

## **БЕЗРЕАГЕНТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОМУТНИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ ТЕХНОГЕННІ ЗАСТОСУВАННЯ**

### **Святослав Мандебур**

викладач кафедри хімії та екології,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0000-0001-7952-5974

E-mail: eko14b.mandebura@gmail.com

### **Роман Подзерей**

канд. с-г. наук, доцент кафедри хімії та екології,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0000-0001-7667-6515

E-mail: Podzerej81@gmail.com

*Нинішні водні ресурси все частіше зазнають забруднення внаслідок інтенсивного використання виробничих технологій та техногенних впливів. У цьому контексті виникає актуальна проблема розробки та застосування безреагентних технологій очищення висококутних вод, що містять залишки від промислових процесів.*

*Дана дослідницька робота спрямована на вивчення ефективних методів очищення води від техногенних забруднень без використання хімічних реагентів. Вона обґрунтовує важливість застосування безреагентних систем в умовах високого ризику для довкілля та людського здоров'я. Досліджено різноманітні методи, такі як фільтрація, осадження, та інноваційні підходи, які використовують фізичні, біологічні та технологічні принципи для досягнення високого ступеня очищення води. Результати експериментів свідчать про можливість ефективного використання безреагентних технологій в очищенні води від техногенних забруднень, знижуючи негативний вплив на навколишнє середовище та сприяючи створенню сталих та екологічно безпечних систем очищення води для промислових потреб. Ця робота відкриває перспективи для подальших досліджень та впровадження безреагентних технологій в сучасну водопостачальну та промислову інфраструктуру.*

*Метою роботи є наукове обґрунтування, удосконалення та впровадження в практику технологій і споруд глибокого безреагентного очищення висококутних (до 5 г/л і більше) поверхневих вод, що містять техногенні домішки.*

***Ключові слова:** Безреагентна технологія; очищення води; висококутні води; техногенні застосування; промислові забруднення; екологічна безпека; фільтрація; осадження; інноваційні підходи; сталість систем очищення води; довкілля; людське здоров'я; водопостачання; експериментальні дослідження; сучасна інфраструктура.*

## **REAGENT-FREE TECHNOLOGY FOR THE PURIFICATION OF HIGH-TURBIDITY WATERS CONTAINING TECHNOLOGICAL APPLICATIONS**

### **Sviatoslav Mandebura**

lecturer at the department of chemistry and ecology, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0000-0001-7952-5974

E-mail: eko14b.mandebura@gmail.com

### **Roman Podzerei**

candidate of agricultural sciences, associate professor at the department of chemistry and ecology, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0000-0001-7667-6515

E-mail: Podzerej81@gmail.com

*Current water resources are increasingly subject to contamination due to the intensive use of industrial technologies and anthropogenic influences. In this context, there arises a pressing issue of developing and implementing reagent-free technologies for purifying highly contaminated waters containing residues from industrial processes.*

*This research aims to study effective methods of water purification from technogenic pollutants without the use of chemical reagents. It substantiates the importance of applying reagent-free systems in conditions of high environmental and human health risks. Various methods, such as filtration, sedimentation, and innovative approaches utilizing physical, biological, and technological principles for achieving a high degree of water purification, have been investigated. Experimental results indicate the potential effective use of reagent-free technologies in purifying water from technogenic contaminants, reducing the negative impact on the environment, and promoting the development of sustainable and environmentally friendly water purification systems for industrial needs. This work opens perspectives for further research and implementation of reagent-free technologies in modern water supply and industrial infrastructure.*

*The objective of the research is the scientific justification, improvement, and implementation of technologies and structures for deep reagent-free purification of highly turbid (up to 5 g/l and more) surface waters containing technogenic impurities.*

**Keywords:** *Reagent-free technology; water purification; highly contaminated waters; technogenic applications; industrial pollutants; environmental safety; filtration; sedimentation; innovative approaches; stability of water purification systems; environment; human health; water supply; experimental research; modern infrastructure.*

Поверхневі вододжерела, розташовані у ряді районів Півдня України характеризуються не тільки підвищеною каламутністю до 5 г/л, а іноді й більше, а й наявністю в них забруднень техногенного походження. До забруднюючих речовин, що знаходяться, в основному, в розчиненому стані, відносяться феноли, нафтопродукти, ПАВ, біогенні елементи, отрутохімікати, солі різних металів.

