-1 очищується від нафтопродуктів вугіллям пласта  $Dn_7$  в залежності від ступеня дисперсності на 70 – 97 %.

Ступінь очищення вугіллям  $Dn_8$  того ж фракційного складу нижче і становить 66 – 95 %.

Таблиця 8 – Адсорбція нафтопродуктів з води природним вугіллям марки  $Dn_8$

Фракція вугілля, мм	Вугілля $Dn_7$				
	залишкова кількість нафтопродуктів у				
	МВ-1		МВ-2		СВ
	мг/л	%	мг/л	%	
5,0 – 3,0	18,3	36,6	19,8	71,7	79,6
3,0 – 1,6	17,0	33,0	18,8	64,8	75,4
1,6 – 1,0	13,8	25,6	17,1	61,9	72,8
1,0 – 0,63	9,9	19,8	16,5	59,0	70,0
0,63 – 0,40	7,4	12,8	16,5	54,7	67,8
0,40 – 0,20	4,8	8,6	14,9	48,7	68,8
0,20 – 0,10	3,4	6,8	13,2	45,4	61,6
0,10 – 0,063	2,8	4,8	12,3	41,7	57,4

Адсорбція емульгованих нафтопродуктів (МВ-2) відбувається значно важче. Вугілля  $Dn_7$ , поглинає приблизно 36 – 69 % масла з води, а вугілля  $Dn_8$  поглинає 29 – 54 %. При переході до стічної воді теж спостерігалось зниження ступеня її очищення.

Стічна вода сортопрокатного цеху ДМК очищується довгополум'яним вугіллям пласта  $n_7$  на 26 – 60 %, а вугіллям пласта  $n_8$  – на 21 – 43 %. Поглинання диспергованого масла вугіллям з МВ-1 значно більше залежить від ступеня дисперсності адсорбенту, ніж з МВ-2 і стічної воді (табл. 6, 7). Кількість сухого залишку у воді після контакту з вугіллям практично не змінюється, що узгоджується з даними, отриманими іншими авторами [4].

Видно, що вугілля  $n_7$  пласта здатне адсорбувати краще нафтопродукти ніж вугілля пласта  $n_8$ . Істотно важче вони адсорбують емульговані і розчинені нафтопродукти, що містяться в стічних водах.

У цих процесах крім пористості велике значення має хімічна природа поверхні адсорбенту, його змочувальність. Відомо, що вугілля низької стадії метаморфізму значно більш гідрофільні, ніж вугілля інших марок, і в адсорбційних процесах проявляється конкуренція між молекулами сорбату і води щодо їх спорідненості до поверхні вугілля.

Таким чином можна зробити висновок, що природне вугілля має досить високу сорбційну ємність по відношенню до диспергованих нафтопродуктів.

Як відомо, при виробництві синтетичних активних вугілля вирішальний вплив на структуру пор і поверхні кінцевого продукту має вихідна сировина. Тому представляло інтерес порівняння адсорбційних властивостей природних, синтетичних вугілля.

У таблиці 9 наведені результати порівняльних досліджень сорбційної активності мезопористого

(пласт  $n_7$ ) і активованого вугілля з розміром зерен  $\leq 1$  мм. Швидкість фільтрації води, що містить нафтопродукти, становила  $V_{\phi} = 1$  м/ч.

Таблиця 9 – Результати очищення води від нафтопродуктів за допомогою мезопористого та активованого вугілля

Концентрація нафтопродуктів до очистки, мг/л	Концентрація нафтопродуктів після очистки, мг/л	
	Мезопористе вугілля	Активоване вугілля
2,44	0,32	0,05
2,43	0,38	0,06
2,45	0,32	0,073
4,5	0,67	0,12
4,47	0,64	0,12
4,54	0,69	0,13

Експерименти були проведені зі стічними водами, концентрація нафтопродуктів в яких не перевищувала 5 мг/л.

З таблиці 8 видно, що ступінь очищення активованим вугіллям значно вище. Однак, витрати на виробництво і регенерацію активованого вугілля в 40 разів більше, ніж витрати на використання мезопористого вкопного вугілля.

#### Висновки.

В роботі було досліджено, що Львівські мезопористі природні вугілля мають досить високий сумарний об'єм пор, розвинену питому поверхню і в силу цього можуть бути використані як ефективні адсорбенти для очищення і доочищення стічних вод.