Видалення вищевказаних розчинених речовин традиційними безреагентними методами очищення води (відстоюванням, фільтруванням) практично неможливе [1, с. 40].

Крім того, застосовуване традиційно на водопровідних станціях у згаданих регіонах знезараження питної води методом подвійного хлорування є причиною появи в ній великого ряду галогено містять сполук, що володіють високою канцерогенною активністю: хлороформу, чотиріхлористого вуглецю, трихлоретилену і ін. у мінімальних концентраціях.

Об'єкти водопостачання, розташовані поблизу згаданих вище джерел, характеризуються здебільшого невеликою продуктивністю (до 200–1000 м<sup>3</sup> /доба), не мають достатньої матеріальної бази для використання дорогих реагентних і енергоємних технологій і експлуатаційним персоналом необхідної кваліфікації. Для таких об'єктів дуже дорогою і екологічно проблемною є завдання утилізації реагентносодержащих осадів, що утворюються при водообробці [2, с. 42].

У зв'язку з цим, удосконалення існуючих та створення нових технологій безреагентного глибокого очищення високомутних вод, що реалізуються на компактних водоочисних установках заводського виготовлення, є важливим народногосподарським завданням, особливо актуальним для України [3, с. 234].

Наукова новизна роботи:

- створено нові безреагентні технології та конструкції споруд та установок водоочищення (плавучі водоочисні установки, комбінована споруда «Ківш-пліт»), в основу яких покладено принцип економичності та екологічної безпеки використання компактних пристроїв та обладнання;
- отримані нові експериментальні дані з очищення води від розчинених мінеральних і органічних сполук шляхом електрохімічного окислення з глибоким подальшим сорбційним доочищенням на фільтрах з гранульованого активного вугілля;
- розроблено математичні моделі оптимізації режимів роботи водоочисних комплексів та програмне забезпечення для вирішення оптимізаційних завдань.

Методика проведення досліджень включає:

- збір, аналіз та узагальнення науково-технічної літератури для оцінки з тимчасового стану, обґрунтування актуальності та формулювання мети та завдань досліджень у галузі очищення висококомутних природних вод, що містять техногенні забруднення;
- теоретичні дослідження обґрунтування та оптимізації водоочисних технологій та методів їх інженерного розрахунку;
- експериментальні дослідження в лабораторних та напіввиробничих умовах процесів та споруд попереднього очищення води, електрохімічного окислення органічних речовин в електролізері за висипного типу при малих концентраціях та фільтрування через сорбційне завантаження.

Проведено аналіз багатокомпонентної системи формування та акумулювання відходів. Запропоновано концепцію щодо процесів та споруд попереднього очищення води, електрохімічного окислення органічних речовин в електролізері за висипного типу при малих концентраціях та фільтрування через сорбційне завантаження, схему оптимального, з позицій екологічної безпеки, розміщення відходів.

Отримані результати сприяють вирішенню важливого завдання – зниження впливу техногенних утворень на навколишнє середовище.

Вибір технологічної схеми та складу споруд для очищення води здійснюється на підставі зіставлення якості води у джерелі, вимог до ступеня її очищення з урахуванням продуктивності очисної станції та потенційних можливостей технологій споруд. Область застосування нових технологічних схем очищення може встановлюватися на підставі визначення відповідності технологічних параметрів нових споруд (за даними досліджень) вимогам до якості очищеної води.

У разі, коли якість вихідної води дозволяє застосувати кілька технологічних схем очищення та різні за принципами роботи очисні споруди, вибір найбільш вигідного варіанту повинен проводитися на основі техніко-економічного порівняння цих варіантів.

Для оцінки економічної ефективності застосування запропонованих технологічних схем безреагентного очищення висококомутних вод, що містять техногенні домішки, з використанням нової плавучої водоочисної установки, розглянуто їх показники в порівнянні з існуючими станціями аналогічної продуктивності. Як запропоновані варіанти прийняті:

I варіант – плавуча водоочисна установка, що здійснює очищення води не тільки від зважених та колоїдних частинок, але і від розчинених мінеральних та органічних сполук безпосередньо при заборі водирах з гранульованого активного вугілля (при  $C_a < 3500$  мг/л,  $Q \geq 200$  м<sup>3</sup>/доба);

II варіант – попереднє освітлення води від зважених і колоїдних частинок здійснити на плавучій водоочисній установці «Пліт-фільтр», доочищення її від цих частинок – на береговій фільтрувальній установці, а очищення від розчинених мінеральних та органічних сполук – шляхом електрохімічного окислення із застосуванням сорбцій очищення на фільтрах з гранульованого активного вугілля, (при  $C_a < 5000$  мг/л,  $Q = 200$  м<sup>3</sup>/доба).

Як базовий варіант для очищення висококомутних вод прийнято водоочисну станцію за схемою: Вертикальний відстійник – «Струя» – Сорбційний фільтр з гранульованого активного вугілля продуктивністю 200 м<sup>3</sup>/доба (ТП № 901-3-91, ТП № 901-3-22 86) (рис. 1).

Кошторисна вартість об'єктів визначена в цінах 2020 р. з урахуванням перехідного коефіцієнта по капіталовкладенню  $K = 380000$  у грошових одиницях України – грн.

Порівняльна економічна оцінка проведена за питомими капіталовкладеннями, наведеними витратами та собівартістю очищення води відповідно до методики [4, с. 212] за формулами:

$$K = \frac{K_0}{Q}; \quad 1.1$$

$$C = \frac{S_r}{Q}; \quad 1.2$$

$$П = S_r + E_H \cdot K_0; \quad 1.3$$

$$З = C + E_H \cdot K, \quad 1.4$$

де  $K$  - питомі капіталовкладення, віднесені на  $1 \text{ м}^3$  річної продуктивності станції, грн/м<sup>3</sup>;

$K_0$  – капіталовкладення, грн;

$S_r$  – Річні експлуатаційні витрати, грн;

$C$  – собівартість очищення  $1 \text{ м}^3$  води, грн/м<sup>3</sup>;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, що дорівнює 0,15;

$П$  – річні наведені витрати, грн;

$З$  – наведені витрати на очищення  $1 \text{ м}^3$  води, грн/м<sup>3</sup>.

Капіталовкладення за порівнянними варіантами

Результати розрахунку капіталовкладень за порівнюваними варіантами наведено у таблиці 1.

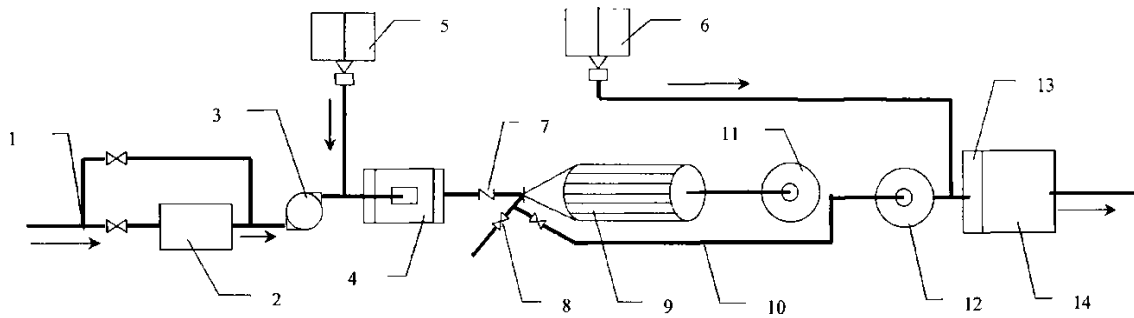
Таблиця 1

## Капіталовкладення по зрівнювальним варіантам

№	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Пропоновані Варіанти		Базовий варіант
			Варіант 1	Варіант 2	ВО-«Струя»-СФ
1.	Загальні капіталовкладення: у тому числі:	тис. грн	66158,0	75935,0	201935,8
	-будівельно-монтажні роботи	«-»	38950,0	41306,0	111796,0
	-обладнання	«-»	27208,0	34629,0	90139,8
2.	Питомі капіталовкладення	грн/м <sup>3</sup> ман/м	906,27	1040,20	2766,24

Експлуатаційні витрати складаються з наступних статей: заробітна плата обслуговуючого персоналу з відрахуваннями на соціальне страхування, енергетичні витрати, витрати на реагенти (якщо передбачається реагентне очищення води), амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

Витрати на утримання обслуговуючого персоналу визначено на основі нормативних рекомендацій (виходячи з фактичного штату обслуговуючого персоналу на вузлі або станції водоочищення). Режим роботи водоочисних станцій прийнято тримінімним, а штат періодичного спостереження.