Отримані результати показують, що довгоплум'яне мезопористе вугілля пласта  $n_7$  ефективніше очищає воду від нафтопродуктів в порівнянні з вугіллям таких же стадій метаморфізму пласта  $n_8$ , але в цілому гірше, ніж відомі активні вугілля.

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження можливості використання природного мезопористого вугілля Львівсько-Волинського родовища в якості дешевого адсорбенту / **І. В. Хитрова, О. С. Криворучко** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 111 – 116. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0821.

Исследование возможности использования природного мезопористого угля Львовско-Волинского месторождения в качестве дешевого адсорбента / **И. В. Хитрова, О. С. Криворучко** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 111 – 116. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0821.

Investigation of the possibility of using natural mesoporous carbon Lviv-Volyn deposit as a cheap adsorbent / **I. V. Hitrova, O. S. Kryvoruchko** // Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University “KhPI”]. – 2016. – № 35 (1207). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 111 – 116. – Bibliogr.: 4 names. – ISSN 2079-0821.

Природні мезопористі вугілля володіють високою сорбційною ємністю по відношенню до диспергованих нафтопродуктів. Значно слабше вони адсорбують емульговані олії і розчинені нафтопродукти, що містяться в стічних водах.

Проте, природні вугілля можна рекомендувати підприємствам як дешеві адсорбенти для доочищення стічних вод від нафтопродуктів до санітарних норм з подальшим спалюванням їх у котельнях, враховуючи, що витрати на виробництво і регенерацію активованого вугілля в 40 разів більше, ніж витрати на використання мезопористого вкопного вугілля.

#### Список літератури

1. *Агроскин А. А.* Химия и технология угля / *А. А. Агроскин*. – К.: Наука, 1969. – 235 с.
2. *Когановский А. М.* Адсорбционная технология очистки сточных вод / *А. М. Когановский*. – К.: Техника, 1981. – 275 с.
3. *Роев Г. А.* Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов / *Г. А. Роев, В. А. Юфин*. – М.: Недра, 1987. – 126 с.
4. *Прохоренко С. П.* Вибір сорбентів для очищення поверхневих вод / *С. П. Прохоренко* // Вісник Донецького університету. – 2005. – № 2. – С. 430 – 431.

#### References (transliterated)

1. Agroskin A. A. *Himiya i tehnologiya uglya* [Chemistry and technology of coal]. Kyiv, Nauka Publ., 1969, 235 p.
2. Koganovskiy A. M. *Adsorbionnaya tehnologaya ochistki stochnih vod* [Adsorption sewage treatment technology]. Kyiv, Tehnika Publ., 1981, 275 p.
3. Roev G. A., Yufin V. A. *Ochistka stochnih vod i vtorichnoe ispolzovanie nefte produktov* [Wastewater treatment and re-use of petroleum products]. Moscow, Nedra Publ., 1987, 126 p.
4. Prohorenko S. P. *Vibir sorbentiv dlya ochishnennya poverhnevih vod* [Choosing sorbents for the purification of surface water]. Visnyk of Donetsk University, Donetsk University Publ., 2005, № 2, pp. 430 – 431.

Надійшла (received) 10.10.16

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Хитрова Ирина Владимировна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри Хімічної техніки та промислової екології; тел.: (050) 28-54-537; e-mail: [hawir@yandex.ua](mailto:hawir@yandex.ua).

**Хитрова Ирина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, доцент кафедры Химической техники та промышленной экологии; тел.: (050) 28-54-537; e-mail: [hawir@yandex.ua](mailto:hawir@yandex.ua).

**Нітрова Ірина Володимирівна** – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University “Kharkov Politechnic Institute”, Professor of the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology; tel.: (050) 28-54-537; e-mail: [hawir@yandex.ua](mailto:hawir@yandex.ua).

**Криворучко Оксана Сергіївна** – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, магістр; тел.: (066) 62-09-267; e-mail: [ksenkakrivoruchko@gmail.com](mailto:ksenkakrivoruchko@gmail.com).

**Криворучко Оксана Сергеевна** – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, магистр; тел.: (066) 62-09-267; e-mail: [ksenkakrivoruchko@gmail.com](mailto:ksenkakrivoruchko@gmail.com).

**Krivoruchko Oksana Sergiivna** – National Technical University “Kharkiv Politechnic Institute”, Master Degree, tel.: (066) 62-09-267; e-mail: [ksenkakrivoruchko@gmail.com](mailto:ksenkakrivoruchko@gmail.com).