**Рис. 1. Принципова схема технологічного процесу очищення високомутної води-  
Вертикальний відстійник – «Струя» – Сорбційний фільтр:**

1 – вихідна вода; 2 – приймальний бак; 3 – насос; 4 – вертикальний відстійник; 5 – блок реагентів; 6 – блок обеззараження; 7 – зворотний клапан; 8 – операційна засувка; 9 – тонкошаровий відстійник; 10 – обвідна лінія; 11 – фільтр; 12 – сорбційний фільтр активного вугілля; 13 – промивний відсік; 14 – бак водонапірної вежі. у складі 1,0 одиниці (перший пропонований варіант) та 1,5 одиниць (другий пропонований варіант), у базовому варіанті – 2,0 одиниць оператора (Робочого) за зміну при продуктивності 200 м<sup>3</sup>/добу.

Середня зарплата робочих приймалася за штатом 18 тис. грн [24]. Експлуатація та контроль роботи водоочисних станцій включає операції з пуску насосів, керування технологічними параметрами установок за допомогою необхідних контрольно-вимірювальних пристроїв.

Додаткову зарплату прийнято у розмірі 8% від основної. До неї входять оплата основних та додаткових відпусток, оплата за роботу у нічну зміну та ін.

Відрахування на соціальне страхування прийнято у розмірі 22% від річного фонду заробітної плати.

Витрати електроенергію визначено так.

Річний витрата електроенергії, що витрачається на роботу насосів, про визначається за їх середнім питомим споживанням на підйом 1 м<sup>3</sup> води згідно з [33] формулами:

$$\rho = 0,00273H/\eta, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3;$$

$$\rho_{\text{ср}} = 0,01 \sum_i P_i \rho_i; \tag{1.5}$$

$$\tag{1.6}$$

$$\mathcal{E} = Q_{\text{ср.сут}} \cdot n \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot \delta, \tag{1.7}$$

де:

$\rho$  – Питома витрата електроенергії, кВт-год;

$H$  – необхідна висота для підйому 1 м води, м;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії насоса, що дорівнює 0,58;

$P$  – годинна подача насосів у % від добової витрати;

$\rho$  – питома витрата електроенергії в даний час, кВт-год;

$\rho_{\text{ср}}$  – середня питома витрата електроенергії, кВт-год;

$\mathcal{E}$  – річна витрата електроенергії, грн;

$Q$  – середньодобове водоспоживання населеного пункту, м<sup>3</sup>/добу;

$n$  – число днів на рік;

$\delta$  – вартість 1 кВт-год електроенергії.

Враховуючи витрати на електроенергію під час очищення води електрохімічним окисленням 0,44 – та встановленої потужності насоса марки ГНОМ 16-16 N=1,1 кВт, річні витрати на електроенергію за першим варіантом становлять: 41756 кВт/рік.

За вартості 1 кВтг електроенергії 1,54 грн, річні витрати на електроенергію складуть:

Експлуатаційні витрати за порівнюваними варіантами, тис. грн на рік 41756 кВт/рік x 1,54 = 6405,37 тис. грн. (табл. 2).

Таблиця 2

Експлуатаційні витрати за варіантами

№	Найменування показників	Пропоновані варіанти		Базовий варіант
		Варіант 1	Варіант 2	ВО – «Струмись»-СФ
1.	Зарплата обслуговуючого персоналу	6480,0	9720,0	12960,0
2.	Додаткова заробітна плата працюючих	518,4	777,6	1036,8
3.	Витрати на соціальне страхування	1425,6	2138,4	2851,2
4.	Витрати електроенергію	6405,37	7614,78	12008,2
5.	Витрати на реагенти	–	–	1401,6
6.	Амортизаційні відрахування	4631,06	5315,45	14135,5
7.	Витрати на поточний ремонт	661,58	759,35	2019,36
8.	Інші витрати	774,55	1050,51	1611,71
9.	Усього експлуатаційні витрати	20896,56	27376,09	47981,37

Аналогічно, за другим варіантом при використанні насоса марки ГНОМ 25–20, при встановленій потужності N=2 кВт, річні витрати на електроенергію становитимуть: 7614,776 тис. грн.

Амортизаційні відрахування прийнято 7,0%, а витрати на поточний ремонт становлять 1,0% від загальних капіталовкладень [12, 24].

Як очевидно. капіталовкладення за пропонованими варіантами в 2,6–3,0 рази менше, а експлуатаційні витрати та про собівартість 1 м<sup>3</sup> очищеної води знижуються у 1,7–2,3 рази. При цьому наведені витрати стають у 2,0–2,5 рази менше, ніж за базовим варіантом.

Очікуваний річний економічний ефект від застосування запропонованих технологічних схем очищення води визначався за такою формулою:

$$\mathcal{E} = \Pi_1 - \Pi_2 = [(S_1 + E_H \cdot K_1) - (S_2 + E_H \cdot K_2)], \quad 1.8$$

де  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  – річні наведені витрати за базовим та новим варіантами, тис. грн;

$S$  – собівартість річного обсягу виробництва продукції за базовим та новим варіантами, тис. грн;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності (0,15);

$K$  – капітальні вкладення за базовим та новим варіантами, тис. грн.

Таким чином, очікуваний річний економічний ефект від застосування нових плавучих водоочисних установок продуктивністю 200 м<sup>3</sup>/добу в першому варіанті:

$$E=[(47981,37+0,15 \times 201935,8)-(20896,56+0,15 \times 66158,0)]=474510,48 \text{ тис. грн.}$$

у другому запропонованому варіанті:

$$E=[(47981,37+0,15 \times 201935,8)-(27376,09+0,15 \times 75935,0)=395050,4 \text{ тис. грн.}$$

Отже, очікуваний річний економічний ефект від застосування плавучих водоочисних установок у першому варіанті, що пропонується, становить 474510,48 тис. грн, а в другому варіанті – 395050,40 тис. грн.

Високі показники економічної ефективності запропонованих технологічних схем очищення високомутних вод, що містять техногенні домішки, із застосуванням плавучих водоочисних установок в основному пов'язані зі значним спрощенням технологічного процесу очищення води. При цьому забезпечується компактність водоочисних установок, досягається значна економія металу та спрощується експлуатація всього комплексу станції обробки води.

Застосування плавучої водоочисної установки забезпечує високий економічний ефект також за рахунок скорочення капіталовкладень у будівництво споруд, що здійснюють очищення у дві стадії: попереднє освітлення на місці забору води з поверхневого джерела та відстоювання та фільтрування на суші. При цьому площі під споруди скорочуються в 10–15 разів, виключається необхідність у будівництві до споруд для збору, обробки та утилізації осаду.

У цьому повністю скорочується використання майданчика шламонакопичувачів, тобто. вивільняється значна площа земель та запобігається забруднення підземних вод, а також поверхневого стоку вододжерел.

Визначено техніко-економічну ефективність застосування плавучих водоочисних установок у системі безстічних технологічних схем очищення води у двох варіантах. Встановлено, що капіталовкладення за пропонуваними варіантами в 2,7–3,0 рази менше, а експлуатаційні витрати та собівартість 1 м очищеної води знижуються в 1,7–2,3 рази.

При цьому наведені витрати стають у 2,0–2,5 рази меншими, ніж за базовим варіантом.

Очікуваний річний економічний ефект щодо запропонованих варіантів там становить відповідно 474510,48 тис. грн та 395050,4 тис. грн.

Високі показники економічної ефективності запропонованих технологічних схем переважно пов'язані зі значним спрощенням технологічного процесу очищення високомутних вод. При цьому забезпечується компактність водоочисних установок, досягається значна економія металу та спрощується експлуатація всього комплексу станції обробки води.

Вивчено основні фізико-механічні та хіміко-мінералогічні властивості води, а також санітарно-бактеріологічний та гідробіологічний склад води рр Десни та Снов. Встановлено, що каламутність води рр Десни та Снов під час паводків сягає 5–10 г/л та більше. Відмінна особливість динаміки зміни каламутності - зміна вмісту завислих речовин протягом доби і навіть годин від середнього значення (1,95 г/л) до максимального (10 г/л). Переважними у складі завислих речовин цих річок є різновиди адсорбційних глинистих частинок, у тому числі монтморилонітових глин, вміст яких у вихідній воді досягає 20...30%. Ці частинки мають підвищені фізико-хімічні обмінні здібності по відношенню до неглинистих частинок та істотно впливають на агрегативну стійкість зважених частинок. Для обґрунтування безреагентних технологій очищення високомутних вод на основі аналізу та інформації про якість води р. Десни та р. Снов за період 2013–2019 рр. складено базу даних, розроблено програмний продукт у вигляді динамічних рядів, на основі яких визначено розрахункові концентрації характерних забруднюючих речовин техногенного походження.

На базі відомих теоретичних розробок і експериментальних досліджень автора обґрунтована комбінована безреагентна технологія підготовки питної води з високомутних вододжерел, що містять техногенні (антропогенні) домішки, що полягає в передочистці

поверхневих вод у водозабірному ковші-відстійнику, в кінцевій частині якого розміщена тонкодисперсна та колоїдна суспензія, а очищення від розчинених мінеральних та органічних сполук, у тому числі техногенного походження, здійснюється наступним електрохімічним окисненням в електролізері засипного типу та сорбційною доочищенням на фільтрах з гранульованого активного вугілля.

Вивчено закономірності відстоювання води в ковші-відстійнику з системою його примусового промивання. Встановлено, що при каламутності вихідної води до 5000 мг/л та продуктивності установки «Пліт-фільтр» до 1500 м<sup>3</sup>/добу, ефективність відстоювання вод з різною концентрацією та гідравлічною крупністю суспензії у вихідній воді зі збільшенням довжини відстоювання від 40 до 100 метрів зростає незначно (40–52%).

Результатами експериментальних досліджень визначено основні технологічні параметри роботи установок «Пліт-фільтр» за каламутності вихідної води, що надходить на неї до 4–5 г/л, питомої.

На основі теорій розмірностей та методів подібності отримано розрахункові залежності ступеня освітлення води від основних технологічних та конструктивних параметрів установки «Пліт-фільтр», що працює в безреагентному режимі. Встановлено необхідні параметри промивання установки: інтенсивність низхідного потоку – 10–12 л/см<sup>2</sup>, тривалість промивання до 4 хвилин, відносне розширення завантаження при промиванні – до 35%.

Вивчено закономірності електрохімічного окиснення мало концентрованих органічних сполук в електролізерах засипного типу, визначено впливи питомих гідравлічних навантажень та електрохімічних характеристик електролізерів на ефективність окиснення та вилучення техногенних домішок. На основі експериментальних досліджень було встановлено, що залежно від питомих витрат електрики в межах 0,05–0,1 А г/л ефект очищення за окиснюваністю досягає 13–45%, а за ГПК 35–69%.

Досліджено режим промивання електролізера, а також режими промивання та регенерації сорбційних блоків водоочищення. Встановлено, що найбільш ефективним методом регенерації активного вугілля є електрохімічна регенерація, заснована на використанні активного вугілля безпосередньо як насипний анод, а розчину хлориду натрію – як електроліт. В даному методі активне вугілля досить стійке до руйнування при електролізі в розчинах солей лужних металів.

Розроблено п'ять варіантів технологічних схем безреагентної глибокої очистки високомутних вод, що містять техногенні домішки, для різних продуктивностей (до 1000 м<sup>3</sup>/добу) і вмісту суспензії у вихідній воді (до 5–10 г/л і більше), що відрізняються місцем розташування блоків електрохімічного окиснення, сорбційного доочищення додаткового ступеня інертних зернистих фільтрів. На 4 конструкції установок та технологічних схем отримані авторські свідоцтва та патенти на винаходи.

Розроблено структурні та математичні моделі програми розрахунку для вирішення завдань щодо визначення оптимальних параметрів управління основними блоками технологічної схеми: Ківш-відстійник; «Пліт-фільтр-електролізер»; Сорбційний фільтр – та вирішено завдання оптимізації управління безпосередньо установкою «Пліт-фільтр».

Визначено техніко-економічну ефективність застосування плаваючих водоочисних установок у системі технологічних схем безреагентного очищення води у двох варіантах. Встановлено, що капіталовкладення; пропонувані новими технологіями в 2,7–3,0 рази менше, а витрати та собівартість 1 м<sup>3</sup> очищеної води в 1,7–2,3 рази менше у порівнянні з базовим варіантом: Вертикальний відстій «Струя» – Сорбційний фільтр.

Отже, вивчено основні фізико-механічні та хіміко-мінералогічні властивості води, а також санітарно-бактеріологічний та гідробіологічний склад води р. Десни та Снов. Встановлено, що каламутність води річок Десни та Снов під час паводків сягає 5–10 г/л та більше. Відмінна особливість динаміки зміни каламутності – зміна вмісту завислих речовин протягом доби і навіть годин від середнього значення (1,95 г/л) до максимального (10 г/л).



Переважними у складі завислих речовин цих річок є різновиди адсорбційних глинистих частинок, у тому числі монтморилонітових глин, вміст яких у вихідній воді досягає 20...30%. Ці частинки мають підвищені фізико-хімічні обмінні здібності по відношенню до неглинистих частинок і істотно впливають на агрегативну стійкість зважених частинок. Для обґрунтування безреагентних технологій очищення високомутних вод на основі аналізу та інформації про якість води річок Десни та Снов за період 2013–2019 рр. складено базу даних, розроблено програмний продукт у вигляді динамічних рядів, на основі яких визначено розрахункові концентрації характерних забруднюючих речовин техногенного походження.

На базі відомих теоретичних розробок і експериментальних досліджень обґрунтована комбінована безреагентна технологія підготовки питної води з високомутних вододжерел, що містять техногенні (антропогенні) домішки, що полягає в передочистці поверхневих вод у водозабірному ковші-відстійнику, в кінцевій частині якого розміщена тонкодисперсна та колоїдна суспензія, а очищення від розчинених мінеральних та органічних сполук, у тому числі техногенного походження, здійснюється наступним електрохімічним окисленням в електролізері засипного типу та сорбційною доочищенням на фільтрах з гранульованого активного вугілля.

Вивчено закономірності відстоювання води в ковші-відстійнику з системою його примусового промивання. Встановлено, що при каламутності вихідної води до 5000 мг/л та продуктивності установки «Пліт-фільтр» до 1500 м<sup>3</sup>/добу, ефективність відстоювання вод з різною концентрацією та гідравлічною крупністю суспензії у вихідній воді зі збільшенням довжини відстоювання від 40 до 100 метрів зростає незначно (40–52%).

Результатами експериментальних досліджень визначено основні технологічні параметри роботи установок «Пліт-фільтр» за каламутності вихідної води, що надходить на неї до 4–5 г/л, питомої.

Вивчено закономірності електрохімічного окиснення малоцентрованих органічних сполук в електролізерах засипного типу, визначено впливи питомих гідравлічних навантажень та електрохімічних характеристик електролізерів на ефективність окиснення та вилучення техногенних домішок. На основі експериментальних досліджень було встановлено, що залежно від питомих витрат електрики в межах 0,05–0,1 А-г/л ефект очищення за окислюваністю досягає 13–45%, а за ГПК 35–69%.

Досліджено режим промивання електролізера, а також режими промивання та регенерації сорбційних блоків водоочищення. Встановлено, що найбільш ефективним методом регенерації активного вугілля є електрохімічна регенерація, заснована на використанні активного вугілля безпосередньо як насипний анод, а розчину хлориду натрію – як електроліт. В даному методі активне вугілля досить стійке до руйнування при електролізі в розчинах солей лужних металів.

Розроблено п'ять варіантів технологічних схем безреагентної глибокої очистки високомутних вод, що містять техногенні домішки, для різних продуктивностей (до 1000 м<sup>3</sup>/добу) і вмісту суспензії у вихідній воді (до 5–10 г/л і більше), що відрізняються місцем розташування блоків електрохімічного окислення, сорбційного доочищення додаткового ступеня інертних зернистих фільтрів. На 4 конструкції установок та технологічних схем отримані авторські свідоцтва та патенти на винаходи.

Річний економічний ефект за варіантами технологічних схем «Пліт-фільтр – електролізер» – Сорбційний фільтр та «Пліт-фільтр БНФ-НІМІ-2» – склав відповідно 474510,48 тис. грн і 395050,4 тис. грн.

## References

1. Cakizo, P. R., Suffet, J. H. James, P. Ir. (2017). Design and operational experiences with 1 activated carbon adsorbers: treatment of delaware river water. *Proc. 41 st. Innd Waste. Conf, West Lafayette 7/8, 171–365.*

2. Cote, P., Clow, V. (2017). Clazemont water treatment plant design and construction. *JN Enge Water Works Assoc*, 97(1), 65–72.
3. Do, J. S., Yeh, W. C. (2017). *J. Appl, Electrochem*, 26(6), 673.
4. Duguet, J. P. (2014). *Techn., sci., meth*, 3, 237-239.
5. Adams, J. Q., Clark, R. M., Lykins, B. W. (2019). GAC treatment cost experience at 2 drinking water utilities. *J. Environ. Eng.*, 11(4), 944–961.
6. Gaida, R. (2006). Über den Betrieb einer indllstridlen Brauchwasseraufbereitung Forum fur Umwebthygiene, *Bd. 1(7)*, 200–202.
7. Ganbarov, E. S. (2017). Flow Technology of High – Muddy Natural Waters Purification WPMC-97. *International conference on water prob lems в mediterranean countries*. North Cyprus: Nicosia.
8. Harrington, G. W., Di Giano, F. A. (2011). Adsorption equilibria of 1 latural organic matter after ozonation. *American Water Works Association Journal*, 81(6).
9. John, W. K. (2016). Review of Sludge Disposal practices. *Journal American Water Works Association*, 5, 225–231.
10. Lykins, B. W., Clark, R. M., Adams, J. A. (2019). *Water Works Assoc*, 80, 85–92.
11. Masschelein, W. I. (2019). *El lviron. Pathol, Toxicol, i Oncol*, 7/8, 101–109.
12. Monarca, S., Meier, J. R., Rull, R. J. (2017). *Water Res*, 17(9), 1015–1026.
13. Noot, D. K., Anderson, W. B., Daignault, S. A. (2011). *Al. 1. Amer. Water Works Assoc.*, 81(9), 87–102.
14. Ozaki, M. (2014). *J. Jap Water Works Assoe.*, 64(10), 34–37.
15. Glaze, W. H., Waliace, I. L., Wilcox, D. O. (2017). Pilot scale evaluation oi ozone – granular active carbon combinations for trihalomethane precursor removal. *Trest Water Granular Activ, Carbon, Sump., 181 st Meet., Amer Chem. Soc., Atlanta, Ga. Washington DC*, 303–318.
16. Salotto, B. V., Fanel, J. B., Dean, R. B. (2006). Utility Sludge On Activated Sludge Process. *Jonmal AWWA*, 5(6).
17. Sander, R. (2019). Effect of pre – chlorination on activated carbon adsorption. *J. Environ. Pathol., Texicol, i Oncol*, 7/8, 339–350.
18. Schulhaf, P. (2019). Potable de Choisy - le – Roi. *Eau, ind., nuisances*, 112, 29–30.
19. Seelans, T. J. (2019). Design and Operation of Slow Sand Filter. *Journal AWWA*, 78(12), 35–41.
20. Singer, P. C. (2011). Assessing ozonation research of water treatment. *American Water Works Association Journal*, 82(10).
21. Thames opens WTW. (2013). *Water and Waste Treat*, 36(11).
22. Vander Hock, G. P., Graveland, A. (2013). Water Supply Syst: New Technol: *Proc. NATO Adv. Study Inst. “New Technol. Large Water Sypply Proj.” (Varna, Oct. 24-Nov. 4, 2013)*, 185–198.
23. Werner, P. (2017) Untesuchungen der Aktivkohlefiltration zur Trinkwas seraufbere itung. *Veroff. Bereichs und Lehrstuhls Wasserchem. Und DVGW - Forschungsste Ile Engler - Bunte – Inst. Vniv. Karlsruhe*, 19, 139.